



Grundwasserschutz 53

Dem Grundwasser auf der Spur...

 30 Jahre Monitoring der Grundwasserqualität



Baden-Württemberg

Dem Grundwasser auf der Spur...

 30 Jahre Monitoring der Grundwasserqualität



Baden-Württemberg

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 42 – Grundwasser quad.rat Corporate Communications GmbH, 79106 Freiburg www.quad-rat.com
REDAKTION	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 42 – Grundwasser
BEZUG	Diese Broschüre ist gedruckt oder als Download im pdf-Format erhältlich bei der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe unter: http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6638/
ISSN	1437-0131 (Reihe Grundwasserschutz Bd. 53, 2015)
STAND	August 2015, 1. Auflage
DRUCK	SchwaGe-Druck GdB, 76287 Rheinstetten Gedruckt auf Recyclingpapier

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

ohne Wasser gäbe es kein Leben auf der Erde. Es ist unverzichtbarer Bestandteil des Naturhaushaltes. Jeder kommt täglich in vielfältiger Weise mit Wasser in Berührung. Ohne Wasser würden wir in wenigen Tagen verdursten.

Wasser ist aber für viele Zwecke nur nutzbar, wenn es sauber und rein ist. Die natürlichen Wasservorräte bedürfen deshalb unseres besonderen Schutzes, denn gerade der Mensch hat in der Vergangenheit in hohem Maße zu deren Gefährdung beigetragen. Und auch heute noch drohen trotz vielfältiger Vorsorge- und Schutzmaßnahmen Verunreinigungen der Gewässer, die manche Nutzungen unmöglich machen oder hohe Reinigungskosten verursachen.

Die Kenntnis des Zustandes des Grundwassers ist deshalb Voraussetzung für alle weiteren Schritte. Das Umweltministerium hat vor über dreißig Jahren die damalige Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) beauftragt, ein Konzept für ein flächendeckendes Monitoring der Grundwasserqualität in Baden-Württemberg zu erarbeiten. Dieses wurde innerhalb kurzer Zeit erstellt und konnte ab 1985 umgesetzt werden.

Unter Einbeziehung der Wasserwirtschaftsämter und der Regierungspräsidien wurde das Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz systematisch aufgebaut. Grundsatzpapiere regelten u. a. die Messstellenauswahl, die Probennahmen, die Messprogramme, die Messverfahren und die Dokumentation der Ergebnisse. Begleitet wurden die Arbeiten von

Anfang an von einem Beirat, dem Vertreter der Wasserwirtschafts- und der Gesundheitsverwaltung, des Geologischen Landesamtes, der kommunalen Spitzenverbände, der chemischen Laboratorien sowie der Fachverbände der Wasserwirtschaft und der Chemischen Industrie angehörten. Noch heute trägt diese interdisziplinäre Zusammenarbeit entscheidend zu den Erfolgen im Grundwasserschutz bei.

In den vergangenen 30 Jahren hat das Beschaffenheitsmessnetz einen großen Aufwand an finanziellen Mitteln und Personal gefordert, aber die Aktivitäten zum Schutz des Grundwassers auch entscheidend beeinflusst. So konnten mit der Kenntnis des Grundwasserzustandes gezielt Initiativen zur Verbesserung der Grundwasserqualität ergriffen werden, wie z. B. Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratbelastung und Anwendungsbeschränkungen für Pflanzenschutzmittel. Außerdem wurden durch das Monitoring frühzeitig neue Schadstoffe, auch im Spurenbereich, entdeckt – eine entscheidende Voraussetzung, um schon an den Eintragsquellen anzusetzen und weitere Belastungen zu vermeiden.

Mit der vorliegenden Broschüre soll ein Überblick über die Aktivitäten und Entwicklungen im Monitoring der Grundwasserbeschaffenheit in den letzten 30 Jahren gegeben werden. Zur Abrundung wird auch das Monitoring der Grundwassermenge und benachbarter Arbeitsbereiche dargestellt.

Ihre Margareta Barth

Präsidentin der LUBW Landesanstalt für Umwelt,
Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

DIE WELT DES WASSERS	8
Wasser – Quelle des Lebens	8
Wozu der Mensch Wasser braucht	8
Info: Der Kreislauf des Wassers	8
Trinkwasserverwendung	9
Wie entsteht Grundwasser?	10
Die vier Grundwasserleitertypen	10
Info: Drei Ebenen der Wasserversorgung in Baden-Württemberg	11
DEM GRUNDWASSER AUF DER SPUR – TEIL 1	12
Die Entwicklung der Grundwasserüberwachung	12
Ein Interview mit Peter Fuhrmann, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg	15
30 Jahre Monitoring der Grundwasserqualität	16
Info: Die Rückkehr der Geier	25
Ein Interview mit Dr. Rüdiger Wolter, Umweltbundesamt	27
KIWI? ZEUS? WIBAS? Die Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung	28
Info: UDO, GuQ und JDK	33
Probennahme im Wandel der Zeit	34
Qualitätssicherung der physikalisch-chemischen Daten	40
Info: AQS, Akkreditierung, Notifizierung	40
DEM GRUNDWASSER AUF DER SPUR – TEIL 2	42
Über 100 Jahre Grundwasserstandsbeobachtung	42
Lysimetermessnetz in Baden-Württemberg	47
Info: Was ist ein Lysimeter?	47
Ein Interview mit Klaus Hofmann, Regierungspräsidium Stuttgart	49
Die etwas anderen Grundwassermengenmessstellen: Unsere Quellen	50
Info: Was ist eine Quelle?	50
Rückblick auf 40 Jahre Grundwassermodelle bei der LUBW	54
Ein Interview mit Johann-Martin Rogg, badenova AG & Co. KG, Freiburg	57
Untersuchungen zur Grundwasserfauna	58
Info: Was ist eine Fauna?	58
Info: Ein neu entdeckter Baden-Württemberger: „Parabathynella badenwuerttembergensis“	63
CHRONIK	64
Chronik des Grundwassermonitorings	64
BILDVERZEICHNIS	68
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	69

Die Welt des Wassers

Wasser – Quelle des Lebens

Wasser ist die grundlegende Voraussetzung für alles Leben auf der Erde. Es ist unverzichtbarer Bestandteil des Naturhaushaltes. Fließgewässer, stehende Gewässer und Grundwasser sind ein wichtiger Bestandteil des weltweiten Wasserkreislaufs.

Wasser ist das wichtigste Lebensmittel für den Menschen. In Baden-Württemberg kommen über 70 % des Trinkwassers aus Grund- und Quellwasser. Wesentliche Ziele des Gewässerschutzes sind der gute ökologische und chemische Zustand der Fließgewässer und Seen sowie der gute chemische und mengenmäßige Zustand des Grundwassers. Diese Ziele sind in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) festgeschrieben.

Wasser kann als Hochwasser aber auch zu einer Gefahr für den Menschen werden. Durch die Hochwasservorhersage der LUBW gewinnen Rettungskräfte wichtige Zeit, um sich auf drohende Hochwasserereignisse vorzubereiten. Durch rechtzeitiges Eingreifen von Behörden, Kommunen und Bürgern können immense Schäden verhindert werden. Jedoch gibt es keinen absoluten Schutz vor Hochwasser. Das Erkennen von Hochwasserrisiken sowie das koordinierte und gemeinsame Handeln vor, während und nach einem Hochwasser wird mit der im Jahr 2007 in Kraft getretenen Europäischen Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (HWRM-RL) verbindlich eingeführt.

In Trockenperioden sind die täglich aktualisierten Niedrigwasservorhersagen der LUBW eine wichtige Grundlage für das Niedrigwassermanagement. Diese Informationen finden besonderes Interesse bei Wasserbehörden, Schifffahrt, Energieversorgung und Landwirtschaft.



Wozu der Mensch Wasser braucht

Der menschliche Stoffwechsel kann nur funktionieren, wenn dem Körper ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Herz-Kreislauf-Funktionen und die Verdauung werden durch Wasser geregelt. Wasser ist Lösungsmittel für Salze

info

Der Kreislauf des Wassers

Angetrieben durch die Sonne bildet das Wasser auf der Erde einen ewigen Kreislauf. Bei diesem Prozess verdunsten enorme Wassermengen über den Land- und Wasserflächen der Erde. Durch die Verdunstung entstehende Wolken transportieren und verteilen das Wasser. Regen und Schneefall bringt das Wasser zurück auf die Erdoberfläche. Dort wird ein Teil durch Pflanzen aufgenommen, der Rest verdunstet, fließt oberirdisch in Flüssen den Seen und Meeren zu oder versickert im Untergrund und Grundwasser entsteht. Das Grundwasser fließt ebenfalls in Richtung der Flüsse, Seen und Meere ab – der Kreislauf hat sich geschlossen.





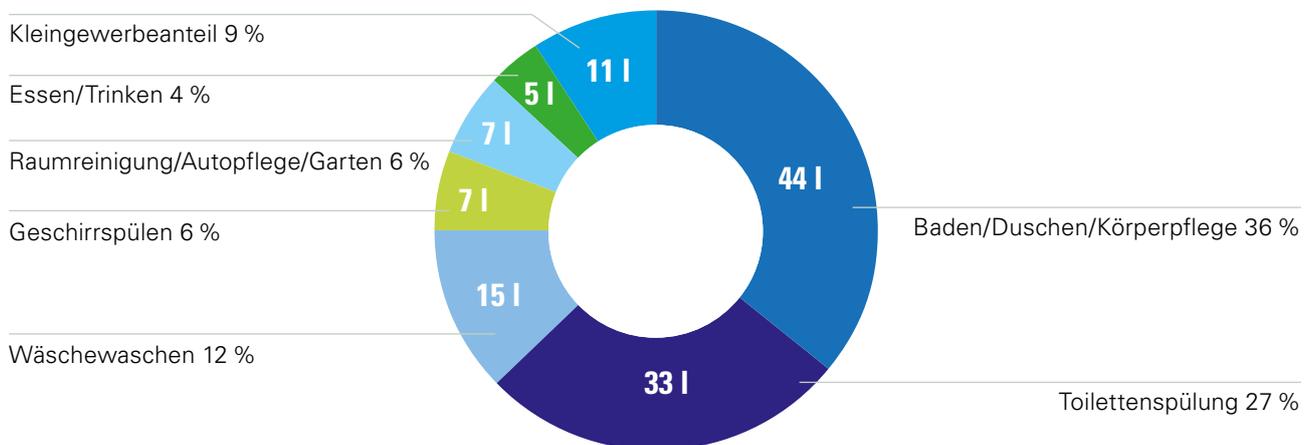
30 JAHRE MONITORING DER GRUNDWASSER-QUALITÄT

und Mineralstoffe, Transportmittel für Nährstoffe und Abbauprodukte. Auch für die Wärmeregulierung des menschlichen Körpers ist es von zentraler Bedeutung. Durch Schwitzen, Atmen und Ausscheidungen gehen unter normalen Umständen im Lauf eines Tages etwa 2 – 3 Liter Wasser verloren. Dieser Verlust muss über Nahrung, vor allem über Getränke wieder ausgeglichen werden, denn schon auf kleinste Veränderungen im Wasserhaushalt reagiert der Körper mit gravierenden Störungen.

Trinkwasserverwendung

Trinkwasser findet vielfache Verwendung. Zum einen in privaten Haushalten zum Duschen, Wäschewaschen, Kochen, etc. (siehe Abb.) und andererseits im industriellen Bereich als Brauchwasser für viele Prozesse, die in wässriger Phase oder mit Wasser als Lösemittel ablaufen. Insbesondere die Lebensmittelindustrie benötigt einwandfreies

Trinkwasser z.B. zur Herstellung von Nahrungsmitteln und Getränken. Als Kühlwasser wird Grundwasser nur in geringerem Umfang verwendet, hier setzt man in erster Linie Oberflächenwasser ein. Der spezifische Wasserbedarf, d.h. die Menge an Wasser, die von Haushalten und Kleingewerbe pro Tag und Einwohner genutzt wird, hat über die Jahre ständig abgenommen. Heute benötigen z.B. Waschmaschinen, Geschirrspüler und Toilettenspüler nur einen Bruchteil des Wassers wie vor einigen Jahrzehnten. Nach den Erhebungen des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg lag der spezifische Wasserbedarf im Jahr 2013 bei 116 l/Einwohner. In ländlichen Gebieten liegt der Bedarf niedriger, in Städten in der Regel etwas höher. Bezogen auf einen durchschnittlichen Haushalt wird z.B. mehr als ein Drittel des Wassers für die Hygiene verwendet, der Anteil für Essen und Trinken liegt bei nur 4 %. Zum Vergleich: Ein Haushalt in Indien muss mit ca. 25 l Trinkwasser pro Person und Tag auskommen.



Trinkwasserverwendung im Haushalt 2014 (bundesweit)
 Durchschnittswerte bezogen auf die Wasserabgabe an Haushalte und Kleingewerbe. Angaben in Litern/Einwohner/Tag.
 Quelle: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.



Wie entsteht Grundwasser?

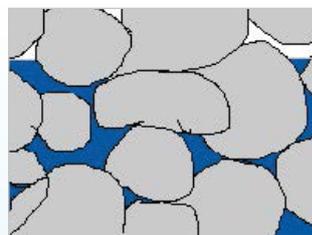
Grundwasser fließt in Hohlräumen unter der Erdoberfläche. Es entsteht durch Versickerung von Niederschlägen und Infiltration von Wasser aus Flüssen und Seen. Beim Versickern fließt das Wasser durch verschiedene Erdschichten aus Sand, Kies oder anderem Gestein. Je nach Material hat es größere oder kleinere Poren in der Erdschicht, durch die das Wasser hindurchsickert und dabei durch die Erdschichten gefiltert wird. Das Wasser wird im Laufe seiner Reise durch den Erdboden immer sauberer und löst dabei aus den unterschiedlichen Gesteinsschichten wertvolle Mineralien wie Kalzium und Magnesium aus. Und – je länger das Wasser im Erdinnern bleibt – desto mehr Bakterien und Viren sterben ab.

Die vier Grundwasserleitertypen

Grundwasserkörper werden nach hydrogeologischen Merkmalen unterschieden. Je nach Art der Hohlräume wird differenziert nach Poren-, Kluft- und Karst- sowie Geringgrundwasserleitern. Diese unterscheiden sich nach hydrodynamischen Eigenschaften. Die natürliche, d. h. anthropogen unbeeinflusste chemische Grundwasserbeschaffenheit wird vor allem von den umgebenden Feststoffen geprägt. Die Besiedlung mit Grundwasserlebewesen ist nach Arten- und Individuenzahl sowie Größe in Abhängigkeit von Porenvolumen und -größe, Ausdehnung des jeweiligen Grundwasserleiters und Nährstoffangebot sehr verschieden.

Porengrundwasserleiter

Die Hohlräume der Porengrundwasserleiter bestehen aus Lockergesteinen (z. B. sandig-kiesige Sedimente in Bach- oder Flusstälern, in Baden-Württemberg u. a. quartäre Kiese

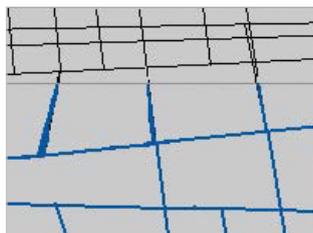


und Sande im Oberrheingraben). Die Poren zwischen den Gesteinen bilden einen zusammenhängenden, oft weiträumigen Hohlraum, der geeignet ist, Grundwasser aufzunehmen und weiterzuleiten. Porengrundwasserleiter eignen sich bei entsprechender Mächtigkeit sehr gut für die Gewinnung von Trinkwasser. Sie sind in der Regel gekennzeichnet durch mittlere bis geringe Grundwasserfließgeschwindigkeiten, hohes Speichervermögen für Grundwasser und gute Filtereigenschaften.

LUBW

Kluftgrundwasserleiter

Kluftgrundwasserleiter, die in Festgesteinen (in Baden-Württemberg u. a. Buntsandstein und Granit im Schwarzwald)

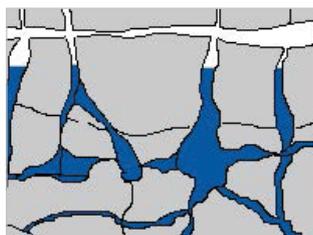


auftreten, sind gekennzeichnet durch zahlreiche Klüfte und Spalten, in denen sich das Wasser bewegt. Meist besteht großräumig keine Verbindung

zwischen den Klüften. Kluftdichte und -ausprägung können je nach lithologischen und felsmechanischen Eigenschaften sowie Verwitterungszustand sehr unterschiedlich sein. Entsprechend verschieden sind die Durchlässigkeiten (Fließgeschwindigkeiten) und das Speichervermögen. Die Filtereigenschaften sind in der Regel ungünstig.

Karstgrundwasserleiter

Karstgrundwasserleiter kommen in verkarstem Gestein (Karbonatgesteine wie Kalke und Dolomite, in Baden-Württemberg u. a. Jurakalksteine

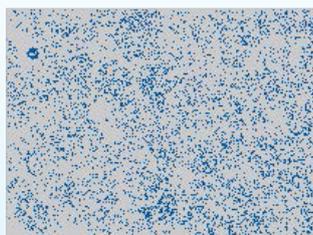


der Schwäbischen Alb) vor. Durch Auswaschungsvorgänge können sich große Spalten bis hin zu Höhlensystemen bilden. Die Fließgeschwindigkeiten in den großen Hohlräumen sind sehr hoch, entsprechend ungünstig sind die Filtereigenschaften, was die Empfindlichkeit des Grundwassers gegenüber Oberflächeneinflüssen erhöht.

Die Fließgeschwindigkeiten in den großen Hohlräumen sind sehr hoch, entsprechend ungünstig sind die Filtereigenschaften, was die Empfindlichkeit des Grundwassers gegenüber Oberflächeneinflüssen erhöht.

Geringgrundwasserleiter

Geringgrundwasserleiter bestehen aus feinkörnigem, wenig durchlässigem Material wie beispielsweise Schluff und Ton



(in Baden-Württemberg u. a. Mergel- und Tonmergelstein der Schwäbischen-Alb oder Ton-Schluffhorizonte im Oberrheingraben). Die Fließgeschwindigkeiten sind sehr gering. Aufgrund der hohen Feststoffoberfläche sind die Filtereigenschaften sehr gut.

Aufgrund der hohen Feststoffoberfläche sind die Filtereigenschaften sehr gut.

Drei Ebenen der Wasserversorgung in Baden-Württemberg

Die Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ einwandfreiem Trinkwasser gehört zu den Kernaufgaben der öffentlichen Daseinsvorsorge.

- Rund 1.060 Gemeindewasserversorgungen liefern an den Endverbraucher das örtlich gewonnene und überörtlich bezogene Trinkwasser in der notwendigen Menge und der erforderlichen Güte.
- 170 Gruppenwasserversorgungen dienen darüber hinaus der überörtlichen Versorgung. Sie verteilen flächenhaft das örtlich gewonnene und von Fernwasserversorgern bezogene Wasser.
- Vier Fernwasserversorgungen stellen mit großräumigen Versorgungssystemen Zusatzwasser insbesondere für die Wassermangelgebiete zur Verfügung.

Wasserschutzgebiete

Um das Grund- und Quellwasser weitgehend vor Verunreinigungen zu schützen, werden im Einzugsgebiet der Wasserfassungen Wasserschutzgebiete festgesetzt. Aufgrund der geologischen, hydrologischen und topografischen Verhältnisse werden die Schutzgebiete in drei Zonen eingeteilt, in denen jeweils bestimmte Nutzungen und Einrichtungen untersagt sind:

- Fassungsbereich (Zone I)
- Engere Schutzzone (Zone II)
- Weitere Schutzzone (Zone III)

Derzeit gibt es in Baden-Württemberg rund 2.300 rechtskräftig festgesetzte Wasserschutzgebiete mit einer Fläche von ca. 9.450 km² zur Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung. Denn schließlich stammen über 70 % des Trinkwassers aus Grund- und Quellwasser. Damit dieses sauber bleibt, wurde 1988 die Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung, kurz SchALVO genannt, in Kraft gesetzt.

SchALVO

Die Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) legt in allen rechtskräftigen Wasserschutzgebieten Bewirtschaftungsregeln zur Reduzierung der Nitratgehalte in Grund- und Quellwasser fest, beispielsweise Beschränkung der Düngung, Regelungen zur Art der Bodenbearbeitung und Vorgaben zur Begrünung. Für diese Einschränkungen werden vom Land Ausgleichszahlungen an die Landwirte geleistet.

DEM GRUNDWASSER AUF DER SPUR – TEIL 1

Die Entwicklung der Grundwasserüberwachung

Mit dem wirtschaftlichen Aufschwung nach dem 2. Weltkrieg wurden die negativen Seiten des Wirtschaftswunders sichtbar. Stinkende Bäche, Schaumberge hinter Schleusen, Fischsterben und vieles anderes mehr. An den Flüssen konnte man diese Folgen unmittelbar sehen. Beim Grundwasser hingegen herrschte zum damaligen Zeitpunkt die Meinung vor, dass die unterirdischen Wasserspeicher durch die darüber liegenden Deckschichten und durch das Reinigungsvermögen des Untergrundes so gut geschützt seien, dass Schadstoffe nicht dorthin gelangen könnten.

Dies änderte sich in den 1970er und 1980er Jahren, als CKW (Chlorierte Kohlenwasserstoffe) und Pflanzenschutzmittel im Grundwasser in erhöhten Konzentrationen gefunden wurden. Aus der Tatsache heraus, dass in Baden-Württemberg Grundwasser die wichtigste Ressource für Trinkwasser war und ist, wurde damals immer mehr die Forderung laut, diesen Rohstoff besser zu schützen. Dazu wurde 1984 ein Bündel von Maßnahmen zur „Grundwasserschutzkonzeption Baden-Württemberg“ zusammengefasst. Dies waren:

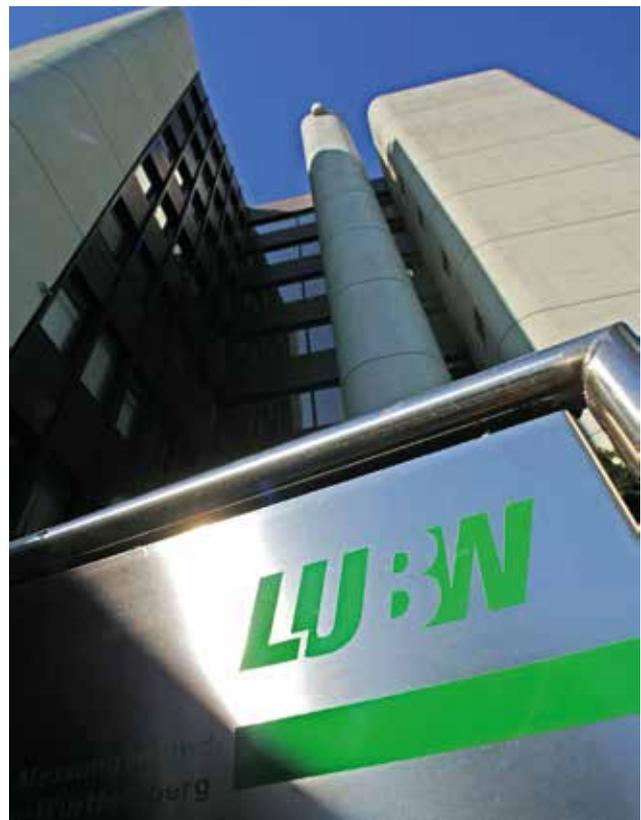
- Festsetzung, Überwachung und Kontrolle von Wasserschutzgebieten
- Verbesserung des Umgangs mit wassergefährdenden Stoffen
- Umsetzung einer umweltverträglichen, grundwasserschonenden Landwirtschaft
- Sanierung von Grundwasserschäden und Altlasten
- Verbesserung der Abwasserreinigung in Wasserschutzgebieten
- Verfolgung des Problems undichter Kanalisationen
- Aufbau und Betrieb eines Grundwasserbeschaffenheitsmessnetzes

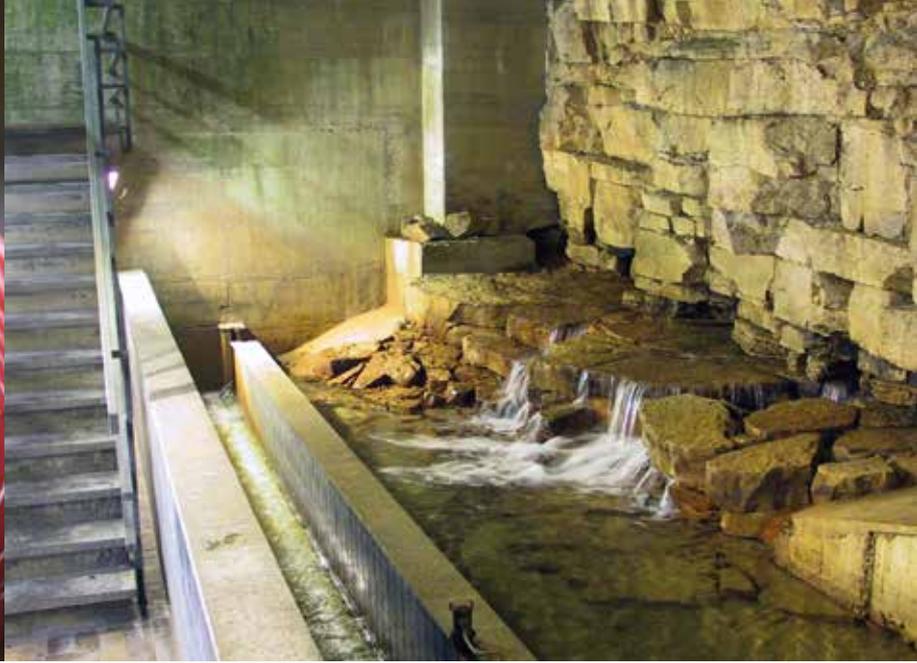
Mit der letztgenannten Maßnahme sollten erstmals flächendeckend Daten zum Ist-Zustand der Grundwasserqualität, zum Erkennen von Einflussfaktoren und von Veränderungen erhoben werden. In späteren Jahren kamen zahlreiche Berichtspflichten gegenüber dem Land, dem Bund und der Europäischen Union hinzu.

Die ersten Grundlagen für die Umsetzung eines solchen Beschaffenheitsmessnetzes wurden in der Studie des Engler-Bunte-Instituts (EBI) / Universität Karlsruhe „Vorschlag für ein Programm zur Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit im Land Baden-Württemberg“ im Auftrag des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geschaffen. Auf Bundesebene wurde die Notwendigkeit der Einrichtung von Grundwasserbeschaffenheitsmessnetzen ebenfalls gesehen, und die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) erarbeitete zeitgleich das „Rahmenkonzept zur Erfassung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit – Grundwasserüberwachungskonzept 1983“.

Im Gegensatz zu anderen Maßnahmen sollte das Grundwasser-Messnetz in Baden-Württemberg nicht gesetzlich

*LUBW Karlsruhe in
der Hertzstr. 173*





geregelt werden, sondern auf freiwilliger Kooperation der Beteiligten basieren. Steuerndes Organ war ein Beirat, in dem alle Beteiligten vertreten waren, d.h. die Wasserwirtschafts- und die Gesundheitsverwaltung, das damalige Geologische Landesamt, der Gemeinde-, Städte- und Landkreistag, die wasserwirtschaftlichen Fachverbände VGW und DWGW, der Landesverband der Chemie (VCI) und freie Chemische Laboratorien. In der Anfangsphase fanden meist zwei Sitzungen pro Jahr statt, in der Routinephase nur noch eine. Inzwischen hatte der Beirat im Juli 2015 seine 47. Sitzung.

Vor-Ort-Arbeitskreise sollten die Messnetze auf lokaler Ebene ausgestalten. Leider kam es nur zur Einrichtung von zwei Pilot-Arbeitskreisen, da die meisten Kooperationspartner auf der lokalen Ebene nicht bereit waren, den personellen und materiellen Aufwand zur Einrichtung und zum Betrieb des Messnetzes zu erbringen. Die gemeindeweise Konzeption erforderte emittentenbezogene Messstellen, die in Reihen möglichst lückenlos das Grundwasser überwachen sollten. Nicht nur die mangelnde Kooperationsbereitschaft, sondern auch die erheblichen Kosten für den Messstellenbau und für die Analytik ließen diesen Projektansatz scheitern. Stattdessen wurden vom Land Flächenmessnetze für verschiedene Emittentengruppen eingerichtet, welche die Qualität größerer Gebiete abdeckten. Das Land übernahm die Kosten für die Teilmessnetze im Umfang von rund 2.000 Messstellen, die bis heute Bestand haben. Einzig die Wasserversorgungswirtschaft hat sich am Kooperationsmodell ab 1990 aktiv beteiligt.

Die „Projektgruppe Grundwasserbeschaffenheit“ der damaligen Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) nahm Anfang 1985 ihre Arbeit auf. Dazu wurden insgesamt 35 Stellen des mittleren, gehobenen und höheren Dienstes als zeitlich befristete Arbeitsverhältnisse ausgeschrieben.

Die Zeitverträge hatten eine recht große Personalfuktuation zur Folge, auch hätten es die damaligen Wasserwirtschaftsämter (WWÄ) lieber gesehen, wenn die zusätzlichen Stellen für den Aufbau des Grundwasserbeschaffenheitsmessnetzes dorthin gekommen wären. In der Anfangsphase bestand die Hauptarbeit in der Erhebung möglichst aller Grundwasseraufschlüsse in den Archiven der WWÄ. Mithilfe tragbarer Fotokopierer wurden vor Ort die Akten gesichtet und Lagepläne, Ausbaupläne und Gutachten kopiert. Zurück in der LfU wurden diese Informationen in Erfassungsbögen eingetragen, von einer externen Firma auf Datenbänder erfasst und wieder in der LfU in die erste Version der Grundwasserdatenbank (GWDB) eingelesen. Parallel dazu erarbeiteten drei vom Beirat eingerichtete Arbeitskreise von 1985 bis 1988 die fachlichen „Grundsatzpapiere“. In insgesamt 13 Dokumenten wurden die technischen Details zur Einrichtung und zum Betrieb des Messnetzes beschrieben, beispielsweise zur Nummerierung der Messstellen, zum Bau und Ausbau, über die Notwendigkeit und Kriterien für Emittenten- und Vorfeldmessstellen, zur einheitlichen Beprobung von Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen und zu den Untersuchungsprogrammen. Der zusammenfassende Band „Grundwasserüberwachungsprogramm – Konzept und Grundsatzpapiere“ erschien 1989 in der Reihe „Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg“.

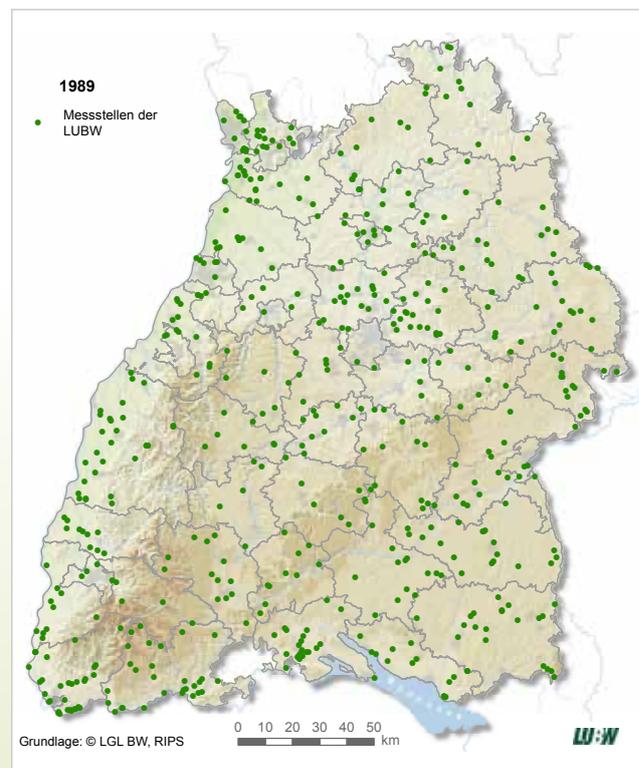


Der Messnetzaufbau erfolgte schrittweise. Zunächst ging 1985 das Basismessnetz mit 113 Messstellen in Betrieb, 1989 folgte das „Grobraster“ mit rund 440 Messstellen. Darin waren Rohwasser- und Vorfeldmessstellen sowie eine repräsentative Auswahl von Emittentenmessstellen Landwirtschaft, Siedlung, Industrie und „Sonstige“ (Kläranlagen, Bahngleise, etc.) enthalten. Dieses Kernmessnetz wurde nach und nach zu emittentenbezogenen „Verdichtungsmessnetzen“ erweitert. Der Endausbauzustand mit über 2000 Messstellen war 1993 erreicht. Es liegt jedoch in der Natur der Sache, dass ein einmal festgelegtes Messnetz nicht in Stein gemeißelt ist, sondern immer wieder Messstellen z. B. infolge von Baumaßnahmen wegfallen oder sich im Nachhinein als ungeeignet herausstellen und ersetzt werden müssen.

Flankierend zum Messnetzbetrieb wurden zahlreiche Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei Probenahme, Analytik und den Stammdaten etabliert. Ab 1993 wurden zusammen mit der Universität Stuttgart der „Lehrgang für Probennehmer beim Grundwassermessnetz – Teil 1“ entwickelt und durchgeführt, im Jahr 1996 folgte der Teil 2. Die Teilnahme an diesen Kursen mit Erlangung eines Zertifikats ist Voraussetzung, dass ein Probennehmer oder ein Laboratorium einen Auftrag erhält. Weitere Maßnahmen zur Analytischen Qualitätssicherung wie Ringversuche und Labor-Auditierungen wurden damals ebenfalls auf den Weg gebracht, zunächst auf Landesebene später auf Bundesebene. Heutzutage sind Ringversuche und Akkreditierungen selbstverständlich und von allen akzeptiert, damals waren viele Hemmnisse zu beseitigen und organisatorische Probleme zu lösen.

Organisation des Kooperationsmessnetzes

Grundlage für den Betrieb des Kooperationsmessnetzes ist eine Vereinbarung zwischen VGW, DVGW-Landesgruppe, VKU, Städtetag und Gemeindetag. Die genannten Trägerorganisationen gründeten 1992 eine eigene „Grundwasserdatenbank Wasserversorgung (GWD-WV)“, in der die von den Wasserversorgungsunternehmen beauftragten Analysen gesammelt und ausgewertet werden. Die Ergebnisse der Wasserversorgungsunternehmen werden in jedem Jahr parallel in einem eigenständigen Bericht dargestellt.



Messstellenverteilung 1989 in Baden-Württemberg



Ein Interview mit



Peter Fuhrmann
 Ministerialdirigent
 Abteilungsleiter Wasser und Boden
 Ministerium für Umwelt,
 Klima und Energiewirtschaft
 Baden-Württemberg

Sie haben sich sehr intensiv für die Einrichtung eines Grundwasserqualitäts-Messnetzes in Baden-Württemberg engagiert. Was waren die Hauptgründe, die für ein regelmäßiges, flächendeckendes Grundwassermonitoring sprachen?

Anfang der 1980er Jahre haben zahlreiche Grundwasserschadensfälle und eine zunehmende Belastung des Grundwassers mit Nitrat gezeigt, dass das Grundwasser, aus dem der überwiegende Teil unseres Trinkwassers gewonnen wird, deutlich besser geschützt werden muss. Dazu war die Kenntnis des landesweiten Zustands des Grundwassers und seiner Entwicklung erforderlich. Darauf aufbauend konnten politische und fachliche Maßnahmen zur Verbesserung des Grundwasserschutzes eingeleitet werden.

Welche Bedeutung hat die Kenntnis der Grundwasserqualität für das Umweltministerium?

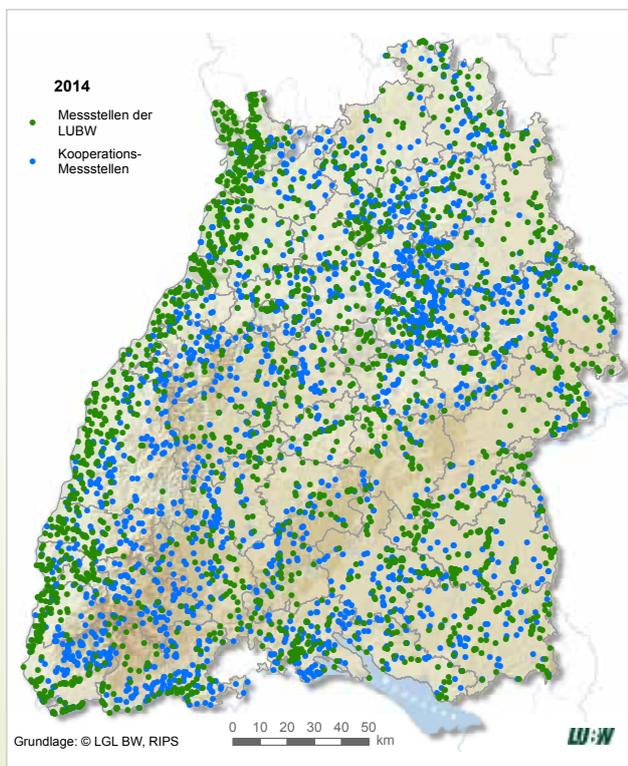
Die professionelle Überwachung der Grundwasserqualität ist eine entscheidende Grundlage für die Politik. Anhand der Bewertung der Ergebnisse werden Problemfelder identifiziert und Handlungsstrategien entwickelt, wie den Defiziten begegnet werden kann. Die Überwachung der Grundwasserqualität dient auch der Erfolgskontrolle der umgesetzten Maßnahmen und Programme sowie der qualifizierten und transparenten Information der Öffentlichkeit.

Welche Veränderungen haben sich in den vergangenen Jahrzehnten beim Grundwassermonitoring ergeben?

Auffallend ist, dass die Schadstoffpalette, die wir im Grundwasser finden, von Jahr zu Jahr zunimmt. Dabei spielen die sog. Spurenstoffe wie z. B. per- und polyfluorierte Chemikalien, Arznei- und Röntgenkontrastmittel oder auch Süßstoffe eine immer größere Rolle. Dies liegt zum einen daran, dass diese Stoffe eine immer größere Verbreitung finden, zum anderen wurden die Analyseverfahren geradezu rasant weiterentwickelt. Konnten wir anfangs Stoffe bestenfalls im Mikrogramm-Bereich bestimmen, bewegen wir uns zwischenzeitlich im Nano- bzw. Picogramm-Bereich.

Auch die Nutzung unserer Daten hat sich erweitert. Sie sind auch die Grundlage zur Erfüllung unserer Berichtspflichten gegenüber dem Bund und der EU z. B. auf Basis der Wasserrahmenrichtlinie oder der Nitratrichtlinie.

Im Jahr 2003 wurde ein weiterer Kooperationsvertrag zwischen dem Land und der Wasserversorgungswirtschaft abgeschlossen, der beinhaltet, dass die Wasserversorgungswirtschaft für jedes Wasserschutzgebiet Konzentrationswerte zu Nitrat und Pflanzenschutzmitteln (PSM) für die im Rahmen der SchALVO notwendigen Wasserschutzgebiets-Einstufungen bestimmen lässt und diese Ergebnisse den Landratsämtern übermittelt. Die Landratsämter ihrerseits stufen die Wasserschutzgebiete ein und übermitteln die Nitrat- und PSM-Werte der LUBW.



Messstellenverteilung 2014 in Baden-Württemberg

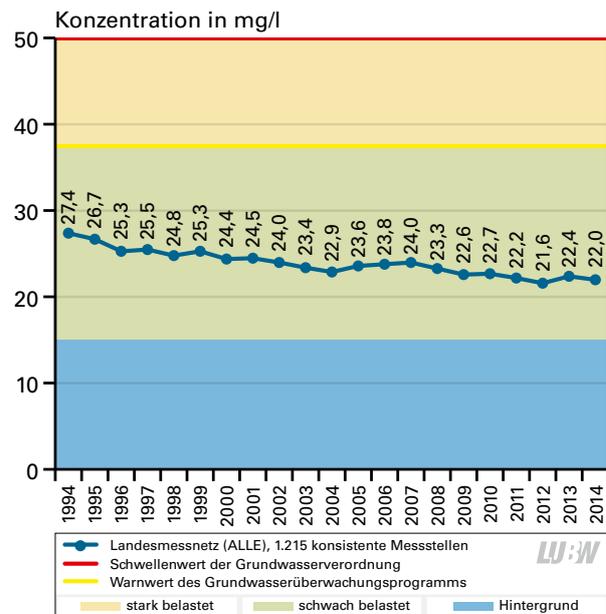
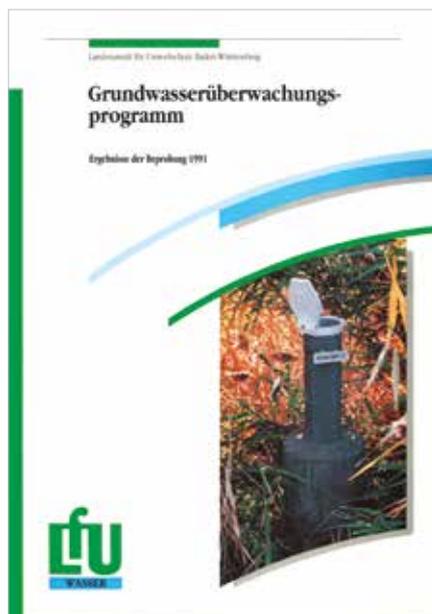
30 Jahre Monitoring der Grundwasserqualität

Vor Auftreten der ersten Grundwasserschadensfälle wurde in erster Linie Trinkwasser auf die Hauptinhaltsstoffe und einige toxische Schwermetalle untersucht. Eine Analyse von Grund- und Quellwasser erfolgte meist nur, wenn dieses als Rohwasser für Trinkwasser diente oder direkt als Trinkwasser abgegeben wurde. Grundwassermessstellen für die Messung des Grundwasserstandes gab es zwar sehr viele, diese dienten jedoch nicht zur routinemäßigen und regelmäßigen Entnahme von Wasserproben. Sie wurden dann herangezogen, wenn das Grundwasser aufgrund eines Schadenfalls untersucht werden musste, weil man eine Kontamination befürchtete. In den 1960er Jahren waren dies meist Unfälle mit Benzin oder Öl, später in den 1970er und 1980er Jahren Unfälle mit Chlorkohlenwasserstoffen. Dies hing zwangsläufig auch mit den Möglichkeiten der chemischen Analytik zusammen. So konnten organische Spurenstoffe in der Routineanalytik erst mit der Entwicklung von gaschromatografischen Methoden mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden.

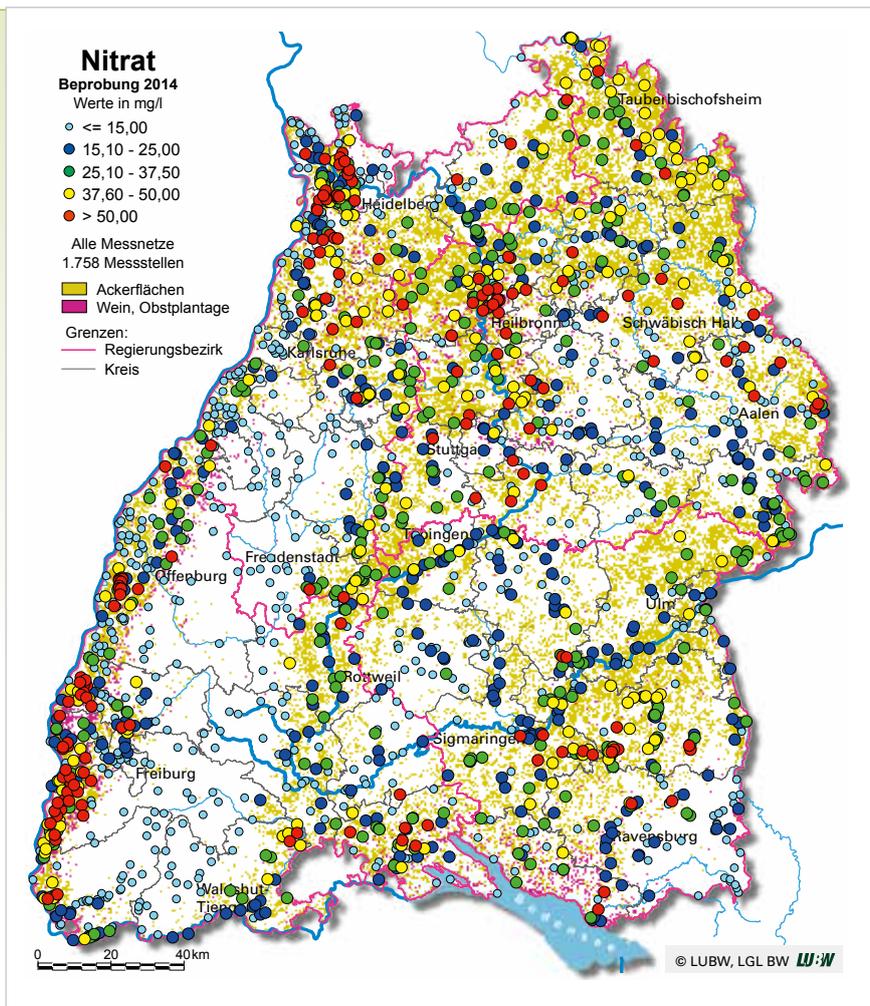
Mit der ersten Trinkwasserverordnung (TrinkwV) von 1975 nahm die Untersuchungshäufigkeit der „physikalisch-chemischen Vollanalysen“ von Trinkwasser enorm zu. Dort waren

Grenzwerte für Nitrat, Sulfat, Cyanid und sechs Schwermetalle sowie für die Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) im abzugebenden Trinkwasser einzuhalten. Erst mit der TrinkwV 1986 wurden auch die Chlorierten Kohlenwasserstoffe und die Pflanzenschutzmittel geregelt.

Einen neuen Impuls erhielt die Gewässerüberwachung mit der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie 2000 (WRRL). Darin wurden die grundlegenden Qualitätsziele für den Schutz von Oberflächengewässern und Grundwasser formuliert. Die WRRL verfolgt einen integrativen Ansatz der Bewirtschaftungsplanung in den Flussgebieten. Ziel ist das Erreichen des „guten“ Zustands der Gewässer bis 2015, spätestens bis 2027. Grundsätzlich gelten hinsichtlich des Zustands eines Gewässers sowohl ein Verbesserungsgebot als auch ein Verschlechterungsverbot. Mit der EU-Grundwasserrichtlinie 2006 wurden die Regelungen für Grundwasser präzisiert und mit der Grundwasserverordnung 2010 in nationales Recht umgesetzt. Baden-Württemberg war hierbei gut aufgestellt, da durch das schon viele Jahre bestehende Grundwassermessnetz eine gute und belastbare Datengrundlage vorhanden war.



Zeitlicher Verlauf der mittleren Nitratkonzentration im Grundwasser für das jährlich im Herbst beobachtete Gesamtmessnetz



Nitratgehalte 2014 an den 1.776 Landesmessstellen

Das Spektrum der untersuchten Parameter reicht von den zahlreichen über die Jahre routinemäßig untersuchten Parametern bis hin zu immer neuen Inhaltstoffen, die aktuell in den Fokus des Interesses gelangten. In der Regel werden bei neuen Stoffen zunächst Pilotuntersuchungen durchgeführt, um die Möglichkeiten der Analytik auszuloten und das Ausmaß der Relevanz zu ermitteln. Dann ist zu entscheiden, ob die Stoffe im Routinebetrieb untersucht werden.

Mit dem nachfolgenden Rückblick in die Geschichte der Grundwasserüberwachung wird gezeigt, wie ständig neue Anforderungen zu bewältigen waren und immer noch sind.

Nitrat und Pflanzenschutzmittel

Zu Beginn des Messnetzbetriebs in den 1980er Jahren standen die Agrochemikalien Nitrat und Pflanzenschutzmittel (PSM) sowie die Leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe (LHKW) im Mittelpunkt des Interesses. In der ersten deutschen Trinkwasserverordnung von 1975 betrug der

Grenzwert für Nitrat 90 mg/l. Mit der EU-Trinkwasserrichtlinie vom 15. Juli 1980 wurden einerseits der Nitratgrenzwert auf 50 mg/l abgesenkt und zusätzlich Grenzwerte für Pestizide von 0,1 µg/l für die Einzelsubstanz und 0,5 µg/l für die Summe eingeführt. Die EU-Vorgaben wurden am 22. Mai 1986 in der Novelle der TrinkwV in nationales Recht überführt.

Bei zahlreichen Wasserversorgern führte die Verschärfung des Nitratgrenzwertes zu ernsthaften Problemen. Wasserwerke mussten schließen, viele mussten ihr nitratbelastetes Wasser mit unbelastetem Grundwasser mischen, um die Vorgaben einhalten zu können. Bei den Pflanzenschutzmitteln verursachten die

zunehmenden Funde von Atrazin und seinem Abbauprodukt Desethylatrazin Sorgen. Die chemische Analytik stand vor neuen Herausforderungen, denn die Überwachung des PSM-Grenzwertes von 0,1 µg/l erforderte eine Bestimmungsgrenze von mindestens 0,05 µg/l. In der Folge löste dies einen deutlichen Entwicklungsschub bei der Analysetechnik aus.

Die damalige Landesregierung handelte zügig und verabschiedete 1988 die Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO). Grundgedanke war, durch verschiedene Maßnahmen die Belastung mit Nitrat und Pflanzenschutzmitteln in Wasserschutzgebieten zu senken und im Gegenzug den Landwirten einen finanziellen Ausgleich für Mehraufwand und eventuelle Ertragseinbußen zu gewähren. Im Jahr 2001 wurde die SchALVO novelliert und die Intensität der Maßnahmen an das Nitrat-Belastungsniveau des Rohwassers angepasst. Demnach gibt es Normal-, Problem- und Sanierungsgebiete, die Einhaltung der Vorschriften wird durch Messungen des Reststickstoffgehaltes im Boden am Ende der Vegetationsperiode überprüft.



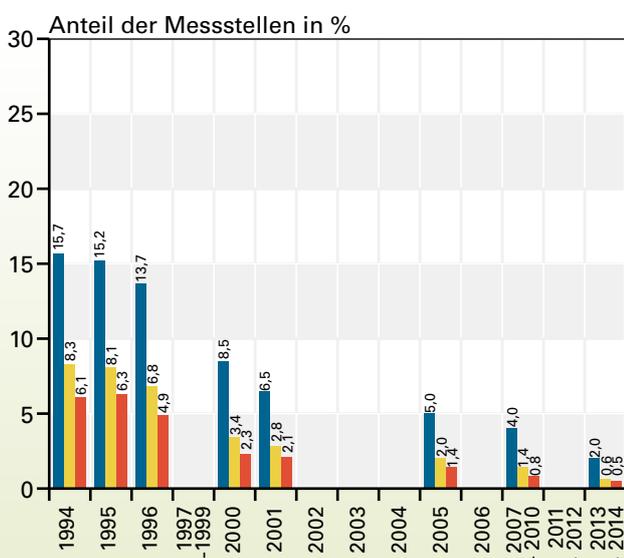
Außerhalb von Wasserschutzgebieten wurde das von der EU kofinanzierte Programm MEKA (Marktentlastungs- und Kulturausgleich) auf freiwilliger Basis aufgelegt. MEKA wird ab 2015 durch das Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl, kurz FAKT, abgelöst. SchALVO und MEKA haben bewirkt, dass die Nitratkonzentration seit den 1990er Jahren in Baden-Württemberg im Gegensatz zu anderen Bundesländern rückläufig ist. So beträgt die Abnahme im Gesamtmessnetz von 1994 bis 2014 rund 20 %.

Die Karte mit der regionalen Verteilung der Nitratbelastung zeigt die höchsten Konzentrationen im Raum Mannheim, Heidelberg und Bruchsal, im Neckarraum zwischen Stuttgart und Heilbronn, im Main-Tauber-Kreis, im Markgräfler Land sowie in der Region Oberschwaben. Dieses Verteilungsmus-

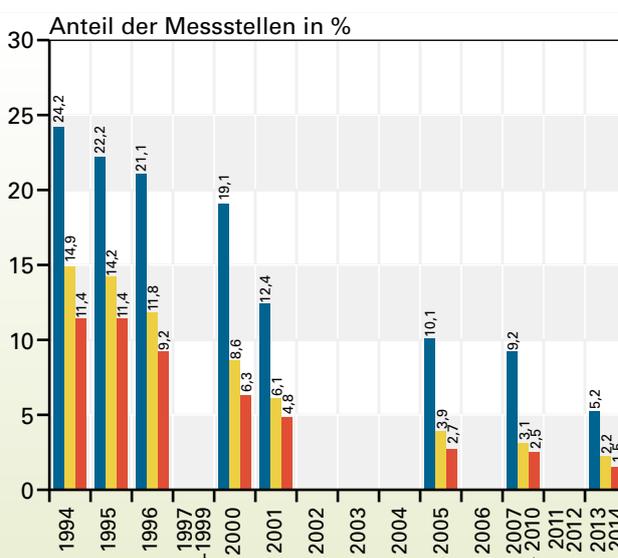
ter hat sich über die Jahre kaum geändert und verdeutlicht, wo die Intensiv- und Sonderkulturen wie Mais, Reben und Gemüse liegen.

Bei den Pflanzenschutzmitteln werden die meisten auffälligen Befunde schon seit den 1980er Jahren durch das Herbizid Atrazin und sein Abbauprodukt Desethylatrazin verursacht. In Baden-Württemberg war Atrazin schon seit 1988 durch die SchALVO verboten. Ein bundesweites Verbot folgte 1991 und hat bewirkt, dass die Belastung deutlich nachgelassen hat, trotzdem sind beide Stoffe aufgrund ihrer schlechten Abbaubarkeit und in einigen Gegenden aufgrund ungünstiger hydrogeologischer Gegebenheiten auch heutzutage noch immer nachzuweisen. Von den derzeit zugelassenen Wirkstoffen ist insbesondere Bentazon auffällig, wobei

Atrazin – 1.551 Messstellen



Desethylatrazin – 1.547 Messstellen



Zeitlicher Verlauf der PSM-Belastung von Atrazin und Desethylatrazin: Prozentuale Überschreitungshäufigkeiten der häufigsten Bestimmungsgrenzen von 0,05 µg/l (blau), Warnwert des Grundwasserüberwachungsprogramms von 0,08 µg/l (gelb) und Schwellenwert der Grundwasserverordnung von 0,1 µg/l (rot) in verschiedenen Jahren bzw. Zeiträumen

die bundesweiten Funde bereits zu Anwendungsbeschränkungen seitens der Zulassungsbehörde geführt haben. So wurde z. B. aufgrund seiner hohen Mobilität im Untergrund der Einsatz von Bentazon auf besonders durchlässigen Böden verboten.

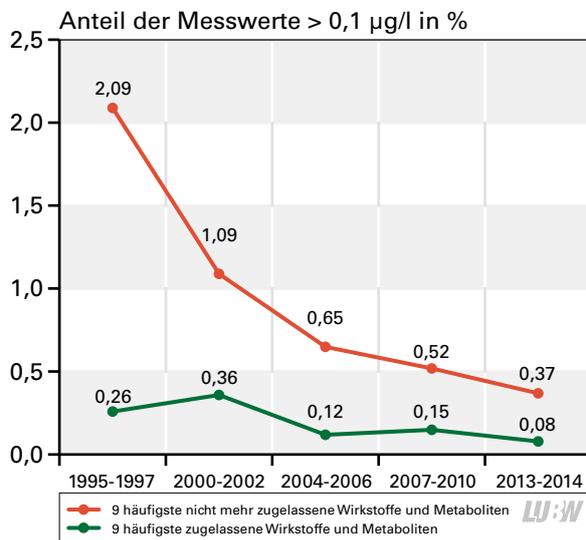
Die Gesamtbelastung mit Pflanzenschutzmitteln ist in den letzten 20 Jahren deutlich zurückgegangen. Die neun verbotenen Substanzen, die am meisten zur Belastung beitragen, zeigen ausgehend von einem hohen Niveau eine starke Abnahme auf nunmehr rund ein Fünftel des ursprünglichen Werts. Da diese Wirkstoffe alle im gleichen Zeitraum Anfang der 1990er Jahre verboten wurden, tragen auch alle diese Stoffe gleichzeitig zum Rückgang bei. Dabei wird die Kurve in erster Linie durch die hohen Überschreitungsquoten von Desethylatrazin und Atrazin dominiert. Die Kurve der zugelassenen Substanzen hingegen verläuft auf deutlich niedrigerem Niveau und auch wesentlich flacher, wenngleich auch hier die Überschreitungsquote von 0,1 µg/l auf rund ein Drittel zurückgeht.

Nichtrelevante Metaboliten

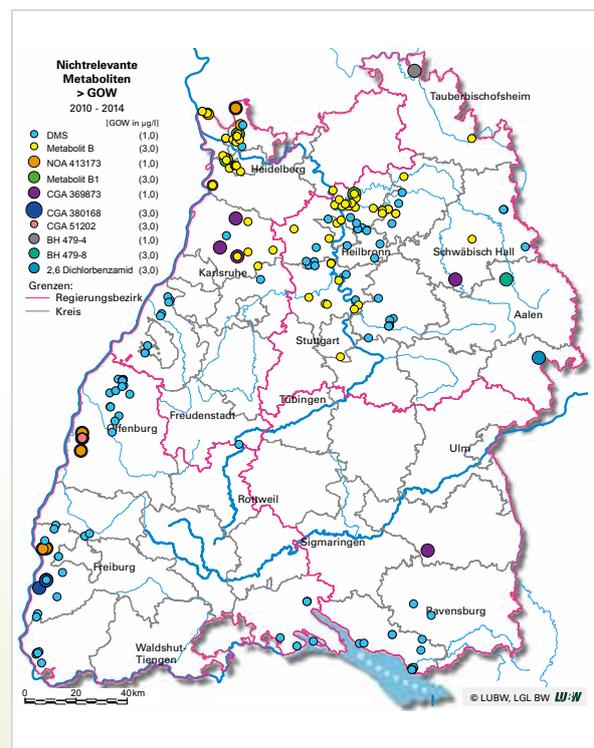
Im Jahr 2006 rückten die nichtrelevanten Metaboliten (nrM) von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in den Fokus des Interesses. In einem Fall wurden bei der Routineuntersuchung von Grundwasserproben in Baden-Württemberg zwei neue, bisher unbekannte Substanzen in deutlich erhöhten Konzentrationen gefunden. Diese wurden als Metaboliten des Rübenerbizids Chloridazon identifiziert. Im einem anderen Fall wurde festgestellt, dass aus dem Fungizid Tolyfluanid der bis dato nicht bekannte Metabolit N,N-Dimethylsulfamid (DMS) gebildet wird. Die Problematik bei DMS besteht darin, dass bei der Trinkwasseraufbereitung durch Ozonung DMS-haltiger Wässer das cancerogene N-Nitrosodimethylamin entsteht.

Bei den „nicht relevanten Metaboliten“ im Sinne des Pflanzenschutzrechts handelt es sich um Abbauprodukte von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen, die keine pestizide Wirkung mehr haben und unbedenklich hinsichtlich ihrer human- und ökotoxikologischen Eigenschaften sind. Das Umweltbundesamt (UBA) hat zusammen mit dem Bun-

desinstitut für Risikobewertung (BfR) für zahlreiche nrM gesundheitliche Orientierungswerte für Trinkwasser abgeleitet, bei deren Unterschreitung auch bei lebenslanger Aufnahme keine Gefährdung der Gesundheit zu befürchten ist.



Tendenz der Überschreitungshäufigkeiten bei den Untersuchungen von Pflanzenschutzmitteln in Baden-Württemberg 1995 bis 2014. Datengrundlage: Jeweils 16.000 bis 19.500 Einzelmessungen Stand: März 2015



Konzentrationsverteilung der nichtrelevanten Metaboliten mit Überschreitungen des Gesundheitlichen Orientierungswertes (GOW). Datengrundlage: Landesmessstellen und Kooperationsmessstellen der Wasserversorgungsunternehmen; pro Messstelle jeweils der neueste Überschreitungswert aus dem Zeitraum 2010 bis 2014 (Datenabfrage 04/2015)



LHKW – Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe

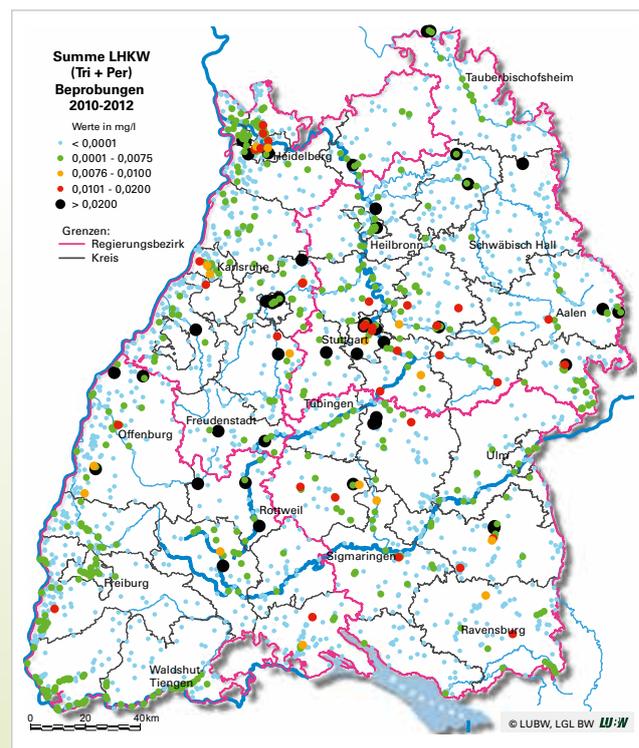
Erstmals wurde in der Trinkwasserverordnung von 1986 ein Grenzwert für die „Summe LHKW“ von 25 µg/l eingeführt. Darunter verstand man die Summe der Einzelsubstanzen 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen und Dichlormethan. In der TrinkwV von 1990 wurde dieser Summengrenzwert auf 10 µg/l abgesenkt und in der TrinkwV von 2001 nur noch auf die beiden Substanzen Tri- und Tetrachlorethen bezogen. Dieser Parameter wurde 2010 auch als „Summe aus Tri- und Tetrachlorethen“ in die Grundwasserverordnung übernommen.

Die regionale Verteilung der GOW-Überschreitungen zeigt die Karte (Seite 19). Die auffälligen DMS-Werte sind in der Vorbergzone der Oberrheinebene, dem mittleren Neckarraum und im Bodenseegebiet zu finden, überall dort, wo Weinbau und Obstbau in größerem Umfang betrieben werden. Erhöhte Befunde an Desphenylchloridazon sind insbesondere im Raum Heilbronn konzentriert, wo das Zentrum des baden-württembergischen Rübenanbaus liegt. Die GOW-Überschreitungen im Falle des Metolachlor-Metaboliten NOA 413173 sind in Maisanbaugebieten zu beobachten. Die Messstelle mit der GOW-Überschreitung des Dimethachlor-Metaboliten CGA 369873 liegt in einem Rapsanbaugbiet.

Die Zulassung für Tolyfluanid wurde Ende 2008 widerrufen, für Chloridazon wurde im März 2007 eine freiwillige Vereinbarung zwischen dem Hersteller und den zuständigen Behörden in Bayern und Baden-Württemberg abgeschlossen, „aus Vorsorgegründen keine chloridazonhaltigen Produkte mehr auf Rübenanbauflächen in sensiblen und für die Trinkwassergewinnung bedeutenden Gebiete zu verwenden sowie auf Produkte, die größere Wirkstoffmengen an Chloridazon enthalten, in Baden-Württemberg und Bayern generell zu verzichten.“ In beiden Fällen ist davon auszugehen, dass ein Rückgang der Konzentrationen noch einige Jahre dauern wird.

Kontaminationen des Grundwassers mit LHKW wurden ab den 1970er Jahren bekannt, nachdem diese Stoffe jahrzehntelang durch meist sorglosen und unsachgemäßen Umgang ins Grundwasser gelangt waren. Sie wurden hauptsächlich zur Metallentfettung in der Industrie sowie in chemischen Reinigungen eingesetzt. In der systematischen Altlastenbearbeitung spielen die LHKW-Schadensfälle eine prominente Rolle.

Die Schwerpunkte der LHKW-Belastung liegen in städtischen Ballungsräumen wie Stuttgart, Pforzheim, Mannheim/Heidelberg sowie in Städten, in denen die metallverarbeitende Industrie eine lange Tradition hat. Die Konzentrationen an diesen höher mit LHKW belasteten Messstellen



Konzentrationsverteilung der „Summe aus Tri- und Tetrachlorethen“ nach Grundwasserverordnung



sind landesweit in den letzten 15 Jahren zurückgegangen. Die am häufigsten gefundenen Einzelstoffe sind Tetrachlorethen (Per) und Trichlorethen (Tri). Die meisten der Befunde liegen allerdings im unteren Konzentrationsbereich von 0,1 µg/l bis 1 µg/l. Sie stellen mehr oder weniger eine „diffuse“ Hintergrundbelastung dar, die sich auch über die Jahre nur wenig geändert hat.

BTEX – Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole

Mitte der 1990er Jahre wurden als weitere Lösemittel, die insbesondere aus der Altlastenbearbeitung eine gewisse Bekanntheit erlangt hatten, die BTEX-Aromaten untersucht. Damit bezeichnet man die leichtflüchtigen, monoaromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol sowie o-, m- und p-Xylol. BTEX-Aromaten werden hauptsächlich als Rohstoffe in der Petrochemie sowie in der Industrie als Löse-, Entfettungs- und Verdünnungsmittel eingesetzt.

Kontaminationen durch die BTEX stehen an zweiter Stelle der zu sanierenden Schadensfälle im Grundwasser. Ursachen sind hauptsächlich punktuelle Einträge von Mineralölverbindungen infolge Leckagen und Unfällen. Diffuse Einträge sind bzw. waren vor allem Emissionen aus der Kraftstoffverbrennung, Lösemittelverwendung sowie Verdampfung bei Herstellung, Transport und Umfüllen von Kraftstoffen. Bei den rund 2.000 Messstellen des Grundwasserüberwachungsprogramms, die in den Jahren 2010 bis 2012 auf BTEX-Aromaten untersucht wurden, liegen nur in wenigen Einzelfällen erhöhte Konzentrationen im Bereich bis maximal 6,3 µg/l vor. Dabei handelt es sich meist um Schadensfälle, die den Verursachern gut zuzuordnen sind. In der Tendenz beobachtet man

bei den wenigen belasteten Messstellen überwiegend abnehmende Konzentrationen. Insgesamt ist somit die Belastung des Grundwassers mit BTEX-Aromaten als gering einzustufen.

PAK – Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

Auch Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind in erster Linie aus dem Bereich Altlasten bekannt. PAK sind in Produkten aus Kohle und Erdöl, z. B. in bituminösen Straßenbelägen zu finden. Sie werden auch bei der unvollständigen Verbrennung organischen Materials gebildet und treten somit im Rauch von Hausbrand und Industrieanlagen, in Autoabgasen und Zigarettenrauch auf. Auch beim Räuchern oder Grillen entstehen PAK. Über den Luftpfad werden die PAK ubiquitär verbreitet. Sie lagern sich im Boden bevorzugt an Bodenpartikel an und gelangen über Staub, Ruß und Straßenabrieb direkt in die Umwelt.

Von den etwa 300 bekannten PAK wurden von der amerikanischen Umweltbehörde EPA 16 Leitsubstanzen für die umweltanalytische Untersuchung ausgewählt. Die Grundwasserverordnung nennt keine Schwellenwerte für PAK, weder als Einzelstoff noch als Summenparameter. Die Messungen im Grundwassermessnetz zeigen, dass die meisten PAK an weniger als 1 % der Messstellen gefunden werden, nur Naphthalin tritt wegen seiner besseren Wasserlöslichkeit häufiger auf. Die Ursachen auffälliger Befunde im Grundwasser sind in erster Linie Altablagerungen und Altstandorte wie ehemalige Gaswerke, Tankstellen, Tanklager, etc.. Die PAK-Funde sind über ganz Baden-Württemberg verteilt. Insgesamt ist die Belastung rückläufig.



MTBE / ETBE

In der Bundesrepublik wird MTBE und sein Nachfolgeprodukt ETBE (Ethyl-tertiär-Butylether) als Antiklopfmittel verwendet. Es ist unter natürlichen Verhältnissen biologisch schlecht abbaubar, adsorbiert relativ schlecht an Bodenteilchen, gelangt so rasch ins Grundwasser und bildet dort stabile Fahnen aus.

In die Umwelt geraten MTBE und ETBE punktuell durch Leckagen oder Tropfverluste in Raffinerien, im Kraftstoffgroßhandel und an Tankstellen. Auch über undichte Kanalisationen können diese Stoffe ins Grundwasser eindringen. Diffuse Einträge entstehen vor allem durch den Kfz-Verkehr.

MTBE wurde ab 1990 zunächst pilotmäßig an risikobasiert ausgewählten Messstellen und ab 2007 in mehreren Kampagnen im gesamten Messnetz untersucht. Bei der Kampagne 2010 bis 2012 lagen an 89 Messstellen (4,5 %) positive MTBE-Befunde vor. Die meisten dieser Messstellen sind durch Industrie und Siedlung beeinflusst. Die höchste vorgefundene MTBE-Konzentration betrug 49,4 µg/l. Die Belastungen lassen sich nahezu immer eindeutig Verursachern zuordnen und sind überwiegend rückläufig. Im Rahmen der EU-Richtlinie 2003/30/EG zur Förderung von Biokraftstoffen geht der Einsatz von MTBE im Ottokraftstoff immer mehr zugunsten von ETBE zurück. Es ist daher davon auszugehen, dass auch die MTBE-Belastung des Grundwassers weiter zurückgeht. Ob umgekehrt die ETBE-Konzentrationen künftig ansteigen werden, bleibt abzuwarten und wird weiterhin verfolgt.

Komplexbildner

Die Substanzen EDTA und NTA sind in der Umweltdiskussion seit Anfang der 1980er Jahre, als EDTA in erhöhten Konzentrationen in Flüssen auftrat. Die wichtigsten Vertreter der Komplexbildner sind EDTA (Ethyldiamintetraessigsäure) und NTA (Nitrilotriessigsäure) sowie DTPA (Diethylentriaminpentaessigsäure). Aufgrund ihrer Fähigkeit, störende Metallionen zu binden, finden sie in vielen Bereichen Verwendung. Sie gelangen in erster Linie über den Abwasserpfad, d.h. über undichte Kanalisation und durch Uferfiltrat in das Grundwasser. Die ersten Untersuchungen im Messnetz waren 1998, die neueste Beprobungskampagne an rund 2000 Messstellen der LUBW fand von 2008 bis 2010 statt. Dabei waren an etwa 10 % der Messstellen EDTA und an weniger als 1 % der Messstellen NTA in Konzentrationen über 1 µg/l zu finden. Die Belastung ist in den letzten zehn Jahren bei EDTA auf rund die Hälfte, bei NTA auf rund ein Drittel zurückgegangen.

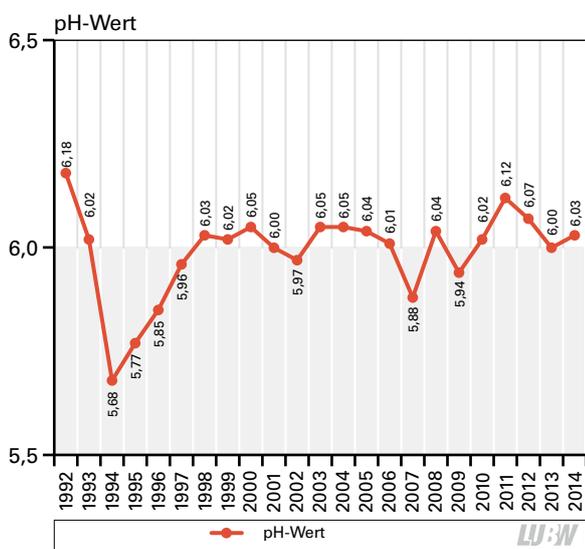
Versauerung

Das Waldsterben war „das“ Umweltthema der 1980er Jahre. Durch die hohe Schwefel- und Stickoxidbelastung der Luft entstand „saurer Regen“, der zunächst die Oberflächengewässer in den Hochlagen von Schwarzwald und Odenwald „versauerte“ – ein sichtbares Zeichen hierfür war z. B. absterbender Froschlaich in Bergseen. Der saure Regen veränderte auch Artenzusammensetzungen, zerstörte Baudenkmäler und verminderte den pH-Wert im Quellwasser, insbesondere dort, wo keine puffernden Deckschichten vorhanden waren. So waren hauptsächlich die Buntsandstein- und Festgesteinsregionen von Odenwald und



Schwermetalle

In allen Grundwässern sind metallische Spurenstoffe in unterschiedlich hohen Konzentrationen zu finden. Diese Stoffgehalte sind in den meisten Fällen natürlichen Ursprungs und je nach umgebender geologischer Formation in ihrer Zusammensetzung unterschiedlich. Darüber hinaus können weitere Belastungen auch durch anthropogene Einträge entstehen, sei es durch Abwässer aus undichter Kanalisation oder auch durch Schadensfälle. In erster Linie sind Messstellen betroffen, in deren Einzugsbereichen sich Siedlungen oder Gewerbegebiete mit Firmen befinden, die im weitesten Sinne mit Metallver- und -bearbeitung oder mit der Farbpigmentherstellung zu tun haben.



Verlauf des pH-Wertes von 26 Messstellen mit versauertem Wasser aus oberflächennahen Schwarzwald- und Odenwaldquellen

Schwarzwald betroffen. In der Folge wurden nationalgesetzliche Regelungen zur Luftreinhaltung wie Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) und Technische Anleitung Luft (TA Luft) erlassen und auf EU-Ebene zahlreiche Protokolle verabschiedet, um den sauren Regen zu bekämpfen. Diese Maßnahmen haben Wirkung gezeigt; die pH-Werte des Quellwassers von Schwarzwald und Odenwald sind zwar immer noch die niedrigsten im ganzen Land, aber bei weitem nicht mehr so niedrig wie vor drei Jahrzehnten, da der Anteil der anthropogenen Versauerung deutlich zurückgegangen ist.

Schon in der ersten deutschen Trinkwasserverordnung von 1975 sind Grenzwerte für die Schwermetalle Arsen, Cadmium, Chrom, Blei, Quecksilber und Selen genannt. Inzwischen sind von insgesamt 22 im Grundwassermessnetz untersuchten metallischen Spurenstoffen für zwölf aufgrund ihrer Toxizität Schwellen- oder Grenzwerte festgelegt. Bei Antimon, Kupfer und Quecksilber traten keine Überschreitungen auf. Bei Aluminium, Blei, Bor, Cadmium, Chrom und Nickel wurden die Schwellen-/Grenzwerte in Einzelfällen überschritten, teilweise geogen bedingt, teilweise aber auch durch Schadensfälle verursacht. Überschreitungen bei Arsen, Eisen und Mangan haben fast immer in Gebieten mit reduzierenden, d. h. sauerstoffarmen Grundwässern eine natürliche Ursache. Insgesamt sind Belastungen des Grundwassers mit metallischen Spurenstoffen überwiegend geogen bedingt und stellen auf die Fläche bezogen für die Grundwassernutzung kein Problem dar.





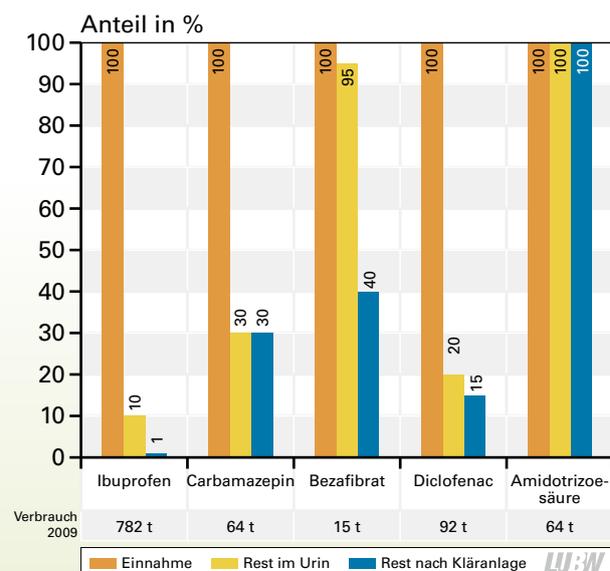
Organische Spurenstoffe

Unter dem Überbegriff „Organische Spurenstoffe“ oder „Organische Mikroverunreinigungen“ werden in neuer Zeit immer neue „emerging contaminants“ in die Diskussion gebracht. Darunter versteht man Verbindungen, die in Konzentrationen im Bereich von 0,1 µg/l und darunter auftreten. Dieser Definition folgend wurden zahlreiche Stoffe und Stoffgruppen im Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz schon von Anfang an untersucht.

Mit der kommerziellen Verfügbarkeit des Analyseverfahrens LC-MS/MS seit dem Jahrtausendwechsel war es möglich, in der Routineanalytik auch stärker polare organische Substanzen zu untersuchen, teilweise sogar ohne einen vorherigen Anreicherungsschritt. Damit konnte das Untersuchungsspektrum auf zahlreiche weitere Substanzen und auch deren Abbau- und Transformationsprodukte erweitert werden. Die reine Messung und die Absicherung des Messwerts ist ein Aspekt. Bedeutsamer ist jedoch im Anschluss daran die Bewertung, d.h. wie wirkt sich dieser Stoff auf den Menschen und das Ökosystem aus und wie lassen sich die Befunde kommunizieren. Im Allgemeinen löst das Erscheinen eines neuen Umweltkontaminanten eine rege Forschungs- und Entwicklungstätigkeit aus, angefangen von der Analytik bis zu Abhilfemaßnahmen und Eliminationsverfahren.

Arznei- und Röntgenkontrastmittel

Erste Meldungen zu Befunden von Arzneimitteln in Gewässern gab es etwa Mitte der 1990er Jahre, erste Messungen im Grundwassermessnetz fanden schon 1998 statt. Im Umweltbereich Wasser wurden weltweit bisher etwa 600 Substanzen nachgewiesen. In Deutschland sind rund 3.000 Arzneimittelwirkstoffe in rund 9.700 Handelsprodukten auf dem Markt. Ihr Eliminationsverhalten ist recht unterschiedlich. Einige Humanarzneimittel werden nach der Einnahme unverändert wieder ausgeschieden, gelangen über den Urin ins Abwasser und werden in der Belebtschlammstufe einer konventionellen Kläranlage mehr oder weniger gut oder gar



Restkonzentrationen von Arznei- und Röntgenkontrastmitteln im Urin und im Ablauf einer konventionellen Kläranlage

nicht entfernt. Andere Wirkstoffe hingegen werden im Körper in unterschiedlichem Umfang metabolisiert. Die iodierten Röntgenkontrastmittel werden weder biologisch abgebaut noch am Klärschlamm adsorbiert. Darüber hinaus werden nach wie vor unbenutzte Medikamente und Restmengen unsachgemäß über die Toilette statt über den Hausmüll entsorgt. Hauptquelle für das Vorkommen von Arzneimitteln im Abwasser sind in erster Linie die häuslichen Abwässer, aus Krankenhäusern stammen Schätzungen zufolge nur 10 bis 20 % der jährlich in die Umwelt entlassenen Gesamtmenge an Arzneimittelwirkstoffen.

Es gibt für Arznei- und Röntgenkontrastmittel keine Schwellen- oder Grenzwerte für Grund- bzw. Trinkwasser. Für einige Stoffe wurden vom Umweltbundesamt GOW für Trinkwasser abgeleitet, die hilfsweise für die Bewertung des Grundwassers herangezogen werden. Die meisten Arzneimittelbefunde betreffen das Antiepileptikum Carbamazepin und das Schmerzmittel Diclofenac. Das verbrauchsstärkste Schmerzmittel Ibuprofen wird aufgrund seiner guten Abbaubarkeit nur selten gefunden. Bei den Röntgenkontrastmitteln (RKM) sind in erster Linie Amidotrizoesäure und Iopamidol hinsichtlich der Konzentrationen und Fundhäufigkeit auffällig. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass bei den untersuchten Arznei- und Röntgenkontrastmitteln in den letzten Jahren kein Rückgang festzustellen ist.

PFC – Per- und polyfluorierte Verbindungen

Perfluorierte Verbindungen sind synthetische, organische Verbindungen, bei denen die Wasserstoffatome im Kohlenstoffgerüst vollständig durch Fluoratome ersetzt sind. Sind nicht alle Wasserstoffatome ersetzt, spricht man von Polyfluorierten Verbindungen. PFC werden etwa seit 60 Jahren hergestellt und sind als Xenobiotika sehr beständig in der Umwelt. Sie sind hitze- und chemikalienbeständig und werden in der Oberflächenveredelung, als Imprägniermittel für Papier, Leder und Textilien, als Hochleistungstensiide in der Galvanik und in Feuerlöschschäumen verwendet. Sie stehen im Verdacht krebserregend zu sein. Die bekanntesten Vertreter sind PFOA (Perfluoroktanoat) und PFOS (Perfluoroktansulfonat).

Die Rückkehr der Geier

Indien, das vor 20 Jahren noch Heimat von rund 40 Millionen Geiern war, hat heute mehr Millionäre als Geier. Tierschützer schätzen die Zahl der Tiere auf nur noch 4000. Schuld für den Niedergang der Geier war ein Medikament: Diclofenac. In Indien wurden lange Zeit Kühe mit Diclofenac behandelt – und die Geier bekamen über das Fressen von Aas ihre Dosis. Indien hat zwar längst Brasilien als größten Rindfleischexporteur der Welt überflügelt, aber Kühen, die nicht im Schlachthof landen, blüht am Ende ihres Lebens oft ein lange dauerndes Leiden voller Schmerzen, bevor sie verenden. Die Vierbeiner gelten den Hindus als heilig und werden deshalb nicht notgeschlachtet. Stattdessen wurde das eigentlich für Menschen gedachte Schmerzmittel vor zwei Jahrzehnten in Indien erstmals alten Tieren gespritzt – mit verheerenden Folgen für die Geier des Landes: Die Nieren der Vögel versagten.



Weil die Geier zu Millionen verendeten, labten sich stattdessen freilebende Hunde an den Kadavern. Eine der Folgen des Massentods der Geier und der schlemmenden Hunde: Indien gehört heute zu den Ländern mit der höchsten Tollwutrate.

Nun gibt es erstmals seit dem Ende des vergangenen Jahrhunderts Hoffnung, dass die Geier ab dem kommenden Jahr wieder in größerer Zahl über Indien kreisen werden. Es wäre ein Durchbruch, der nach der blitzartigen und nahezu völligen Ausrottung der Geier in Indien sowie den Nachbarländern Pakistan und Bangladesch noch vor zehn Jahren nahezu unmöglich erschien. Die Organisation SAVE (Saving Asia's Vultures from Extinction) und ihre indischen Partner wollen im Brutkasten gezogene Vögel – sozusagen wertvolle Überlebende des Geier-Massensterbens – in Indien erst in die freie Wildbahn lassen, wenn in den Sicherheitszonen endgültig das Schmerzmittel Diclofenac aus den Regalen der Apotheken und den Medizintaschen der Tierärzte verschwindet.

Die Regierung verbot den Einsatz der Schmerzspritzen bei Tieren. Der Schweizer Pharmariese Novartis stellte gar die Produktion des Geiervernichters in Südasien ein. Aber Indien genießt schließlich den Namen „Apotheke der Armen“, weil zahlreiche Generikahersteller billige Kopien teurer Medikamente produzieren.

SAVE gibt jährlich mehr als 250.000 Euro für das Geier-Brutprogramm aus. Doch es ist nicht einfach für die Geierschützer in Indien, die notwendigen Mittel aufzubringen. Denn die Aasfresser mit den zugegebenermaßen unappetitlichen Fressmanieren gehören im Gegensatz zu Seehundbabys und putzigen Koala-Bären oder Walen nicht gerade zu den Geldbringern bei Spendensammlungen.

Quelle: STUTTGARTER ZEITUNG, Autor Willi Germund
Ausgabe Nr. 167, Mittwoch, 23. Juli 2014



Diese Stoffklasse blieb lange Zeit mehr oder weniger unbeachtet, bis PFOA und PFOS im Sommer 2006 in Nordrhein-Westfalen die Schlagzeilen gelangten. In der Folge wurden 2006 im Grundwassermessnetz risikobasiert Messstellen ausgewählt. Da Einträge meist über den Abwasserpfad erfolgen, kamen insbesondere abwasserbeeinflusste Messstellen in Frage, bei denen die Stoffe entweder über Lecks in der Kanalisation oder über den Weg Kläranlage-Vorfluter-Uferfiltrat ins Grundwasser eindringen, weil sie im normalen Klärprozess praktisch nicht entfernt werden. Direkte Einträge ins Grundwasser können auch durch versickerte Abwässer im Rahmen von Brandbekämpfungsmaßnahmen mit PFC-haltigen Feuerlöschschäumen erfolgen.

Weitere Messkampagnen wurden 2007, 2010, 2013 und 2014 durchgeführt. Ziel war dabei, einen Überblick über Fundhäufigkeit und Konzentrationen an Verdachtsmessstellen zu erhalten. Die meisten Positivbefunde traten bei PFOA, PFOS und PFBS auf, hierbei PFOA und PFOS auch in höheren Konzentrationen. Die Positivbefunde der anderen Verbindungen lagen überwiegend im Konzentrationsbereich zwischen 1 ng/l (Bestimmungsgrenze) und 10 ng/l. Die höchsten Summenwerte lagen bei 300 ng/l. Die GOW wurden in keinem Fall überschritten.

Süßstoffe

Künstliche Süßstoffe werden heutzutage in großen Mengen als Zusatzstoffe in Getränken, Lebensmitteln und Körperpflegeprodukten eingesetzt. Sie sind recht hitzestabil und lange lagerfähig. Sie werden im Körper nicht verstoffwechselt, sondern unverändert über den Urin ausgeschieden. Damit gelangen sie über den Abwasserpfad in die Umwelt. Süßstoffe sind in den bisher im Grundwasser auftretenden Konzentrationen für den Menschen völlig unbedenklich. Die Datenlage zur deren Ökotoxizität ist noch lückenhaft, die Zahl der entsprechenden Studien nimmt derzeit jedoch zu. Cyclamat und Saccharin werden in einer konventionellen Kläranlage zu 90 bis 99 % entfernt, Acesulfam und Sucralose hingegen nur zu 15 bis 30 %. Daher sind die beiden letztgenannten Süßstoffe als Tracer für Abwasser bzw. Abwasseranteile gut geeignet. Es gibt keine Grenz- oder Schwellenwerte für Grundwasser.

Bei einer ersten Untersuchung im Mai 2013 an 57 abwasserbeeinflussten Messstellen waren fast überall Süßstoffe nachweisbar. Im Uferfiltrat waren nur noch die schwer abbaubaren Verbindungen Acesulfam und in geringerem Maße auch Sucralose zu finden, im Bereich undichter Kanalisation alle vier untersuchten Stoffe. Insgesamt trat Acesulfam am häufigsten und in den höchsten Konzentrationen auf. Die Konzentrationen lagen meist im Bereich unter 1 µg/l, der Spitzenwert erreichte 11 µg/l.



Benzotriazole

Benzotriazole finden breite Verwendung als Korrosionsschutz in Enteisungsmitteln und in Kühlflüssigkeiten sowie Schmierstoffen von Motoren. Eine wichtige Quelle für ihren Eintrag in die aquatische Umwelt sind Geschirrspülmittel, die diese Substanzen als Silberschutz für Besteck enthalten. Benzotriazole sind gut wasserlöslich, jedoch schwer abbaubar. Die Konzentrationen im kommunalen Abwasser liegen im Bereich von 2 bis 13 µg/l. In der Tendenz wird 5-Methylbenzotriazol in der Kläranlage am besten entfernt, dann folgen 1H-Benzotriazol und 4-Methylbenzotriazol. Es gibt keine Schwellenwerte oder Grenzwerte für Grund- bzw. Trinkwasser. Häufig werden die für Trinkwasser abgeleiteten GOW für die Bewertung des Grundwassers herangezogen. Bei den 57 „Verdachtsmessstellen“ konnten in fast der Hälfte der Fälle ein bis drei Verbindungen nachgewiesen werden, am häufigsten 1H-Benzotriazol, gefolgt von 4-Methylbenzotriazol und 5-Methylbenzotriazol.



Ein Interview mit

Dr. Rüdiger Wolter
Wissenschaftlicher Oberrat
Umweltbundesamt

Was sind aus Ihrer Sicht die drei Hauptgründe, Grundwassermonitoring zu betreiben?

Das Grundwassermonitoring dient zunächst dazu, einen Überblick über die Beschaffenheit des Grundwassers, insbesondere auch der Höhe und Verteilung von Belastungen zu bekommen. Außerdem sollen frühzeitig Gefährdungen für bestimmte Nutzungen, z.B. die Trinkwassergewinnung aber auch für empfindliche Ökosysteme, erkannt werden, um durch geeignete Maßnahmen gegensteuern zu können. Des Weiteren soll beobachtet werden, ob Maßnahmen zur Verringerung bzw. Vermeidung von Belastungen wirksam sind. Schließlich sind die Monitoringergebnisse zur Erfüllung von Berichtspflichten gegenüber dem Bund oder der EU erforderlich. Es sind dies z. B. Berichte entsprechend der Nitratrichtlinie oder über die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie.

Wie fließen die Ergebnisse aus dem Monitoring in die politische Arbeit des Bundes ein?

Die Monitoringergebnisse haben eine sehr große politische Bedeutung nicht nur für den Bund, sondern auch für die Bundesländer und die Europäische Union.

Daten über Pflanzenschutzmittel-Belastungen werden z. B. aktuell vom Bund für die Zulassung von Pflanzenschutzmittel genutzt. Mit den Nitratdaten hat der Bund gegenüber der EU-Kommission zu belegen, dass die eingeleiteten Maßnahmen ausreichend sind, um die Vorgaben der EU zu erfüllen. Auch in der aktuellen politischen Diskussion über den Umgang mit „nicht relevanten Metaboliten“ und „Arzneimitteln in Gewässern“ spielen Monitoringdaten eine wichtige Rolle.

Wann und in welcher Angelegenheit hatten Sie erstmals Kontakt zum Grundwassermessnetz Baden-Württemberg?

Kontakt zum Grundwassermessnetz in Baden-Württemberg hatte ich bereits in den 1980er Jahren durch die fachliche Begleitung des Vorhabens „Modellhafte Einrichtung eines Grundwassermessnetzes in einer ausgewählten Region (Modell Karlsruhe)“. In diesem Projekt wurden eine ganze Reihe von Untersuchungs- und Auswertemethoden entwickelt und neue Analysemethoden eingesetzt. Durch Modellierungen wurden die Einzugsgebiete von Messstellen besser abgegrenzt und die Beziehungen zwischen Landnutzung und Grundwasserbeschaffenheit deutlich gemacht. Ich denke, dass diese Ergebnisse noch heute von großem Nutzen sind.

LUBW

KIWI? ZEUS? WIBAS?

Die Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung von den Anfängen bis zur modernen Grundwasserdatenbank

Die Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung für den Messnetzbetrieb und die Berichterstattung im Rahmen des Landesmessnetzes Grundwasser ist geprägt durch die in den letzten Jahrzehnten stattgefundenen Revolution in der Computertechnik.

Zwar stolpert man über ausgestorbene Wörter, wie Clipper, VAX, ADABAS, VT-Terminal, Roland-Plotter, Nadeldrucker und viele andere mehr, doch lässt sich auch eine Kontinuität in der Konzeption feststellen. Aus Einzelsystemen mit mehreren Seitenzweigen gelangte man schließlich zu einer gemeinsamen Lösung, die trotz der dezentralen Datenhaltung allen Benutzer/innen der verschiedenen Dienststellen gleichartige Funktionalitäten und einheitliche Ausgaben ermöglicht.

Die einmal gewonnenen Daten gingen auch bei Systemwechseln nicht verloren, sondern wurden konsequent übertragen. Methoden der Hydrologie, die sich bewährt hatten, standen durch Neuprogrammierung weiterhin zur Verfügung. Damit hatte die Umweltverwaltung ein rundes System, das durch hohe Flexibilität und zahlreiche Austausch-schnittstellen ein universelles Werkzeug zur Datenerfassung und zur Berichterstellung darstellt: die Grundwasserdatenbank (GWDB).

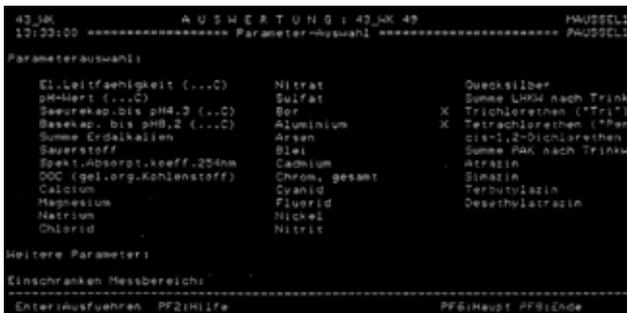
Die Anfänge: Die erste Grundwasserdatenbank und KIWI

Das Jahr 1985 unterschied sich in keiner Weise in den Arbeitsabläufen und Arbeitsmitteln vom Büroalltag der Jahre vorher. Es gab noch keine Arbeitsplatzrechner, keine geregelte Datenverarbeitung und natürlich auch keine elektronischen Datenauswertungen.

Dennoch war Aufbruchstimmung zu spüren, da man Wege suchte, die mit Schaffung der Projektgruppe Grundwassergüte angekündigte Zielvorgabe „50.000 Grundwassermessstellen im Land zu erheben“ umzusetzen.

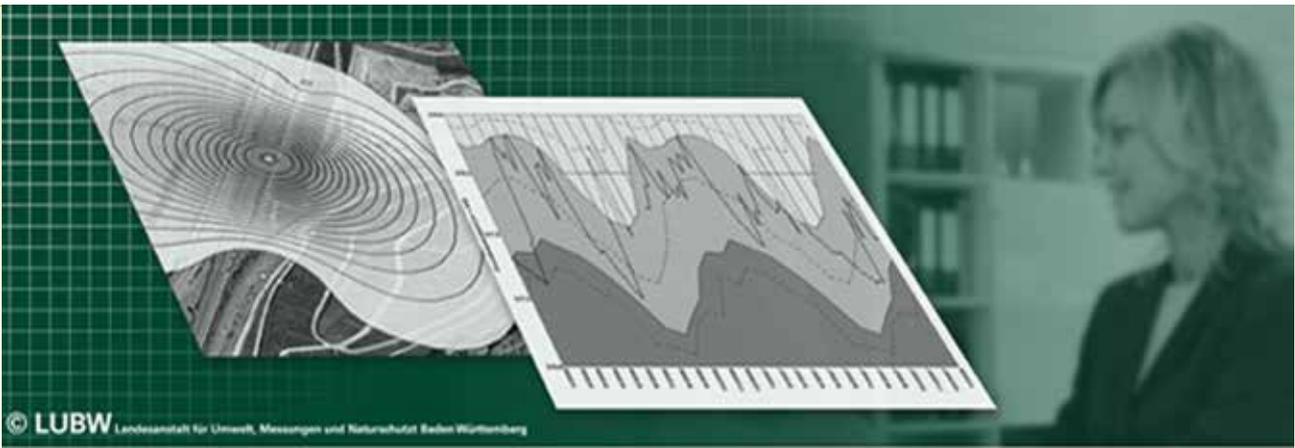


Hauptmenue



Parameterselection

Ein erster Schritt war die Konzeption eines Datenblattes, Messstellen zu beschreiben und die Erfindung der „LfU-Nummer“ zur eindeutigen Identifikation. Zur Reduzierung des Arbeitsaufwandes wurden die Archive der Wasserwirtschaftsämter durchsucht, Unterlagen zum Bau und zur Genehmigung von Brunnen, Quellen und Messstellen kopiert, um die daraus hervorgehenden Attribute dann über Werkvertragsvergabe in die Formulare zu übertragen. Da der Begriff der Schnittstelle noch als unbedeutend oder unbekannt galt, konnten nur die Messstellendaten in die neue Grundwasserdatenbank manuell eingegeben



werden. 40.000 Objekte standen bald zum Abruf bereit, die Presse berichtete über diese Erfolgsmeldung mit hoher Resonanz.

Die Nutzung der GWDB (Programmiersprache: Natural, Datenbanksystem ADABAS) erforderte die Beschaffung von Bildschirmterminals VT, deren Einsatz besonders durch die individuelle Belegung der Tastatur (Produktionstasten) intensiv geschult werden musste.

Die GWDB wurde von Anfang an auf die Bedürfnisse der damaligen LfU zur Verarbeitung von Grundwasserdaten aller Art zugeschnitten. Parallel dazu startete die Entwicklung eines Informationssystems für die gesamte Wasserwirtschaft. Das unter dem Namen „Kommunikativ integriertes wasserwirtschaftliches Informationssystem“, kurz „KIWI“ einzusetzende System für die Vollzugsbehörden umfasste alle wasserwirtschaftlichen Objektarten, von der Sammelkläranlage über Regenrückhaltebecken bis zu Einleiterstellen, ebenso wie Grundwasserobjekte und Wasserversorgungsanlagen.

Man kann heute über beide Systeme mit den damals vorhandenen Möglichkeiten lächeln, sie boten jedoch den ersten Ansatz zur konsequenten Erfassung wasserwirtschaftlicher Daten. Diese Grundmuster und Grundgedanken ziehen sich bis in die modernen Systeme Baden-Württembergs durch, die sicherlich ohne die zum Teil leidvollen Erfahrungen mit ersten DV-Systemen und den Erfolgen erster Massendatenverarbeitung kaum die heutige Bedeutung hätten oder mit einem solch hohen Nutzerkreis aufwarten könnten.

Frühe Auswertungen: Ganglinien und blauer Atlas

Messwerte zu Grundwasserständen und Quellschüttungen wurden bis 1989 auf einem Computersystem der Firma Dietz, Mülheim/Ruhr, erfasst und ausgegeben. So konnten für jeden Bezirk eines Wasserwirtschaftsamts die sogenannten Ganglinienbücher erstellt werden, die nichts anderes als eine Zusammenschau aller Messwertlinien waren: Zu Beginn im Zeitraum der letzten fünf Jahre, dann mit verbesserter Hardware über die letzten zwanzig Jahre. Die langgediente „Dietz“ wurde dann 1990 zugunsten einer VAX-Anlage aufgegeben, die schneller und effizienter arbeiten konnte. Die Datenmigration war jedoch ein sehr umfangreiches Vorhaben, da die im hohem Umfang erforderlichen Umformatierungen des Datenbestands die Migration erschwerten.

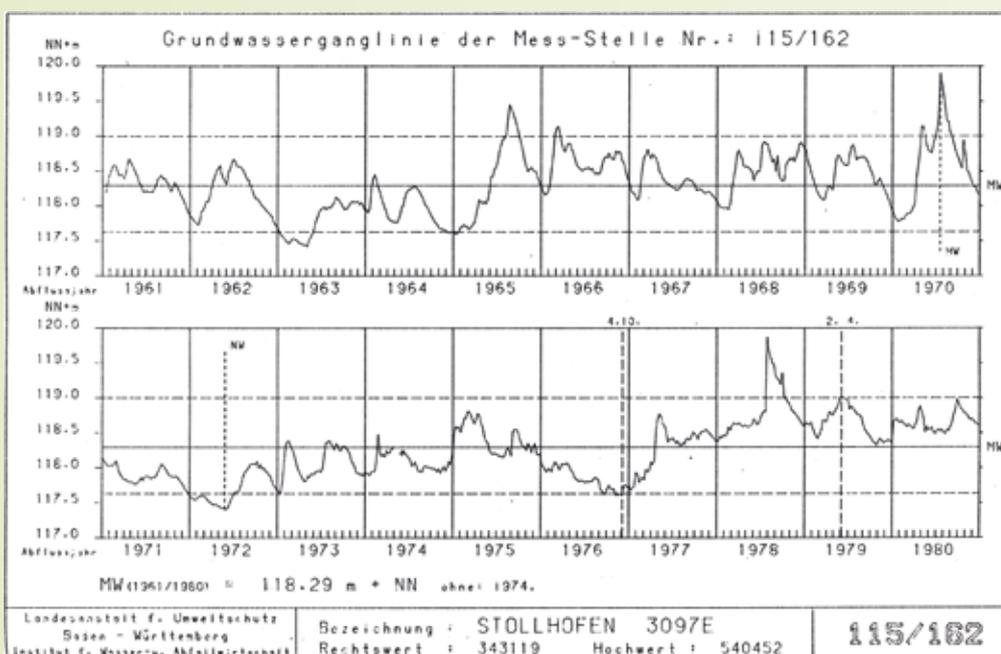
Chemische Messwerte konnten nur von Hand in die Grundwasserdatenbank eingegeben werden, ein aus heutiger Sicht sehr komplizierter und sehr mühsamer Vorgang. Ab 1990 hatte sich dann die Schnittstelle „LABDÜS“ (Labordatenübertragungssystem) durchgesetzt. Geschrieben in der auf dbase aufsetzenden Programmiersprache „Clipper“ der Firma Nantucket konnten von beauftragten Laboren Disketten übersandt werden, die in die GWDB eingelesen wurden – ein sagenhafter Fortschritt! „LABDÜS“ besteht heute in einer Folgeversion als erfolgreiche Schnittstellendefinition zur Übertragung von chemischen Analysen.

Auch Grafikausgaben wurden bewältigt: Die Lage der Messstellen wurden maßstabsgetreu auf Folien geplottet, um dann auf topografische Karten gelegt für Messstellenüberprüfungen vor Ort mitgenommen zu werden. Dies führte zur Erstellung des „Blauen Atlas Grundwasser“, der auf der Basis wasserwirtschaftlicher Karten die Messstellen auf transparenten Zwischenfolien landesweit flächendeckend präsentierte. Im Rahmen einer Organisationsüberprüfung durch eine externe Firma wurde entschieden, dass Datenerhaltung und Datennutzung getrennte Wege gehen sollen. Grundlage für die Entscheidung war die richtige Ansicht, Landesberichte über den Zustand der Grundwasserbeschaf-

Zwischenschritte: Redesign und Wissenschaft

Durch die Ablösung der Programmiersprache Natural durch Natural II und der Notwendigkeit der weiteren Programmpflege wurde 1996 das Redesign der Grundwasserdatenbank veranlasst. Dabei waren nicht nur die bestehenden Funktionalitäten anzupassen, sondern auch Neuerungen, besonders im Messwertebereich einzuführen und das System auf Arbeitsplatzrechner zu übertragen.

Schwierigster Punkt war die Koppelung der GWDB mit dem KIWI-System über eine sogenannte Black-Box, in der Messstellendaten und Messwerte in das jeweils andere For-



Ganglinien der
Messstelle Nr.: 115/162

fenheit und der Grundwasserbewirtschaftung mit modernen Mitteln erstellen zu können. Nicht unschuldig daran waren die Versprechungen von cart/o/grafix, leicht Karten erstellen und weiter in die neu eingeführten Officeprodukte einbinden zu können. Zu dieser Zeit lief das Kartografiesystem nur unter Apple-MacIntosh-Rechner, so dass die erste Ausstattung mit Arbeitsplatzrechnern einen Sonderweg einschlug. Da sich das System nicht bewährte und mittlerweile Windows-Standardrechner unter Nutzung von ArcView ihren Siegeszug in der Verwaltung angetreten hatten, wurde dieser Weg nach fünf Jahren nicht mehr weiterverfolgt.

mat übersetzt und exportiert wurden, um dann über Mail in das Zielsystem übertragen zu werden. Dieser Vorgang wird heute noch in natürlich modernerer Form, aber nach dem gleichen Prinzip für den GWDB-Datenaustausch zwischen verschiedenen Dienststellen verwendet.

Dann hieß es: „GWDB goes Science“. Die einfachen Auswertemöglichkeiten der Grundwasserdatenbank konnten den Ansprüchen landesweiter Berichterstattung bald nicht mehr genügen, es wurde der Wunsch nach der Umsetzung bewährter und neuer hydrologischer Methoden laut: Besonders neue Diagrammformen und geostatistische Verfahren bildeten hierbei den Schwerpunkt.



Im Rahmen eines Forschungsauftrags wurde deshalb 1995 das neue Projekt ZEUS (Zentrales Umweltkompetenzsystem) aus der Taufe gehoben. Es stellte vielfältige Klassifikationsverfahren in einer Methodenbank zur Verfügung: Variogramme, Krigingverfahren, Clusteranalysen, Diagramme (Piper, Boxplot) oder auch das Regelinduktionsverfahren. Als Kartografiesystem wurde Arc/Info gewählt. Zahlreiche Schnittstellen zum Beispiel nach Microsoft Excel stellten die gewonnenen Ergebnisse zur Weiterverarbeitung bereit.

Durch die Einführung eines weiteren Systems auf einem VAX-Rechner sowie der Verwendung komplexer Verfahren und anspruchsvoller Kartografie konnte sich ZEUS im Routinebetrieb nicht im Ganzen durchsetzen. Teile davon, wie zum Beispiel die Clusteranalyse für Mengensmessstellen wurden weiterverwendet, weitere Verfahren, wie Boxplotdarstellungen und Zeitreihenanalyseverfahren wurden in die spätere Grundwasserdatenbank integriert. Mit dem ebenfalls später an die GWDB angeschlossenen Simik+-Verfahren fand auch das Kriging-Verfahren weitere Anwendungsbereiche.

Von WAABIS zu WIBAS: Neukonzeption der Grundwasserdatenbank

Das herannahende Millennium bedeutete das Aus für die seit 1986 routinemäßig eingesetzte Grundwasserdatenbank und das KIWI-System der Wasserwirtschaftsverwaltung. Natürlich war nach 14 Jahren die Programmierung die Benutzeroberfläche hoffnungslos veraltet, weit mehr zählte aber, dass die verwendeten Datenbankformate nicht „Jahr-2000-fähig“ waren und daher eine generelle Neukonzeption zwingend notwendig wurde.

Nach einer intensiven Diskussionsphase entschied man sich für das Datenbanksystem Oracle und, sehr innovativ, für die Programmiersprache JAVA. Da hier noch keinerlei Erfahrungen vorlagen, wurde das Fraunhofer-Institut IITB in Karlsruhe beauftragt, eine Machbarkeitsstudie zu erstellen, die das angedachte IT-System auch bestätigte. Man nutzte auch die Chance, für die ganze Wasserwirtschaftsverwaltung, also die damalige LfU, die Regierungspräsidien und die Stadt- und Landkreise eine Harmonisierung der Systemlandschaft durchzuführen, also eine modulare Anwendung für alle zu entwerfen. Die Grundwasserdatenbank wurde ein Modul von WAABIS (Informationssystem Wasser, Abfall, Altlasten, Boden Baden-Württemberg) und damit Teil des Umweltinformationssystems des Landes.

In einem Datenkatalog wurden die Datenführung und die Datenverpflichtung dienststellenscharf festgelegt, damit in einem dezentralen System keine überschneidenden Zuständigkeiten auftreten konnten. Die Regelung des Datenaustauschs über eine zentrale alles umfassende „Referenzdatenbank“ bediente auch das UIS-Berichtssystem als übergreifendes Auswertewerkzeug über die Fachnutzer hinaus.

Die Programmierung des IITB vereinigte alle diese Ziele in sich und bot sowohl der LfU messnetzorganisatorische und berichtsrelevante Verfahren, den Regierungspräsidien besonders Funktionalitäten für die Verarbeitung und Darstellung von Grundwassermengen und letztlich den Kreisen spezifische Datenfelder und Auswertungen für lokale Vollzugsaufgaben unter einer gemeinsamen modernen Benutzeroberfläche. Die Daten aus der alten GWDB und KIWI wurden in das neue System übertragen, damit konnte sofort weiter gearbeitet werden.



Die allgemein in WAABIS verwendeten Selektionsmodule und das Kartografiesystem GISterm konnten integriert werden, damit sich die Benutzer nicht an verschiedene Bedienungen gewöhnen mussten, da alles unter der gleichen Oberfläche vereinigt wurde. Im Unterschied zu anderen WAABIS-Modulen wurde schon früh der Schwerpunkt auf die Auswertung gelegt und mit dem Erfassungsteil vereinigt. Neben der Datenerfassung konnten zahlreiche Diagrammformen, Berichte und Listen und über GISterm kartografische Darstellungen angeboten werden.

2006 wurde aus WAABIS durch Zusammenführung mit dem Informationssystem der Gewerbeaufsicht WIBAS (Informationssystem Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz), in dem die Grundwasserdatenbank weiterhin als bedeutendes Modul eingesetzt wurde.

Angekommen: Die Grundwasserdatenbank heute

Die Grundwasserdatenbank (GWDB) wird heute in Baden-Württemberg routinemäßig bei den Stadt- und Landkreisen, den Regierungspräsidien, der LUBW und als Erweiterung GWDB+D bei den Abfallwirtschaftsbetrieben eingesetzt (ca. 660 Benutzer).

Die Datenbank umfasst:

- Stammdaten zu Grundwassermessstellen (ca. 70.000 Objekte)
- Stammdaten zu geothermischen Anlagen (ca. 20.000 Objekte)
- chemisch-physikalische Messwerte, Grundwasserstände und Quellschüttungen (Landesmessnetz: ca. 150.000 Analysen mit 3,3 Millionen Einzelwerten, ca. 19 Millionen Mengemesswerte)
- alle relevanten Daten zum Deponiekörper selbst sowie deponiespezifische Messwerte, wie Deponiegas, Sickerwassermenge, Setzungen, etc. für ca. 40 Deponien

Sie bietet für alle Nutzergruppen ein abgerundetes System, das von lokalen Vollzugsaufgaben bis zu globalen Auswertungen im Rahmen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie die erforderlichen Daten und Verfahren bereitstellt.

Neue Themenfelder wurden integriert, wie die Einbindung der geothermischen Anlagen und Unterstützungsprogramme zur Nitrateinstufung von Wasserschutzgebieten gemäß der SchALVO.

Die Grundwasserdatenbank wird als einheitliches System konsequent weiterentwickelt. Wenn man sich die Geschichte der GWDB verinnerlicht, stößt man auf viele Wege und manche Sackgassen. Aber alle führten letztendlich zur Integration der erforderlichen Verfahren von Boxplots bis zum Datenaustausch unter einem gemeinsamen Dach. Durch intensive Anwenderbetreuung und Schulung durch die LUBW konnte damit im Bereich Grundwasser erstmals ein gemeinsames Verfahren für alle beteiligten Dienststellen erfolgreich eingeführt werden. Und die Arbeit geht nicht aus: Immer neue Vorgaben und Erfordernisse führen zu einem stetigen Prozess der Weiterentwicklung und Optimierung des Bestehenden.

Die funktionalen Erweiterungen selbst stammen beinahe alle von den Benutzer/innen selbst, die durch ihre Kreativität und ihre Ideen maßgeblich zum Gelingen dieses Projektes beigetragen haben.

Zukünftig stehen weniger funktionale Erweiterungen als vielmehr Vereinfachungen bei der Datenhaltung im Vordergrund. Die Zentralisierung auf einer gemeinsamen Datenbank als Terminallösung wird derzeit angedacht und geprüft.

Grundwassermesswerte aus dem Internet:

Unser Datenservice

Aktuelle Messwerte aus dem Grundwasserüberwachungsprogramm werden in hohem Maße von verschiedenen Interessenten nachgefragt. Diese sind vor allem die breite Öffentlichkeit, Naturschutzverbände, Ingenieurbüros und Universitäten.

Je nach Bedürfnis werden die Messwerte in drei Portalen zum Datenabruf im Internet bereitgestellt:

- Daten- und Kartendienste der LUBW (Umweltdaten online – UDO)
- Grundwasserstände und Quellschüttungen (GuQ)
- Jahresdatenkatalog Grundwasser (JDK)

UDO und JDK bieten nichtaggregierte Messwerte nach wählbaren Kriterien mit Tabellen- oder Diagrammausgabe an. Während im UDO ausschließlich alle Grundwasserstände der LUBW und der Regierungspräsidien vierteljährlich aktuell angeboten werden, können im JDK die chemisch-physikalischen Messwerte aus dem Landesmessnetz der LUBW abgerufen werden. Unterschied ist, dass die Gütemesswerte nur nach sehr aufwändiger Plausibilisierung einmal jährlich bereitgestellt werden können, wobei auch eine Parameterauswahl der interessanten Stoffe getroffen wird.

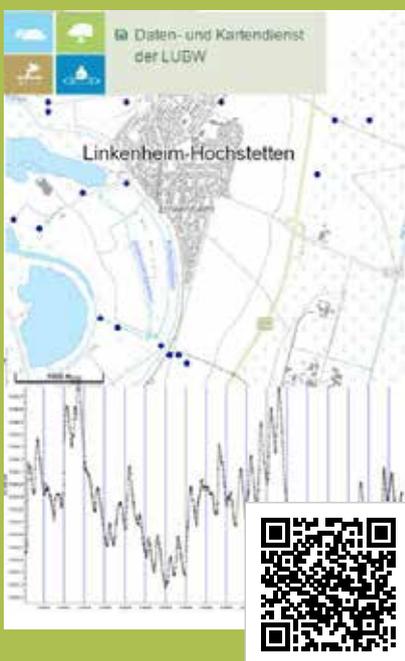
Ein ganz anderes Ziel hat GuQ: Hier wird mit monatsaktuellen Messwerten ein Zustandsbericht für das Bewertungsmessnetz über die Grundwasservorräte bereitgestellt, der Auskunft über das monatliche Grundwasserniveau mit einer Prognose für den Folgemonat und die langfristige Tendenz gibt. Ergänzende Informationen können in der Fläche für das Verdichtungsmessnetz abgerufen werden.

Übersichtliche Diagramme und Karten geben einen Überblick über den Ganglinienverlauf und die derzeitige Grundwassersituation in den Klassen „stabil – rückläufig – ansteigend“. Weiter werden Trendaussagen, die Einteilung in Nass- und Trockenperioden und die Prognose für den Folgemonat grafisch dargestellt. Ein kurzes Messstellenblatt mit Fotodokumentation rundet die Darstellung ab.

Ein interessanter Bezug wird abschließend zwischen Klimadaten und Versickerung hergestellt. Mit den Daten der Lysimeteranlage Büchig lassen sich Aussagen zum Bodenwasserspeicher und zur Grundwasserneubildung aus Niederschlägen treffen.

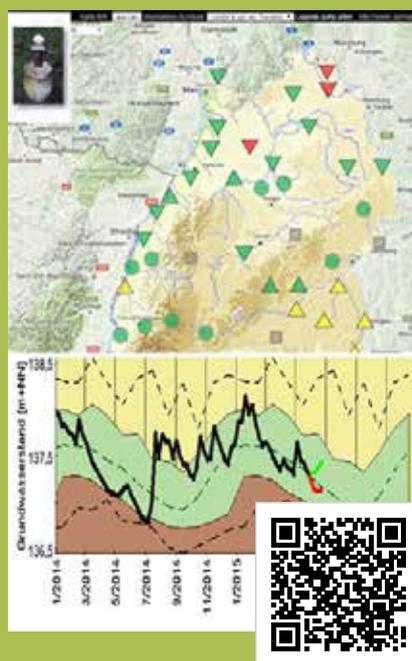
Alle diese Daten können von allen Interessenten im Internet abgerufen werden. Die Infokästen unten bieten eine zusammenfassende Beschreibung und geben den direkten Link zu dem jeweiligen Portal an.

info



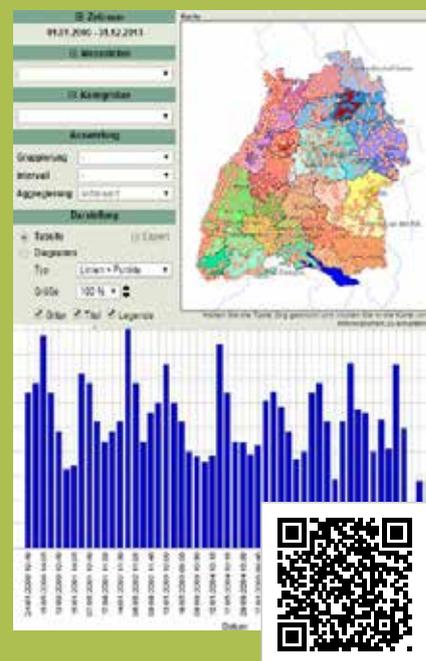
Umweltdaten online (UDO)

Angebot: Tabellen, Diagramme und Karten für das Landesmessnetz Grundwasserstand und „Quellschüttung“.
 Recherche und Export: Selektionsmöglichkeit nach Messstelle oder Gemeinde, Export nach MS-Excel.



Grundwasserstände und Quellschüttungen (GuQ)

Angebot: Stamm- und Eckdaten, Ganglinien mit Prognosen für das Bewertungs- und Verdichtungsmessnetz „Grundwassermenge“ der LUBW.
 Recherche und Export: Direktwahl der Auswertungen durch Klick auf die Messstelle, Export der Daten ausgewählter Berichtsmonate nach MS-Excel.



Jahresdatenkatalog (JDK)

Angebot: Tabellen ausgewählter chemischer Stoffe, Diagramme für das Landesmessnetz „Grundwassergüte“ der LUBW.
 Recherche und Export: Selektionsmöglichkeit der Messstellen nach verschiedenen Kriterien über Karte oder Liste, Parameter auch über Messprogramme. Export nach MS-Excel oder Bilddatei.

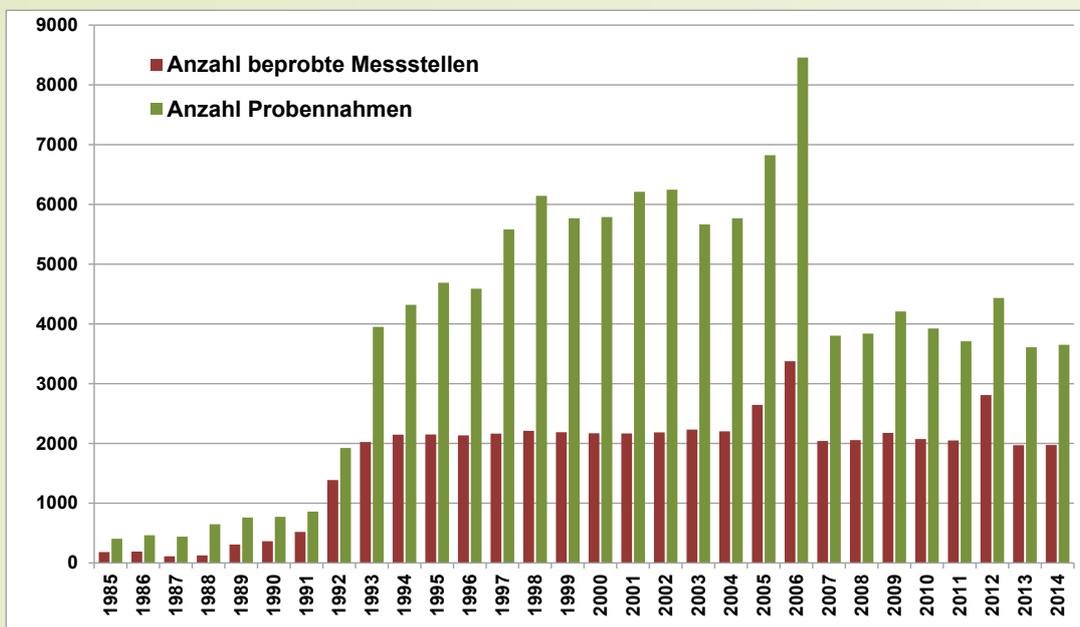
Probennahme im Wandel der Zeit

Anzahl von Messstellen und Probennahmen

Die ersten Beprobungen im Grundwassermessnetz des Landes Baden-Württemberg fanden ab 1985 an den im ersten Schritt eingerichteten 113 Basismessstellen statt. Im Laufe der Jahre stieg die Zahl der Messstellen wie auch die Anzahl der jährlichen Beprobungen an. Ab den 1990er-Jahren wurden z. B. Messprogramme mit halb- und vierteljährlichem bis hin zu 2-monatigem Messturnus eingeführt.

Beauftragung der Probennahme

Anfangs erfolgte die Probennahme zunächst durch Beauftragung von wenigen Probennahme-Büros und Labors. Dazu wurde eine beschränkte Ausschreibung bei den Firmen, die der damaligen LfU bekannt waren, durchgeführt. Die Vergabe erfolgte im Wesentlichen nach räumlichen Gesichtspunkten und Kapazitäten der einzelnen Firmen. Im Laufe der Jahre erfüllten immer mehr Firmen die fach-



Messstellen und Probennahmen von 1987 - 2014

Deutlich zu erkennen ist die konstante Zahl von rund 2100 Routine-Messstellen seit 1993. Alle Messstellen werden jährlich im Herbst beprobt. Von 1995 – 2005 wurden 700 Messstellen jährlich alle 2 Monate, also 6 Mal pro Jahr beprobt. Seit 2007 werden zur Herbstbeprobung mit 2100 Messstellen zusätzlich 1200 im März und ca. 200 im Juni, September und Dezember beprobt. Aufgrund der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie fanden 2005/2006 sowie 2012 zusätzliche Beprobungen an Routine- und an zusätzlichen Messstellen statt.

lichen Anforderungen der LfU, womit 20 - 30 Firmen an der beschränkten Ausschreibung beteiligt werden konnten.

Ab 2002 erfolgte die Vergabe im Rahmen einer EU-Ausschreibung nach strengen formalen Regeln mit Eignungskriterien zur Präqualifikation und anschließender Bewertung der nun rund 50 – 55 Bieter nach fachlich-preislichen Kriterien in einem numerischen Punktesystem. Die jährlichen Auftragsumfänge an rund 40 Firmen richten sich nach deren erreichten Punktzahlen.



Grundwassermessstelle mit typischem Messstellenschild

Vorgaben zur Probennahme

In den ersten Jahren wurden den Probennehmern zum Auftrag eine Liste mit den landeseinheitlichen Messstellennummern und dem Gemeindennamen mitgegeben.

Voraussetzung für einen auf Dauer zuverlässigen Betrieb des Grundwassermessnetzes ist die eindeutige Kennung jeder einzelnen Messstelle und jeder örtlich getrennten Probennahmestelle. Dazu wird jede Mess-/Probennahmestelle mit einer Grundwassernummer versehen. Die Nummer ermöglicht die Identifizierung der Mess-/Probennahmestelle sowie die Zuordnung und Verknüpfung der von ihr vorliegenden Stammdaten und Messwerte in der Grundwasserdatenbank.



Leitfaden „Probennahme und Analytik von Grundwasser“, 2000

Die Probennehmer waren in den Anfangsjahren mit dem Auffinden der richtigen Mess- und Probenahmestellen weitgehend auf sich alleine gestellt und auf die Unterstützung von Wassermeistern, Förstern, Anwohnern, regionalen Wasserwirtschaftsbediensteten und sonstigen ortskundigen Personen angewiesen. Ab 1992 wurde den Probennehmern für jede zu beprobende Messstelle ein Lageplan (Ausschnittskopie der TK 25), vorhandene Fotos sowie Kopien aus dem Stammdaten-Archiv mitgegeben. Verwechslungen von Messstellen konnten aber nicht ausgeschlossen werden.

Ab Herbst 1997 wurde zusätzlich für jede Messstelle noch ein aus der GWDB über MS-ACCESS erzeugter Ausdruck mit Informationen zur Lage der Probennahmestelle (Anfahrtsbeschreibung...), Ansprechpartner und Besonderheiten zur Messstelle oder Probennahme bereitgestellt. Dies war die Geburtsstunde des bis heute ständig erweiterten und verbesserten Messstellen-Infos. Dies wird seit ca. 2005 direkt als Bericht aus der GWDB zu jedem Auftrag ausgedruckt und besteht mittlerweile aus rund 5 – 7 Seiten mit textlicher Beschreibung von Lage und Hinweisen zur Probennahme und Mengenummessung, schematischem Ausbauplan, Lageplan 1:20.000, Orthofoto 1:1.500, Adressen von Betreibern, Ansprechpartnern und Wassermeistern und 2 – 4 für die Probennahmestelle maßgeblichen Fotos. Diese Unterlagen bilden damit das zentrale Instrument zur Sicherstellung einer sachgerechten Probennahme und zur ständigen Aktualisierung und Vervollständigung der Messstellendaten.

Eine erste „Anleitung zur Probennahme von Grund-, Roh- und Trinkwasser“ erschien im Jahr 1987 als Grundsatzpapier. Dieses ging im Jahr 1997 in dem Leitfaden „Probennahme und Analytik von Grundwasser“ auf. Damit gab es das erste eigenständige Werk als Basis für eine einheitliche Vorgehensweise bei der Probennahme an Quellen, Brunnen und Beobachtungsrohren, jeweils in Abhängigkeit von deren Nutzung (regelmäßige Wasserentnahme) und Ausstattung mit Fördereinrichtungen (Pumpen, Wasserhähne...).

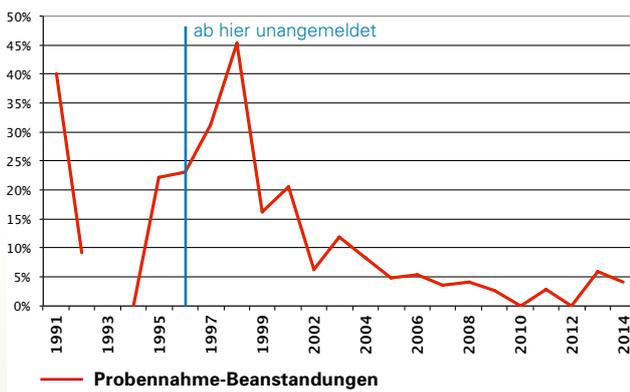
30 JAHRE MONITORING DER GRUNDWASSER-QUALITÄT

Qualitätssicherung zur Probennahme

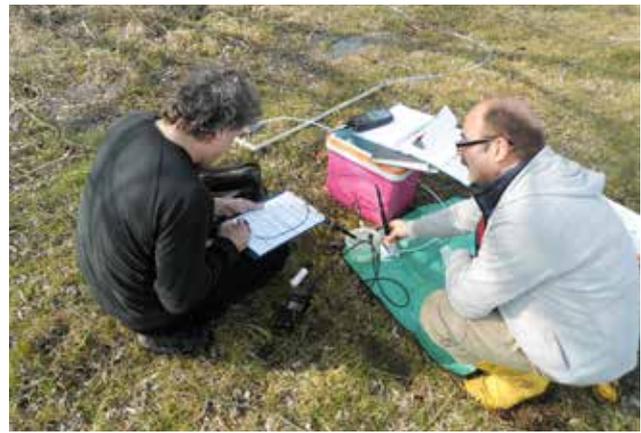
Vor-Ort-Überprüfung der Probennahme

Die erste Qualitätssicherungs-Maßnahme im Bereich der Probennahme wurde 1991 mit den angemeldeten Vor-Ort-Überprüfungen der Probennahme eingeführt. Primäres Ziel war dabei die Kontrolle der Probennahme: richtige Probennahmetelle, ordnungsgemäße Messgeräte, sachgerechter Probentransport, Nachweis der Teilnahme an Probennehmerlehrgängen und Gesamteindruck. Dabei wurde jede Überprüfung dokumentiert und das Ergebnis dem Auftragnehmer mitgeteilt.

Ziel war aber auch, die Probennehmer und deren Vorgehensweisen sowie die Messstellen persönlich kennenzulernen. Der Haupteffekt war aber zunächst die Feststellung von sehr großen Diskrepanzen zwischen den Vorstellungen der LfU und der tatsächlichen Durchführung der Probennahme durch die Auftragnehmer. Um die Probennahmen im Routine-Betrieb kennenzulernen, wurden diese Vor-Ort-Kontrollen ab 1997 unangekündigt durchgeführt. Die Bewertungen der jährlich ca. 45 – 60 überprüften Kontrollen zeigen, dass sich die Qualität der Probennahmen seit ca. 2005 auf einem hohen Niveau stabilisiert hat.



Entwicklung der Probennahme-Bearstandungen



Vor-Ort-Überprüfung der Probennahme: Aufnahme der Formalien



Befüllen der Probengefäße



Sauerstoff-Messgerät

Probennehmerlehrgänge

Als direkte Reaktion auf die Erfahrungen aus den ersten Vor-Ort-Überprüfungen der Probennahme im Jahr 1991 wurde 1993 ein eintägiger Probennehmerlehrgang eingeführt. 1996 kam ein zweiter eintägiger Probennehmerlehrgang dazu. Die erfolgreiche Teilnahme am Grundkurs war ab 1992, am Aufbaukurs dann zusätzlich ab 1997 Bedingung für einen Probennahme-Auftrag. Ziel dieser Lehrgänge war ein einheitliches Basiswissen bei allen Probennehmern. Die



Sachgerechter Probentransport



„Hygienische“ Lagerung der Ausrüstung



Beschriftung der Probengefäße

Lehrgänge wurden in Zusammenarbeit mit den Instituten für Wasserbau und Siedlungswasserwirtschaft der Uni Stuttgart konzipiert und finden seit 1996 bei der Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS) am Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung der Universität Stuttgart statt. Der Grundkurs fand inzwischen 39 mal mit rund 1.800 Teilnehmern statt. Den Aufbaukurs besuchten bisher rund 1.200 Teilnehmer in 29 Veranstaltungen.

Messstellendokumentation

Art und Zustand der Mess- und Probennahmestellen entsprachen in den Anfängen oft nicht den Vorstellungen und Ansprüchen der LfU. Dies wurde als Nebeneffekt der Vor-Ort-Überprüfungen der Probennahme festgestellt, aber auch durch Nachfragen und Anmerkungen der Probennehmer und Bediensteten der Wasserwirtschaftsverwaltung, die zunehmend in Bezug auf eine sachgerechte Probennahme sensibilisiert wurden. So nahmen von Auftragsjahr zu Auftragsjahr nicht nur die fachlichen und organisatorischen Vorgaben zu. Auch die Messstellendokumentationen wurden in Zusammenarbeit mit den damaligen Wasserwirtschaftsämtern ständig erweitert und verbessert. Ab ca. 1990 umfasste ein Auftrag zur Probennahme auch die Erstellung einer Fotodokumentation zur Probennahme. Mit 2 – 4 Einzelbildern bei jährlich inzwischen rund 5.000 Probennahmen kamen so pro Jahr rund 15.000 Papierbilder zusammen, die systematisch begutachtet wurden. Damit konnten falsche Probennahmen oder Probennahmen an falschen Messstellen kurzfristig erkannt werden und innerhalb von 2-3 Jahren weitgehend abgestellt werden. Dies ist bis heute die zeitintensivste und damit teuerste QS-Maßnahme im Bereich der Probennahme.

Mit diesen Fotos und den sonstigen Messstelleninformationen (Lagepläne, Ausbaupläne, Gutachten, textliche Beschreibungen) wuchs das Archiv mit den Messstellenstammdaten auf knapp 800 Aktenordner mit rund 60 laufenden Meter. Die Fotodokumentationen der Probennahme wurden ab 2003 in digitaler Form geliefert und in der GWDB bei der Messstelle abgelegt. Ab 2005 wurden auch die sonstigen Stammdaten weitestgehend in digitale Form überführt und entsprechend in der GWDB oder anderen digitalen Archiven abgelegt. Diese Informationen dienen nicht nur einer sachgerechten Probennahme, sondern auch einer qualifizierten Interpretation der Analyseergebnisse.



Vor-Ort-Überprüfung der Messstellen

Eine weitere Qualitätssicherungs-Maßnahme wurde 2009 mit der Vor-Ort-Überprüfung von Messstellen durch Be- dienstete der LUBW, aber auch der Regierungspräsidien und durch einzelne Probenehmer eingeführt. Zunächst lag der Schwerpunkt auf Problemmessstellen, z. B. mit

- hohem Probennahme-Aufwand durch langes Abpumpen
- unklarer Herkunft des Wassers
- unklaren Standzeiten des Wassers
- Aufbereitungen
- schlechtem Zugang
- mangelhaftem Ausbau

Mängel wurden aber auch bei nach Aktenlage korrekten Messstellen entdeckt, was eine systematischere Vor-Ort-Überprüfung erforderlich machte. Beispielhafte Problem- Messstellen sind in den Abbildungen 1 - 6 dargestellt.



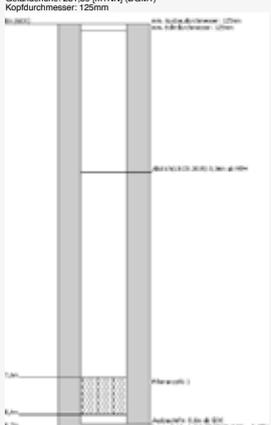
Abb. 1 Messstellen-Überprüfung: Verunreinigungen in einem Brunnen



Abb. 2 Messstellen-Überprüfung: Mangelhafte Messstellenabdeckung



Abb. 3 Messstellen-Überprüfung: Wurzeinwuchs im Quellzulauf

Beobachtungsrohr 2074/512-5 GWM P16 Schlossgarten, Stuttgart GW-Messort mit Standardbauwerk	
Grundwasserdatenbank Baden-Württemberg - Formular zur Messstellenüberprüfung	
Problemstellung: Menge: <input type="checkbox"/> Güte: <input type="checkbox"/> Begründung:	
Lage und Hinweis zur Probenahmestelle: Das zu beprobende Beobachtungsrohr liegt ca. 10m neben einem Fußweg im unteren Schlossgarten ca.50 m von der Eisenbahnlinie Stuttgart-München entfernt. Mögliche Zufahrt: 100m vor Eisenbahnbrücke (direkt zum Brunnen) rechts auf dem Rad-Fußgängerweg einbiegen. Probe nicht am Springbrunnen entnehmen. ACHTUNG: In ca. 3,8 Entfernung ist ein weiterer Pegel. Unterscheidungskennzeichen kein Messstellenschild und Ausbautiefe 13,4m. ACHTUNG: Verwechslungsgefahr da noch ein Pegel direkt daneben (ca.3m). Unter Umständen im Herbst schwer auffindbar wegen Blätter.	
Lage und Hinweis zum Messpunkt: Messpunkthöhenbezeichnung: Oberkante Deckel 231,25 m.ü.NN	
RW: 3514917 HW: 5406702	Vor-Ort: Lage überprüft: ja / nein
Länge: 09°12'07,23" Breite: 48°47'51,52"	Koordinaten: wie geprüft:
Genauigkeit: Eingemessen	Existenzprüfung (SL s.R.):
Landkreis: Stuttgart, Landeshauptstadt	Nutzung (SL s.R.):
Gemeinde: Stuttgart	Förderzellen-menge:
Teilgemeinde: Stuttgart Ost	Messstelle beschildert? ja / nein / angebracht
Existenzprüfung: Messstelle vorhanden	Messstellen Verschluss: Seba / Schachdeckel / ...
Nutzung: Reine Beobachtungsstelle	Tagwasserdicht: ja / nein
Messanlass: VMS seit 16.08.1993	Fotos erstellt: <input type="checkbox"/> AU <input type="checkbox"/> MP <input type="checkbox"/> PN
Funktionen: VMS - Großstadt seit 16.08.1993	Messungen:
Berichte: Emittentenmessstelle Siedlungsgebiete seit 16.08.1993	Abtisch: _____ m
Arzneimittel-Projekt seit 01.10.2006	Schliefe: _____ m
Jahresdatenkatalog Güte seit 01.08.2013	Durchmesser: _____ cm
Schematisches Ausbauprofil: Messpunkthöhe: 231,25 (m+NN) (09.04.1991) Neu (HSZ 130) bis 2007 (bundesweite Ausgleichung) Geländehöhe: 231,09 (m+NN) (DGM1) Kopfdurchmesser: 125mm	Messpunkt: _____ m über/unter Geländehöhe
	Quellschüttung: _____ l/sec
Datum: _____ Name: _____ Unterschrift: _____	Zustandsbeschreibung/Bemerkungen:
Formular zur Messstellenüberprüfung Seite 1 von 1 erstellt am 30.07.2015 15:00	

Checkliste Vor-Ort-Überprüfung der Messstelle



Abb. 4 Messstellen-Überprüfung: Wo kommt das Wasser her? Welcher Hahn ist der richtige?



Abb. 5 Messstellen-Überprüfung: Gefährlicher Zugang



Abb. 6 Messstellen-Überprüfung: Zerstörtes Beobachtungsrohr

Arbeitsicherheit

Anforderungen zur Arbeitssicherheit ergeben sich vor allem aus der Art der Messstelle und deren Umfeld. Auf dem Gelände von Firmen werden oft vom Betreiber bestimmte Sicherheitsvorkehrungen wie Schutzhelm, Schutzkleidung, Sicherheitsstiefel oder Gehörschutz vorgeschrieben. Hinzu kommen die Bedienungsvorschriften für eingesetzte Geräte, Materialien und Reagenzien. Auch individuelle Einschränkungen müssen beachtet werden. So sind beispielsweise die mit Grundwasserprobennahmen verbundenen Tätigkeiten für Schwangere nicht geeignet.



Stammdatenarchiv



Neufassung „Leitfaden Grundwasserprobennahme“, 2013

Potenzielle Gefahren bei Grundwassermessstellen sind:

- Absturzgefahr bei Schachteinstiegen in Abschlussbauwerke von Brunnen oder Quellen
- gefährliche Atmosphäre in Schächten: Sauerstoffmangel führt zum Erstickten, eine erhöhte Kohlendioxid-Konzentration steigert die Atemfrequenz und kann zur Lähmung der Atemfunktion führen.
- Stromschlaggefahr, z. B. in Verbindung mit Spritzwasser
- Augen- und Hautverletzungen durch Säuren oder Laugen
- Tiere: Zecken als Überträger von Borreliose und FSME aber auch Pferde, Kühe, Hunde, Wespenester, etc. Die Verwendung eines Insektenrepellents wird empfohlen.
- witterungsabhängige Risiken wie Fallholz bei Sturm
- erhöhte Radonkonzentrationen: in Schächten von Wassergewinnungsanlagen muss die Aufenthaltszeit ggfs. auf das notwendige Maß reduziert werden.

Grundsätzlich sind die Straßenverkehrsordnung und die Ruhezeiten der Fahrer einzuhalten. Dies ist bei der Planung der Probennahmetour zu berücksichtigen.

Qualitätssicherung der physikalisch-chemischen Daten

Die Sicherung der Qualität der Analysenergebnisse basiert auf mehreren Säulen. Voraussetzung für einen Untersuchungsauftrag beim Grundwassermessnetz ist, dass das chemische Laboratorium nach DIN EN ISO/IEC 17 025 akkreditiert ist und regelmäßig erfolgreich an Ringversuchen teilnimmt. Als weitere qualitätssichernde Maßnahme werden während der Beprobungskampagnen Labor-Vergleichsuntersuchungen teilweise mit verdeckten Proben durchgeführt. Zum einen lässt sich dadurch die Leistungsfähigkeit eines Laboratoriums erkennen und andererseits auch die Information ableiten, wie „gut“ ein Parameter im Routinebetrieb gemessen werden kann.

Jährlich fallen im Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz rund 160.000 physikalisch-chemische Messwerte an. Diese

Daten werden von den beauftragten Laboratorien im einheitlichen Datenformat LABDÜS an die LUBW geliefert und beim Einlesen in die Grundwasserdatenbank weitreichend automatisiert geprüft. So erfolgen zunächst zahlreiche formale Checks, z.B. auf Vollständigkeit des Auftrags, Datenformate oder korrekte Verknüpfung zwischen Parameter und Dimension.

Zur weiteren Prüfung stehen auf der Datenbank Zeitreihentests wie Standardabweichungs- und Differenzenverfahren zur Verfügung. Hiermit können Messwerte identifiziert werden, die aus der üblichen Streuung an einer Messstelle herausfallen oder die einen plötzlichen Sprung in der Ganglinie markieren (siehe Abb. roter Punkt).

info

AQS – Analytische Qualitätssicherung

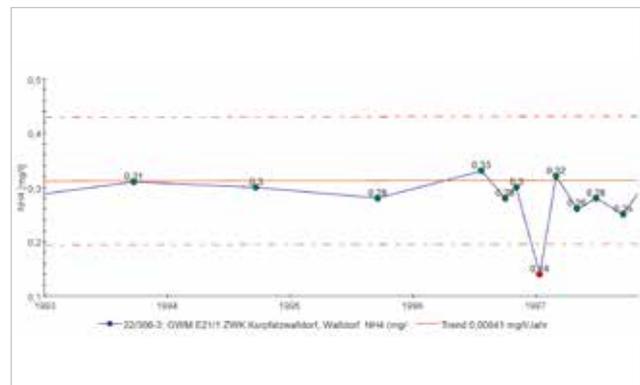
Sammelbegriff für alle Maßnahmen, die vorgenommen werden, um Aussagen über Qualitäten und Fehler von Untersuchungsbefunden zu ermöglichen. Dazu gehören auch alle Bemühungen bei der Probenahme und im analytischen Labor, um die Messergebnisse zuverlässig zu gestalten (aus: Rahmenempfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA zur AQS).

Akkreditierung

Kompetenzfeststellung nach DIN EN ISO/IEC 17025; seit 2010 erfolgt die Kompetenzfeststellung der chemischen Laboratorien für den gesetzlich geregelten Bereich durch die Deutsche Akkreditierungsstelle DAkkS.

Notifizierung

Verwaltungsakt zur Anerkennung, Zulassung und Bekanntgabe in den Ländern für den gesetzlich geregelten Bereich.



Beispiel für Zeitreihenprüfung

Bei dieser statistischen Prüfung als „auffällig“ identifizierte Messwerte werden vom Bearbeiter vertieft geprüft. Dabei wird zunächst anhand der vom Probennehmer für jede Messstelle zu liefernden Fotodokumentation überprüft, ob es sich um die richtige Messstelle handelt oder eine Verwechslung vorliegt. Weiterhin wird geprüft, ob der auffällige Messwert in der Zusammenschau mit den anderen Parameter dieser Analyse plausibel oder nicht plausibel ist.



Vorbereitete Flaschensätze für die vergleichende Untersuchung zwischen den teilnehmenden Laboratorien



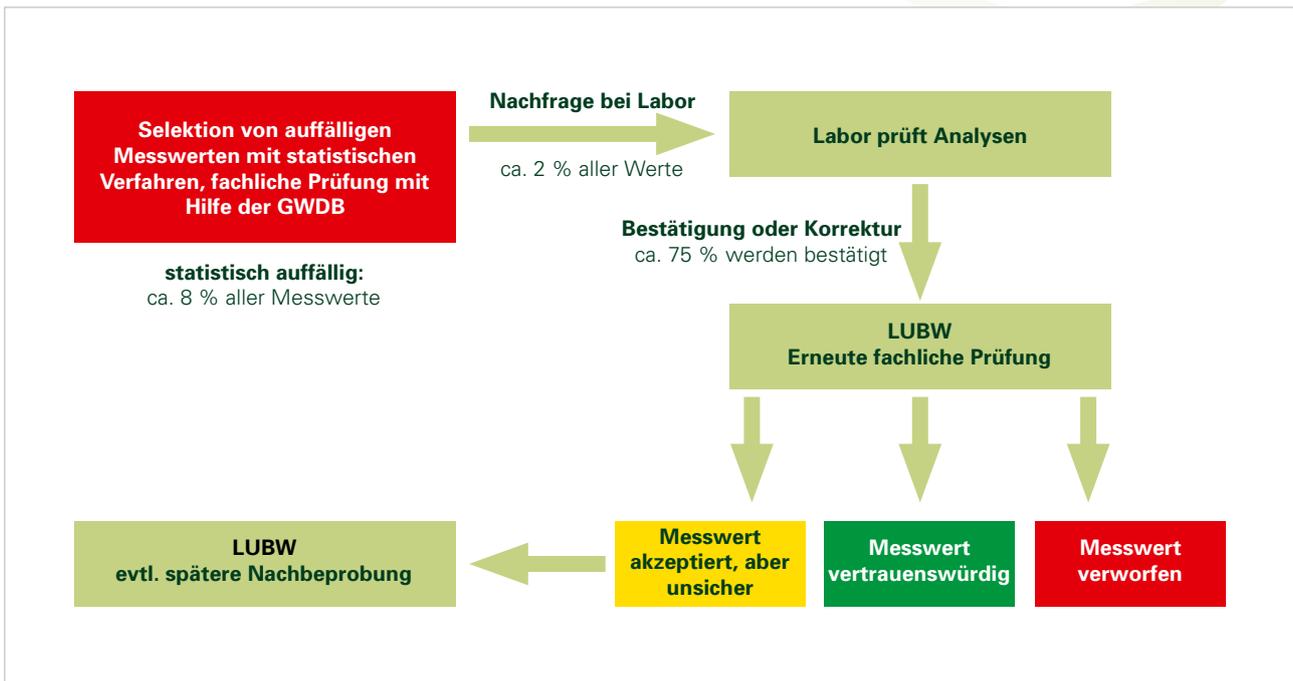
Vorbereitung der Proben für die Messung im Labor

Die GWDB berechnet automatisiert die Ionenbilanz, die weitere Hinweise auf Mess- oder Datenübertragungsfehler zumindest für die Hauptinhaltsstoffe gibt. Weitere Beurteilungskriterien sind beispielsweise die Charakteristika der Messstelle, Besonderheiten im Einzugsgebiet, außergewöhnliche meteorologische und hydrologische Verhältnisse. Auch das Heranziehen von Daten benachbarter Messstellen kann zur Aufklärung beitragen.

Ein auffälliger Messwert außerhalb der festgelegten Toleranzgrenzen muss nicht per se falsch sein, er kann auch

besondere Umstände wie z.B. verstärkten Streusalzeinsatz im Winter anzeigen. Schließlich wird entschieden, ob die Richtigkeit des „auffälligen“ Messwerts beim Laboratorium nachgefragt wird. Der weitere Ablauf ist im nachfolgenden Schema dargestellt.

Der Aufwand für die Qualitätskontrolle und Plausibilisierung der Daten ist erheblich, jedoch unverzichtbar, damit fehlerfreie und belastbare Daten für Auswertungen, Berichtspflichten und Anfragen zur Verfügung gestellt werden können.



Plausibilisierungsprozess

DEM GRUNDWASSER AUF DER SPUR – TEIL 2

Über 100 Jahre Grundwasserstandsbeobachtung

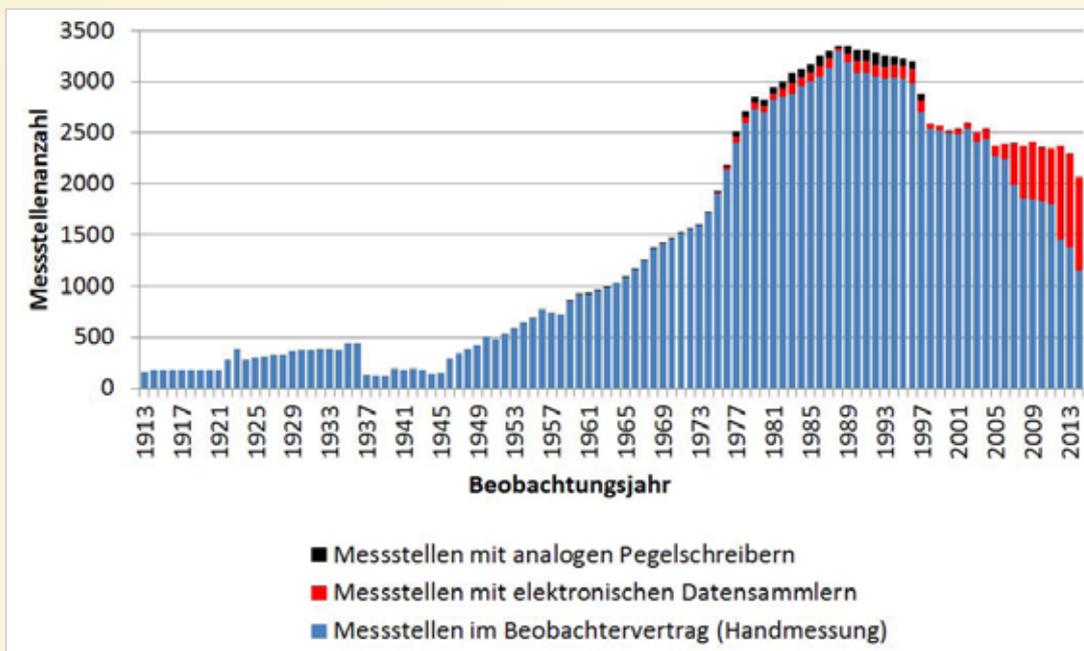
Allgemeine Zielsetzung des Landesmessnetzes

Grundwasserstand

Die Beobachtung von Grundwasserständen im Rahmen der amtlichen Grundwasserüberwachung hat in Baden-Württemberg in erster Linie die Aufgabe, Grundlagen für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Grundwasservorräte des

Entwicklung des Messnetzes

Der Beginn der Beobachtungen im Rahmen des baden-württembergischen „Landesmessnetzes Grundwasserstand“ geht auf das Jahr 1913 zurück. Es ist mit über 100 Jahren das mit Abstand älteste landesweite Grundwassermessnetz Baden-Württembergs und auch eines der ältesten Grund-

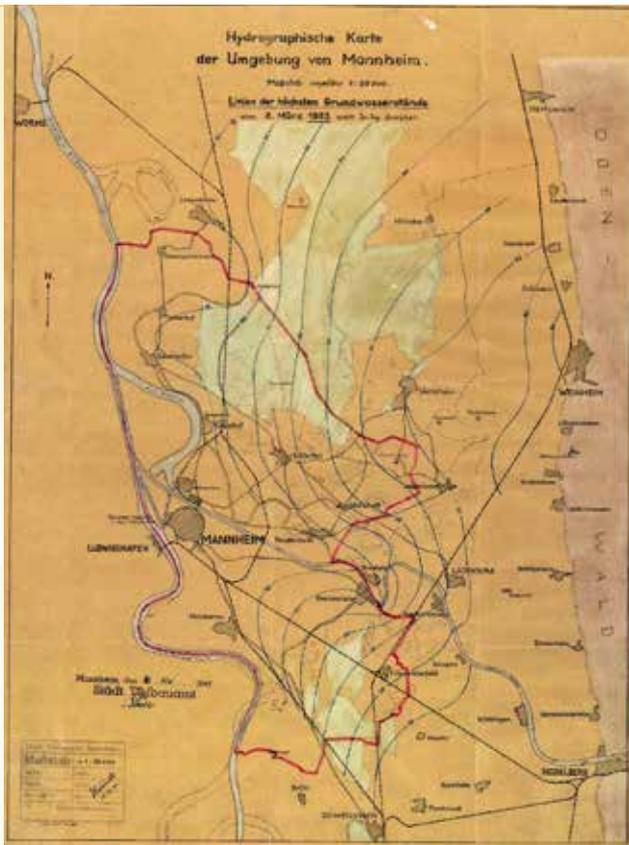


Entwicklung des Landesmessnetzes Grundwasserstand im Zeitraum 1913 - 2014

Landes zu schaffen. Das amtliche Grundwasserstandsmessnetz stellt zu diesem Zweck Datenreihen über längere Zeiträume bereit, die nach Möglichkeit nach einheitlichen Kriterien gewonnen werden. Ziel ist es, Unterstützungs- und Beratungswerkzeuge für die Wasserwirtschaft zu schaffen, auch im Hinblick auf die Bereitstellung der erforderlichen Daten zur Anpassung großräumiger Grundwassermodelle sowie zur Erfüllung der allgemeinen gewässerkundlichen Beobachtungsaufgaben.

wassermessnetze in Europa. Messstellen, die über Jahrzehnte hinweg die Entwicklung der Grundwasserstände unter unveränderten Randbedingungen dokumentieren, sind Raritäten und daher besonders wertvoll. Die Mehrzahl der Messstellen wurde in der Zeit des zweiten Weltkriegs nicht beobachtet und weist hier größere Datenlücken auf.

Das Messnetz wurde bis in die 1990er-Jahre nicht systematisch aufgebaut, sondern ist im Laufe der Jahrzehnte historisch gewachsen. Mit der intensiveren Nutzung des Grundwassers als Trink- und Brauchwasserressource und der damit einhergehenden systematischen Erkundung z. B. durch hydrogeologische Kartierungen sowie durch Auflagen im Rahmen von wasserrechtlichen Verfahren ist die Zahl an Beobachtungspunkten im Laufe der Zeit erheblich gestiegen. In allen Landesteilen hat diese Entwicklung zu einer fortwährenden Erweiterung des Messnetzes geführt. Die



Hydrographische Karte der Umgebung von Mannheim; Linien der höchsten Grundwasserstände vom 8. März 1883 nach Dr.-Ing. Smreker. Städtisches Tiefbauamt Mannheim, Mai 1949

maximale Messnetzausdehnung wurde mit ca. 3.300 Beobachtungspunkten im Jahr 1988 erreicht. Die Beobachtung der ersten Messstellen im Rahmen des Landesmessnetzes wurde 1913 im nördlichen Teil des Oberrheingrabens aufgenommen. Zumindest im Raum Mannheim wurden bereits vor dem Jahr 1900 Messungen des Grundwasserstandes an Stichtagen durchgeführt. Eine hydrographische Karte der Umgebung von Mannheim zeigt eine Grundwasseroberfläche vom 8. März 1883, offensichtlich rekonstruiert vom Tiefbauamt der Stadt Mannheim anno 1949. In der Karte sind keinerlei Beobachtungspunkte eingetragen, womit die zugrunde liegenden Messungen des Grundwasserstandes nicht beurteilt werden können.

In der Nachkriegszeit wurde das Messnetz ab etwa 1920 allmählich aufgestockt und zählte im Jahr 1937 ca. 450 Messorte, hauptsächlich im Oberrheingraben und im oberen Donautal bei Donaueschingen. Nach einem markanten Rückgang der Beobachtungen vor und während des 2. Weltkriegs erfolgte eine stetige Zunahme der Messstellenzahl bis Mitte der 1970er Jahre auf ca. 1.700. Nach der Gründung der (LfU) im Jahr 1975 wurde die Messstellenzahl innerhalb von 10 Jahren nahezu verdoppelt und zählte 1988 ca. 3.300 Messpunkte. Mit mehr als zwei Dritteln der Messstellen



Grundwassermessstellen (von oben nach unten):
im Klettgau (GW-Nr. 0170/273-5),
im Kraichgau (GW-Nr. 2030/408-6),
am Hochrhein (GW-Nr. 0114/074-9),
im Markgräflerland (GW-Nr. 0160/070-0)

stellt der Oberrheingraben nach wie vor das Gebiet mit der größten Messstellendichte dar, wenngleich andere bedeutende Lockergesteinsbereiche nach und nach bestückt wurden, insbesondere das Iller-Riß-Gebiet und das Singener Becken. Die neuen Grundwasserpegel mussten auch den Anforderungen der qualitativen Grundwasserüberwachung gerecht werden. So wurden z. B. ein Durchmesser des Beobachtungsrohres von 4 bis 6 Zoll (100 bis 150 mm) und ein sehr sorgfältiger Messstellenausbau gefordert.

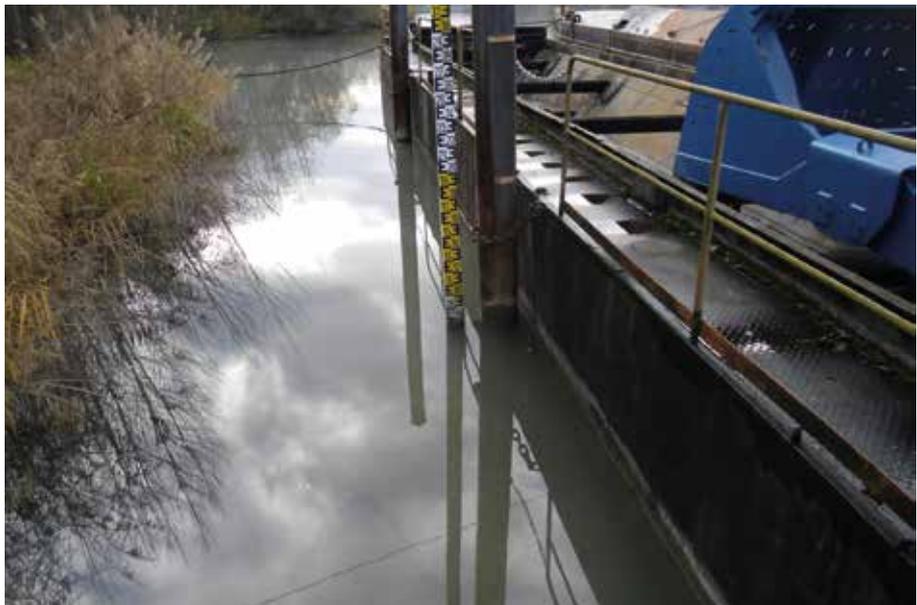


Abb. links: Die Vierfachmessstelle Blankenloch (Landkreis Karlsruhe) dient der Erfassung der Druckverhältnisse in vier übereinander gelagerten Grundwasserstockwerken. Abb. rechts: Lattenpegel an einem Baggersee im Landkreis Rastatt

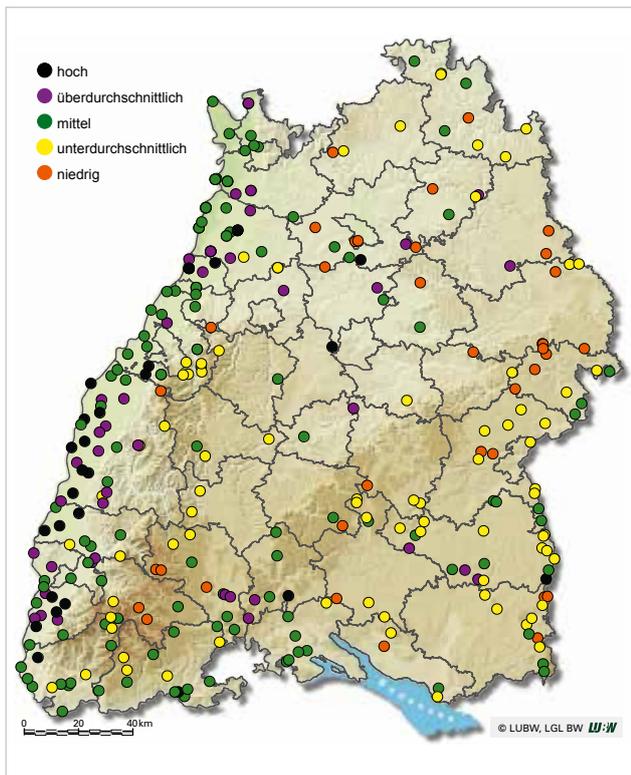
Für Messstellen im Festgestein liegen ab etwa 1960 erste Grundwasserstände vor. Sogenannte Tiefpegel, die in den unteren Grundwasserstockwerken des Oberrheingraben verfiltert sind, kamen, meist in Kombination mit flachen Messstellen, ab etwa Mitte der 1970er Jahre hinzu (Abb. links).

Neben den herkömmlichen Grundwassermessstellen werden im Grundwasserstandsmessnetz auch mehrere hundert Lattenpegel betrieben (Abb. rechts). Lattenpegel an oberirdischen Gewässern, wie z. B. an durch Auskiesung entstandenen Baggerseen, dienen vornehmlich der Abschätzung der Wechselwirkungen mit dem Grundwasser bei der Erstellung von Grundwasser-Höhengleichenplänen und der Kalibrierung von Grundwassermodellen. Ein Baggersee spiegelt das Niveau der Grundwasseroberfläche wider, verändert diese jedoch auch, da sich im See ein horizontaler Wasserspiegel einstellt. Dadurch ergeben sich auch veränderte Grundwasserfließrichtungen im Nahbereich. Die Beobachtung des Wasserstands an den ca. 340 Baggerseen im Oberrheingebiet, nur ein kleiner Teil davon erfolgt im Landesmessnetz, stellt daher eine wichtige Datengrundlage dar.

Im Zuge dieses allmählichen Messnetzausbaus sind zwangsläufig Inhomogenitäten und Unzulänglichkeiten aufgetreten, besonders hinsichtlich Funktionsfähigkeit (Verschlammung, Versandung, unsicherer Anschluss an den Grundwasserleiter usw.) oder Repräsentativität einzelner Standorte. Dieser

Zustand und die Forderung, Beobachtungskosten einzusparen, hat eine Überarbeitung bzw. Optimierung des Messnetzes notwendig gemacht. In den Jahren 1997 und 1998 wurden deshalb in Gebieten mit vergleichsweise hoher Messstellendichte Standorte aufgegeben, weil die Grundwasserstandsbeobachtung aus übergeordneten Gesichtspunkten redundant war. Im Ergebnis wurde jede fünfte Messstelle des damaligen Messnetzes, insgesamt rund 700 Messstellen, kurzfristig stillgelegt. Darüber hinaus wurden 150 weitere Standorte aus dem wöchentlichen Routinemessprogramm genommen, um sie nur noch an zwei Stichtagen im Jahr (April / Oktober) zu beobachten. Dieser Modus hat sich allerdings nicht bewährt und wurde später aufgegeben.

Die jüngste Messnetzüberprüfung wurde im Jahr 2004 durchgeführt. Das Hauptaugenmerk galt dabei der Einführung einer bedarfsgerechten Beobachtungshäufigkeit zur ausreichend genauen Erfassung der Grundwasserstandsdynamik. Voruntersuchungen hatten bestätigt, dass Monats- oder Stichtagsmessungen an ausgewählten Standorten – anstelle der standardmäßigen wöchentlichen Messung – genügen, sofern umliegende Messstellen nach wie vor regelmäßig beobachtet werden. Diese Überarbeitung führte zu einer deutlichen Reduktion des Beobachtungsumfangs und der Betriebskosten ohne nennenswerte Auswirkungen auf die Messstellenanzahl.



Beispielhafte Auswertung ausgewählter Trendmessstellen. Mittlere Grundwasservorräte 2013 im Vergleich zum Zeitraum 1994-2013

Die meisten Grundwassermessstellen, sogenannte Regionalmessstellen, sind heute in der Zuständigkeit der Regierungspräsidien, wobei die LUBW für repräsentative Trend- und sog. Überschneidermessstellen, die ebenfalls im Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz geführt werden, zuständig ist. Bei den ca. 230 Trendmessstellen handelt es sich um repräsentative Standorte, die für zeitnahe Aussagen zum Ist-Zustand und zur Bewertung der kurzfristigen Entwicklungstendenzen der quantitativen Grundwasserverhältnisse herangezogen werden. Diese Messstellen wurden auf der Grundlage von geostatistischen Verfahren (im Wesentlichen Clusteranalyse) und vor dem Hintergrund der langjährigen historischen Zeitreihen ausgewählt.

Eingesetzte Messtechnik

Die angewandten Messverfahren für die Grundwasserstandsbeobachtung haben sich im Zeitraum zwischen 1913 und den 1970er Jahren kaum verändert. Die Abstiche wurden früher ausschließlich von Hand mit Kabellichtlot oder Patscher zentimetergenau gemessen (Abb. 1+2). Bis heute sind diese montäglichen Einzelmessungen in der Überzahl.



Abb. 1+2: Abstichmessung mit Kabellichtlot an der Messstelle in Schwarzach (Landkreis Rastatt)

Abb. 3: Artesermessstelle GWM P 10 Widmannstal in Neckargartach (Landkreis Heilbronn) mit Überdruckmessgerät (Manometer)

Tiefe Grundwassermessstellen reichen meistens in gespannte, z.T. sogar in artesisch gespannte Aquiferbereiche hinein. Bei Artesern müssen anstelle der üblichen Verschlusskappen sog. Arteserköpfe auf die Messstellen aufgeschraubt werden. Der Arteserkopf (Abb. 3) sorgt bei einem Wasserspiegel über dem Messpunkt für das wasserdichte Verschließen, bei einem absinkenden Wasserspiegel für die Belüftung der Messstelle. Der Grundwasser(über)stand wird nach dem Relativdruckverfahren mit Hilfe eines Manometers bestimmt.

Ab 1975 wurden nach und nach analoge Pegelschreiber mit Schwimmersystem und Gegengewicht eingeführt. Diese im oberirdischen Pegelwesen bewährten Geräte arbeiteten zuverlässig und mit hoher Genauigkeit. Sie ermöglichten erstmals die kontinuierliche Überwachung der Grundwasserstände und wurden bevorzugt in Bereichen mit vergleichsweise rasch schwankendem Grundwasserspiegel eingesetzt, beispielsweise in Gewässernähe. Die monatlich erforderliche Ortsbegehung zum Papierwechsel sowie die zeit- und kostenintensive Digitalisierung der analogen Aufschriebe stellten jedoch eine Hemmschwelle für die weitere Verbreitung dieser Messtechnik dar, wobei immerhin bis zu 115 Messstellen im Jahr 1990 damit ausgerüstet waren.



Kontrolle eines elektronischen Datenloggers mit Datenfernübertragung an der Messstelle GMW L WW Stadtwerke Rastatt in Iffezheim (Landkreis Rastatt)

Mit dem Einsatz von neuartigen elektronischen Datensammlern hatte man sich in den frühen 1990er Jahre versprochen, den Betriebsaufwand der kontinuierlichen Messung deutlich zu reduzieren und mittelfristig den Großteil des Messstellenkontingents mit solchen hydrometrischen Messsystemen ausrüsten zu können. Nach etwa zehn Versuchsjahren wurde jedoch der Testeinsatz abgebrochen. Einerseits war die Elektronik der damals eingesetzten Geräte sehr anfällig, und andererseits waren bei den Drucksonden massive Drifterscheinungen zu beklagen.

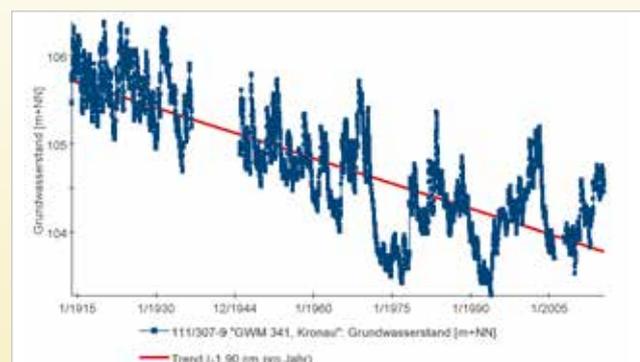
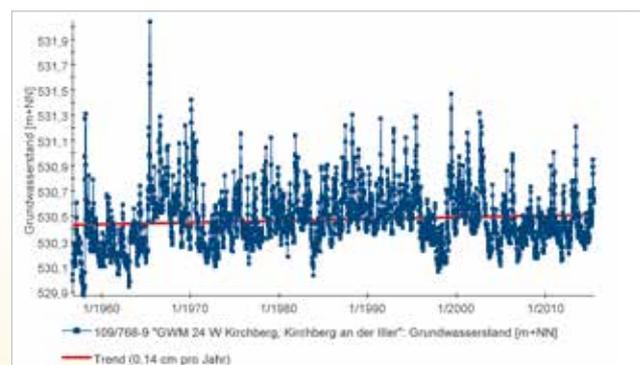
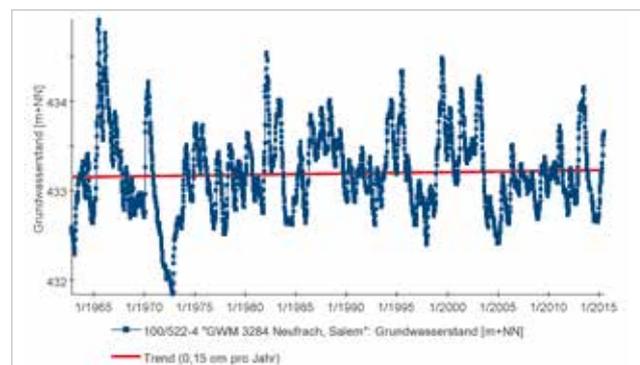
Mit dem Jahr 2000 wurde eine neue Datensammlergeneration – Logger mit Datenfernübertragung (DfÜ) – marktreif. Diese weiterentwickelten Geräte waren nun geländetauglich und wartungsarm. Die LUBW hat deshalb ab dem Jahr 2003 nach und nach geeignete Trendmessstellen damit ausgestattet und verfügt mittlerweile über 45 Logger mit Datenfernübertragung (Stand: 2014). Mit dieser beschleunigten Datenbereitstellung sind eine zeitnahe Bewertung der Grundwasserstandsentwicklung und die kurzfristige Veröffentlichung im Internet möglich. Mit der DfÜ wird darüber hinaus die kontinuierliche Überwachung der Geräte gewährleistet, wobei eine jährliche Vor-Ort-Kontrolle im Regelfall ausreicht.

Seit dem Jahr 2010 werden ausschließlich Geräte beschafft, die neben dem Abstich auch die Grundwassertemperatur registrieren. Einige einfache Datensammler ohne DfÜ werden für die Datenerhebung und Eignungsprüfung von neuen Messstellen in Gebieten mit Kenntnisdefiziten eingesetzt.

Die Regierungspräsidien setzen für die Grundwasserstandsbeobachtung der Regionalmessstellen ebenfalls zunehmend Datenlogger ein. Von den mittlerweile ca. 870 eingesetzten Geräten ist knapp die Hälfte mit DfÜ ausgestattet.

Beispielhafte Grundwasserstands-Ganglinien

Die langjährigen Trends seit Beobachtungsbeginn sind an den Grundwassermessstellen überwiegend ausgeglichen mit einigen markanten Perioden. In den südöstlichen Landesteilen wird fast immer Trendfreiheit beobachtet. Im Oberrheingraben werden dagegen überwiegend rückläufige Grundwasserstände seit 1913 beobachtet. Grundsätzlich sind die Grundwasserstände durch innerjährliche und mehrjährige Schwankungen geprägt. Von großer wasserwirtschaftlicher Bedeutung sind die Rückgänge, welche insbesondere durch mehrere aufeinander folgende niederschlagsarme Winterhalbjahre ausgelöst werden, wie z. B. in der ersten Hälfte der 1970-er Jahre, 1989-1993 oder 2003-2005.



Lysimetermessnetz in Baden-Württemberg

Die Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag ist eine der wichtigsten Komponenten des Grundwasserhaushalts und von entscheidender Bedeutung für die Wiederauffüllung der Grundwasservorräte nach Trockenzeiten. Sie spielt eine wesentliche Rolle für die Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung, die in Baden-Württemberg zu über 70 % aus Grund- und Quellwasser erfolgt. Im zeitlichen Verlauf der Grundwasserstände prägen sich die Abfolgen von Perioden über- und unterdurchschnittlicher Niederschläge und der von ihnen beeinflussten, jahreszeitlich unterschiedlichen Versickerungsraten aus. Dabei unterliegen Niederschläge und auch die Grundwasserneubildung sowohl jahreszeitlichen als auch längerfristigen und räumlichen Schwankungen. Wegen der hohen Verdunstung im Sommer erfolgt die Grundwasserneubildung überwiegend im Winterhalbjahr, obwohl die Niederschlagsmenge des Sommerhalbjahres diejenige des Winterhalbjahres im Mittel übertrifft.

Ermittlung von Sickerwassermenge und -beschaffenheit

Lysimeter wurden ursprünglich zur Untersuchung der gelösten Wasserinhaltsstoffe entwickelt. Die Überwachung von Niederschlag- und Sickerwasserbeschaffenheit kann frühzeitig Hinweise auf mögliche Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit geben. Die bislang umfangreichste Behandlung erfuhren die Landeslysimeter und deren Messdaten im Rahmen des Forschungsprojekts „Nitrat im Grundwasser“. An sechs ausgewählten Lysimetern wurden zweimal wöchentlich Proben genommen, um die Nitratauswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Flächen bestimmen zu können.

Der hohe Aufwand für Beprobung, Konservierung und Analytik sowie die hohen Anforderungen an die Lysimeteranlage und die damit verbundenen Investitions- und Betriebskosten führten dazu, dass die Untersuchung der Sickerwasserbeschaffenheit seit Mitte der 1990er Jahre eingestellt wurde.

info

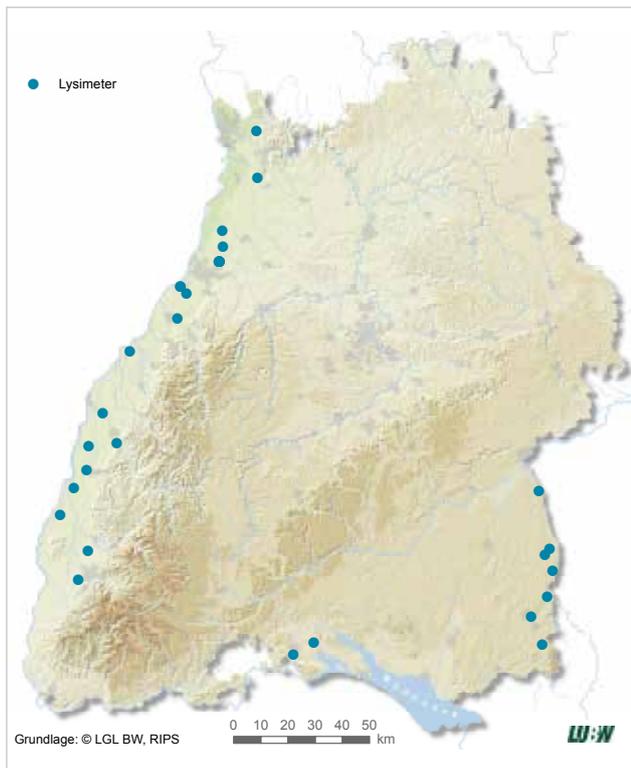
Was ist ein Lysimeter?

Ein Lysimeter ist eine Messeinrichtung, welche die Beobachtung des versickernden Niederschlagwassers ermöglicht. Das Lysimeter ist eine mit Boden gefüllte Messvorrichtung bzw. ein Gefäß, welches in den Boden eingebaut wird und an der Sohle einen Abgang für das Sickerwasser besitzt. Dabei soll sichergestellt werden, dass der Teil des Niederschlagswassers erfasst wird, der bis in den Grundwasserkörper durchsickert. Das aufgefangene Sickerwasser ermöglicht die Bestimmung der lokalen Grundwasserneubildung aus Niederschlag und auch des Stoffeintrags in Abhängigkeit von Boden, Gestein, Bewuchs, Klima und sonstigen Randbedingungen.



Wägbares Lysimeter in Büchig (Landkreis Karlsruhe)

Mittlerweile werden die Lysimeter von der LUBW ausschließlich für quantitative Betrachtungen herangezogen. Es gilt dabei, die Auswirkungen der Niederschlagsmenge auf den Wasserhaushalt und das Grundwasserdargebot zu untersuchen. Aus diesem Grund bestehen die meisten Lysimeteranlagen neben dem Sickerwasserauffangbehälter auch aus einem Niederschlagsmessgerät, um die standortspezifische Niederschlagsmenge genau erfassen zu können. Die Lysimeter befinden sich alle im Bereich der größeren Lockergesteinsgrundwasserleiter, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die gemessene Sickerwassermenge der Grundwasserneubildung aus Niederschlag entspricht. Die benötigte Fließzeit zur Passage der Strecke zwischen der Sohle des Lysimeterbehälters und der örtlichen Grundwasseroberfläche ist ggf. bei der Bestimmung des Neubildungszeitpunktes (Anstieg des Grundwasserstandes) zu berücksichtigen.



Das Lysimetermessnetz von Baden-Württemberg

Messnetzziele

Die in Baden-Württemberg durchgeführten Lysimetermessungen erfolgen punktuell nach rein gewässerkundlichen Gesichtspunkten zur Gewinnung von Hintergrunddaten. Die Überwachungsziele können wie folgt spezifiziert werden:

- Frühindikation von Veränderungen der Grundwassermenge und der Grundwasserbeschaffenheit im Lockergestein
- Direkte Messung der Grundwasserneubildung als Vergleichsgröße für Verfahren zur regionalen Berechnung der Sickerwasserrate bzw. der Grundwasserneubildung aus Niederschlag (Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW)

Messnetzgestaltung

Das amtliche Lysimetermessnetz von Baden-Württemberg wird seit 1963 betrieben. Es umfasste im Jahr 1982 bis zu 137 Messstellen (Niederschlag und Sickerwasserrate) in den wesentlichen Lockergesteinsbereichen des Iller-Riß-Gebiets, des Singener Beckens und insbesondere des Oberrheingrabens.

Das Messnetz wurde in den Jahren 1996/97 überprüft und auf insgesamt 35 Standorte reduziert. Gründe für die Anlagenstilllegungen waren überwiegend technische Defekte, die im Laufe der Betriebszeit allmählich zu auffälligen bzw. unplausiblen Sickerwassermengen geführt hatten. Die Lysimeteranlagen befinden sich im Regelfall auf Wasserwerksgelände und werden von den dortigen Bediensteten betreut.

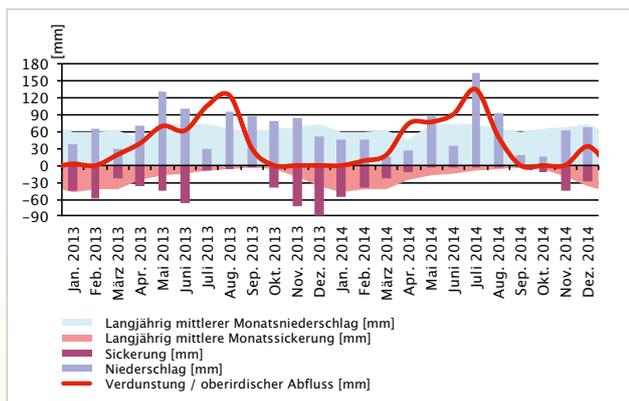
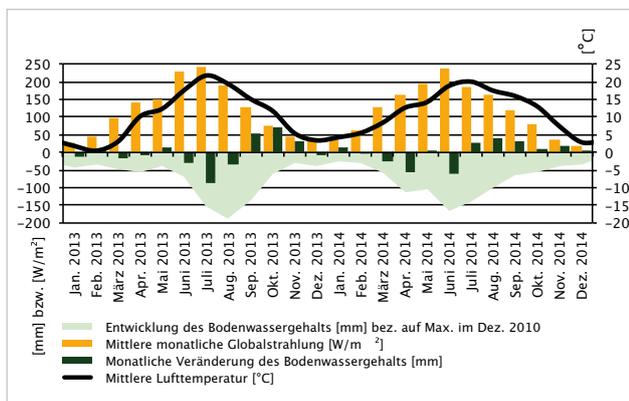
Messergebnisse am wägbaren

Lysimeter Büchig

Wägbare Lysimeter bieten weitergehende Auswertemöglichkeiten gegenüber Standardlysimetern nach Friedrich-Franzen. Die kontinuierliche Aufzeichnung des Lysimetergewichts ermöglicht beispielsweise Rückschlüsse auf die Entwicklung des Bodenwassergehalts, womit auch Aussagen über die tatsächliche Verdunstung getroffen werden können.

Außerdem sind aufgrund ihrer größeren Auffangfläche (3,14 m²) die störenden Rand- und Oaseneffekte geringer als bei den Kleinlysimetern (1 m²) nach Friedrich-Franzen. Die Erfassung der unterschiedlichen Messparameter lässt auf die Entwicklung des Bodenwassergehalts und der Sickerwasserhältnisse vor dem Hintergrund der aktuellen Wetterverhältnisse schließen. Die gewonnenen Informationen sind auf andere Standorte Baden-Württembergs zwar nicht unmittelbar übertragbar, liefern jedoch Hinweise für die Interpretation der Grundwasserneubildung aus Niederschlägen in den anderen Lockergesteinsaquiferen des Landes.

Exemplarische Auswertungen der Lysimeteranlage Büchig sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Die obere Grafik dokumentiert neben den klimatischen Messgrößen Lufttemperatur und Globalstrahlung auch die berechnete Veränderung des Bodenwassergehalts aus der Gewichtsänderung des Lysimeterkörpers. Nach oben gerichtete Säulen zeigen ein Auffüllen, nach unten gerichtete Säulen eine Entleerung des Bodenwasserspeichers an. Die Zunahme des Lysimetergewichts drückt dabei eine Erhöhung der im Boden gespeicherten Wassermenge aus. Die untere Graphik zeigt die monatlichen Niederschlags- und Sickerwassermengen (Säulen) vor dem Hintergrund der langjährigen Mittelwerte (Flächen). Die Verdunstung bzw. der Oberflächenabfluss wird auf Monatsbasis als Restglied aus der Betrachtung der verschiedenen Einzelkomponenten der Wasserbilanz berechnet.



Auswertung unterschiedlicher Messgrößen am wägbaren Lysimeter Büchig (Landkreis Karlsruhe)



Ein Interview mit

Klaus Hofmann

Leitender Baudirektor
Leiter Referat Gewässer und Boden
Regierungspräsidium Stuttgart

Was sind die Schwerpunktaufgaben der Regierungspräsidien beim Grundwassermonitoring?

Das Grundwassermonitoring ist Teil des gewässerkundlichen Dienstes nach § 76 des Wassergesetzes für Baden-Württemberg. Die Regierungspräsidien unterstützen dabei die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) durch Messung von Grundwasserständen und Quellschüttungen, Beauftragung und Betreuung von privaten Pegelbeobachtern (die Grundwasserstände und Quellschüttungen messen), Unterhaltung und Pflege der Messstellen (d. h. Erhebung und Kontrolle des Zustands, der Zugänglichkeit und der Funktionstüchtigkeit), Sanierung und Umbau von Messstellen bei Beschädigungen und zur Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit, Ausarbeitung von Vorschlägen zur Optimierung der Messnetze, Erhebung, Plausibilisierung und Eingabe der Daten in die Grundwasserdatenbank und Auswertungen mit Hilfe der Grundwasserdatenbank für fachliche Fragestellungen.

Bei welchen Aufgaben benötigen die Regierungspräsidien die Monitoringergebnisse vor allem?

Wasserrahmenrichtlinie und Grundwasserrichtlinie haben zum Ziel, dass das Grundwasser einen guten chemischen und mengenmäßigen Zustand erreicht. Hierzu werden die auf das Grundwasser einwirkenden Belastungen im Rahmen einer Bestandsaufnahme erfasst, die Grundwasserbeschaffenheit und die Grundwasserstände mit einem Monitoringprogramm ermittelt und Maßnahmen für sog. gefährdete Grundwasserkörper erarbeitet. Die Regierungspräsidien als Flussgebietsbehörden dokumentieren die durchgeführten Arbeiten in Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen. Grundlage für all diese Arbeiten sind die Ergebnisse des Grundwassermonitorings und die Auswertmöglichkeiten der Grundwasserdatenbank.

Weiterhin dienen die Monitoringergebnisse zur Beantwortung interner und externer Fragestellungen, z.B. bei der fachlichen Beurteilung von kommunalen Planungen zur Wassergewinnung für die Trinkwasserwasserversorgung, großen Bau- und Infrastrukturmaßnahmen mit Eingriffen in den Untergrund bzw. in das Grundwasser sowie bei der Bearbeitung von Altlastenfällen und Grundwasserschadensfällen.

Was kann beim Grundwassermonitoring aus Ihrer Sicht optimiert werden? Wo sehen sie Verbesserungsmöglichkeiten?

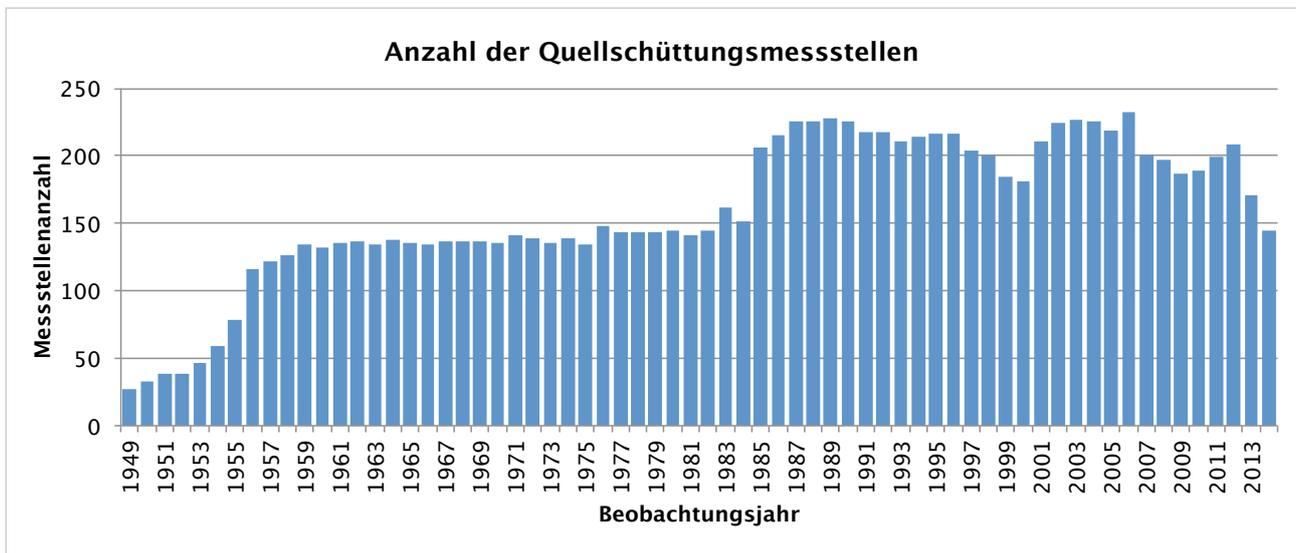
Vorgaben aus dem Bereich der Arbeitssicherheit und der Kosteneinsparung werden immer mehr zu bestimmenden Rahmenbedingungen auch beim Grundwassermonitoring. Mit der automatischen Erfassung der Grundwasserstände mit Datenlogger und Datenfernübertragung können Optimierungsmöglichkeiten genutzt werden.

Die etwas anderen Grundwassermengensmessstellen: Unsere Quellen

Entwicklung des Messnetzumfangs

Die ältesten baden-württembergischen Quellschüttungsmessstellen werden seit dem Jahr 1949 beobachtet. Bis 1960 bestand das Messnetz überwiegend aus den sogenannten badischen Richtquellen, die vornehmlich im Südschwarzwald angesiedelt waren. Damals wie heute besteht das Messnetz fast ausschließlich aus Quellen, die für die Zwecke der Trinkwasserversorgung gefasst wurden. Mit der Ausdeh-

nung der Fernwasserversorgungsnetze wurden die örtlich genutzten, wartungsintensiven und – insbesondere bakteriologisch – anfälligen Quellen zunehmend unwirtschaftlich. Zahlreiche Quelfassungen wurden daher stillgelegt und werden zwischenzeitlich nicht mehr für die öffentliche Wasserversorgung genutzt. Oft besteht nach wie vor eine wasserrechtliche Erlaubnis, die es ermöglicht, das Quellwasser in Bedarfsfällen für die Notversorgung einzuspeisen. Sämt-



Entwicklung Anzahl der Quellschüttungsmessstellen im Zeitraum 1949 – 2014

info

Was ist eine Quelle?

Quellen stellen die am nächsten liegende Form von Grundwasservorkommen dar, da am Quellaustritt Grundwasser unmittelbar zutage fließt. Hinter dem Sammelbegriff der Quelle verbergen sich zahlreiche und sehr unterschiedliche Quelltypen wie Schichtquellen, Hangschuttquellen, Kluft oder Karstquellen. Austrittsarten sind einzelne Sickerleitungen, Quelltöpfe und Bauwerke (künstliche Fassung oder frei auslaufendes, natürliches Vorkommen).

Kennzeichnend für eine Quelle ist der räumlich begrenzte Fassungs- bzw. Austrittsbereich.

liche Bauwerke sind erhalten geblieben, wobei die ältesten noch genutzten Fassungen nach und nach aufwändig saniert werden müssen. Mit dem Aufbau des qualitativen Grundwasserüberwachungsprogramms – insbesondere des Basismessnetzes – wurden im Jahr 1985 gezielt etwa 50 zusätzliche Quellen in die Zuständigkeit der damaligen Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) übernommen. Im Vergleich zu Grundwasserstandsmessstellen eignen sich Quellen besonders gut für die Gewinnung von Abfluss- und Beschaffenheitsdaten als Integralwert für die zugrunde liegenden Einzugsgebiete. Darüber hinaus bieten Quellen ebenfalls die Möglichkeit, Stofffrachten und Bilanzierungen zu berechnen. Das Messstellenkontingent zählte 1986 nach der Erweiterung damit erstmals mehr als 200 Quellschüttungsmessstellen.



Abbildungen (von oben nach unten):

- 1: Langschüttquelle: Eselswand in Friesenheim (Ortenaukreis)
- 2: Karstquelle: Blautopf in Blaubeuren (Alb-Donau-Kreis)
- 3: Kluttquelle: Große Wiesenquelle in Gernsbach (Landkreis Rastatt)
- 4: Langschüttquelle: Rothausenhof in Furtwangen (Schwarzwald-Baar-Kreis)
- 5: Schichtquelle: Rösslequelle in Furtwangen (Schwarzwald-Baar-Kreis)

Mit der Einführung des qualitativ betonten Quellmessnetzes 1993 wurden die damaligen Quellschüttungsmessstellen auf ihre Eignung als Beschaffenheitsmessstellen überprüft. Einige Messorte wurden dabei aufgegeben, insbesondere in Gebieten mit hoher Messstellendichte.

Das rückläufige Messstellenkontingent seit etwa 2006 hat seine Ursache im Wesentlichen in der zunehmend angespannten Finanzlage der Kommunen und der Verschärfung der Arbeitsschutzbestimmungen. Immer häufiger wurde aus Kostengründen auf die regelmäßige, z.T. freiwillige und kostenfreie Beobachtung von sporadisch eingespeisten oder ungenutzten Quellen durch Eigenpersonal verzichtet. Zur Weiterführung der historischen Zeitreihen musste das Land Dritte mit der Schüttungsmessung beauftragen und die Vorschriften des Arbeitsschutzes berücksichtigen. Wegen unverhältnismäßig hoher Aufwendungen werden besonders gefährliche Quellen nach und nach aufgegeben, weshalb die Messstellenzahl sich noch etwas verringern wird.

Aufgabengebiet der LUBW

Die Quellschüttungsmessstellen werden im Regelfall auch in Beschaffenheitsmessnetzen geführt und sind daher fast ausschließlich in der Zuständigkeit der LUBW. Acht Quellen werden für zeitnahe Aussagen über den Ist-Zustand und zur Bewertung der kurzfristigen Entwicklungstendenzen der übergebietlichen quantitativen Grundwasserverhältnisse herangezogen.

Die Schüttungen werden meistens von den örtlichen Wassermeistern gemessen, per Beobachtungsbeleg an die LUBW übermittelt und zeitnah erfasst.



Wehrkasteneinrichtung mit kontinuierlicher Beobachtung und Datenfernübertragung in der Fritzenwiesenquelle in Obergrombach (Landkreis Karlsruhe) mit der GW-Nummer 0600/309-4



Eingesetzte Messtechnik

Die Quellschüttungsmessverfahren haben sich seit 1949 nur unwesentlich verändert. Knappe Platzverhältnisse in engen Quellschächten und vielfältige Bauweisen, die eine Einrichtung von standardisierter Messtechnik erschweren, haben dazu geführt, dass die Schüttung im Regelfall nach wie vor von Hand mit Gefäß (Eimer oder ortsfestes Becken) und Stoppuhr gemessen wird. Bis heute sind diese Einzelmessungen bei Quellaustritten aus Sickerleitungen eindeutig in der Überzahl.

Dieses einfache Messverfahren ist bei flächigen Austritten (z. B. bei Quelltöpfen) und bei größeren Schüttungen ab etwa 10 Liter pro Sekunden nicht mehr anwendbar. Für die Messung von Großquellen werden deshalb indirekte Verfahren über Wasserstand-Abfluss-Beziehungen eingesetzt. Die dafür erforderlichen Messeinrichtungen sind relativ aufwändig, ermöglichen jedoch eine kontinuierliche Erfassung der meist ausgeprägten, niederschlagsbedingten Schüttungsschwankungen. Dreieckswehre haben sich bewährt, wenn auch geringe Abflüsse gemessen werden sollen. Für Einzelmessungen des Wasserstands werden Lattenpegel verwendet, bei kontinuierlicher Registrierung werden bevorzugt Drucksonden, seltener Schwimmersysteme eingesetzt. Einige Fließgewässerquellen werden mit Oberflächenpegelanlagen beobachtet.

Seit einigen Jahren werden – insbesondere bei genutzten Quellen – neuartige Geräte für die Messung der Quellschüttung eingesetzt. Neben klassischen Wasserzählern kommen neuerdings magnetisch induktive Durchflussmesser (MID) zum Einsatz. Diese Geräte werden in geschlossenen Rohrleitungen eingesetzt, sind sehr präzise und grundsätzlich gut geeignet für kontinuierliche Messungen.

Im Jahr 2014 wurde erstmals von der LUBW eine kontinuierliche Schüttungsmesseinrichtung mit stündlicher Beobachtung und täglicher Datenfernübertragung in einem typischen Quellschacht eingerichtet. Die Anlage besteht aus einem neu entwickelten, zweiteiligen Wehrkasten (Dreieckwehr und Beruhigungsbecken), der in der Fritzenwiesenquelle in Obergrombach (Landkreis Karlsruhe) installiert wurde (Abb. oben). Sie befindet sich derzeit in der Testphase; die bisherigen Ergebnisse sind vielversprechend. Der Standort hat Pilotcharakter, wobei die Einrichtung vergleichbarer Anlagen in Quellschächten des gleichen Bautyps grundsätzlich möglich sein dürfte. Es ist beabsichtigt, diesen Anlagentyp nach erfolgreicher Testphase an einigen Quellen, die bisher manuell mit Eimer und Stoppuhr gemessen werden und im Winter schwer zugänglich sind, einzubauen.

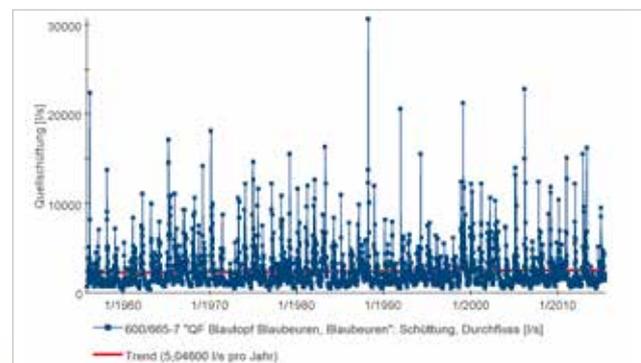
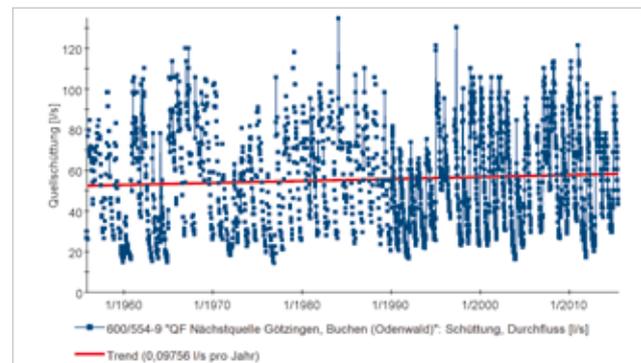
Abbildungen rechte Seite (von oben nach unten):

- 1: Dreieckswehr an der Jägerbrunnenquelle in Freudenstadt (Landkreis Freudenstadt)
- 2: Rechteckwehr am Gretsbrunnen in Straßberg (Zollernalbkreis)
- 3: Oberflächenpegelanlage QF Aachursprung in Hayingen (Landkreis Reutlingen)
- 4: MID an der Quelle Katharinenplaisir in Bad Teinach (Landkreis Calw)
- 5: Wasserzähler an der unteren Quelle in Friesenheim



Beispielhafte Quellschüttungs-Ganglinien

Die Beobachtung und Bewertung der Grundwasservorkommen in Festgesteinsbereichen geschieht überwiegend anhand von Quellen. Sofern weder menschliche Aktivitäten (z.B. Beregnung, Versiegelung, Ab- oder Aufforstung) noch natürliche Phänomene (z.B. Wurzeltrieb oder Umläufigkeiten) zu verzeichnen sind, entspricht die Zeitreihe der Quellschüttung der natürlichen Entwicklung des Grundwasserdargebots. Zahlreiche Quellen sind für die Beobachtung und Bewertung der langfristigen natürlichen Entwicklung der Grundwasservorräte daher besonders wertvoll und gut geeignete Objekte für die Erkennung von Klimasignalen im Grundwasserdargebot. Die verfügbaren Zeitreihen reichen bis in die 1950er Jahre zurück.

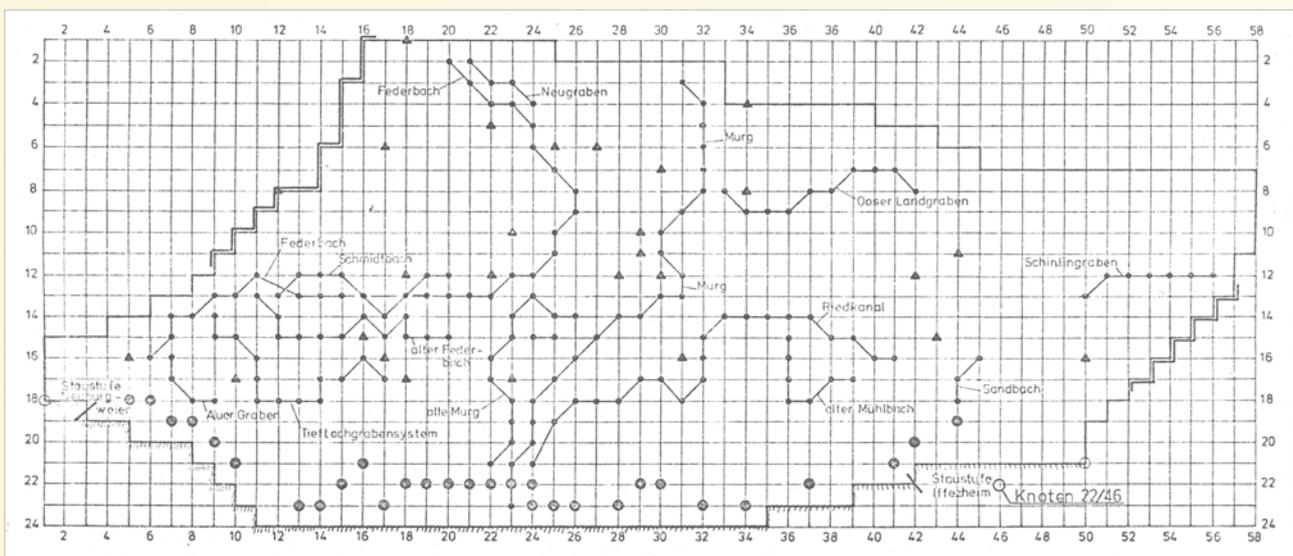


Die Ganglinie einer Quellschüttung spiegelt die hydrogeologischen Eigenschaften des jeweiligen Einzugsgebiets wider. Karstquellen zeichnen sich dabei durch rasche und ausgeprägte Schüttungsanstiege infolge von Niederschlagsereignissen aus (oft kombiniert mit Trübungserscheinungen). Andere Quelltypen mit mächtigen Deckschichten und/oder größerem unterirdischen Speichervermögen haben einen vergleichsweise ausgeglicheneren Schüttungsgang.

Rückblick auf 40 Jahre Grundwassermodelle bei der LUBW

Numerische Grundwassermodelle stellen eine Schematisierung der natürlichen Gegebenheiten dar. Ohne Modellvorstellungen gibt es keine Dateninterpretation in den Geowissenschaften. Eine Besonderheit, die Grundwassermodelle notwendig macht, ist die relative Langsamkeit von Prozessen im Untergrund. Die im Vergleich oft langen Zeitskalen schränken die Möglichkeit für Experimente stark ein. Die für wasserwirtschaftliche Fragestellungen interes-

Bei der LUBW werden für wasserwirtschaftlich relevante Grundwasservorkommen, wie z.B. das Oberrheingebiet, seit rd. 40 Jahren numerische Grundwassermodelle eingesetzt, um die historischen Strömungs- und Transportvorgänge zu reproduzieren und auf dieser Basis zukünftige Entwicklungen prognostizieren zu können. Es sind in der Regel großräumige Grundwassermodelle, welche den gesamten Grundwasserkörper behandeln, weshalb auch die



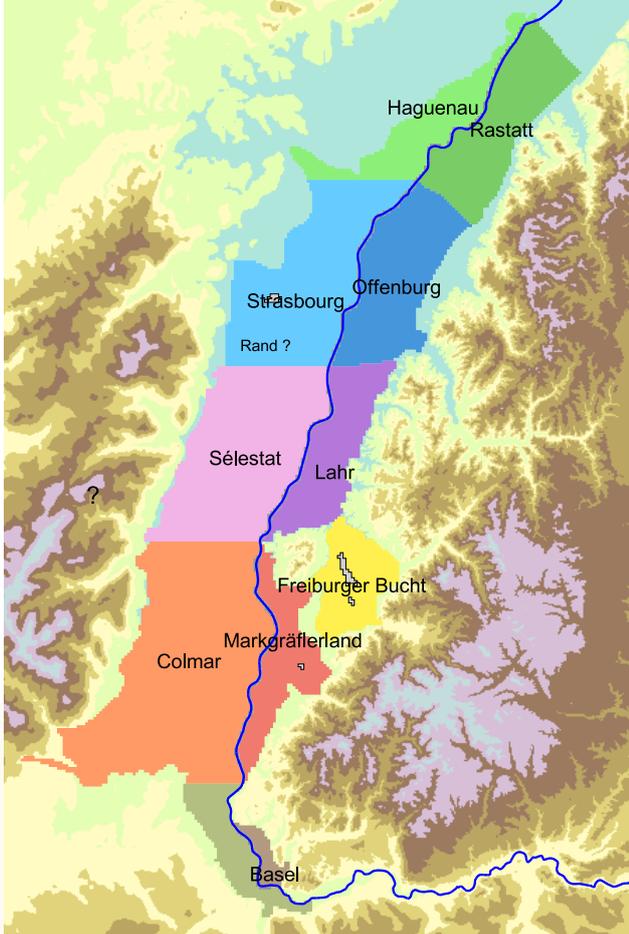
Berechnungsnetz und Randbedingungen für das numerische Grundwassermodell „Raum Rastatt“; zu erkennen sind zwei Randstromlinienabschnitte (Doppelstrich), verschiedene Gewässerrandbedingungen (Punkte) sowie Entnahmerandbedingungen (Dreiecke). Der Rhein mit den Stauufen Iffezheim und Neuburgweier liegt auf dem Modellrand unten.

sierenden Größen wie Fließgeschwindigkeit oder Abfluss im Untergrund sind nicht direkt messbar und müssen daher indirekt aus messbaren Größen wie z. B. den Grundwasserhöhen bestimmt werden. Das Grundwassermodell vermittelt also zwischen messbaren und benötigten Größen und ermöglicht die Simulation nicht messbarer Planungszustände in ihren Auswirkungen auf Grundwasserstand und -wasserbilanz. Diese Anwendung eines kalibrierten Grundwassermodells ist heute in vielen verschiedenen Bereichen eine unverzichtbare Hilfe zur Beurteilung von Auswirkungen geplanter Wasserentnahmen, Hochwasserretentions- und Sanierungsmaßnahmen oder von möglichen Auswirkungen des Klimawandels sowie von landwirtschaftlichen Aktivitäten, welche den Nitratreintrag in das Grundwasser beeinflussen.

aus diesen Modelluntersuchungen resultierenden Grundwasserbilanzen für das wasserwirtschaftliche Planen und Handeln von großer Bedeutung sind.

Grundwasserströmungsmodelle im Lockergesteinsbereich des Oberrheingrabens

Der Einsatz von numerischen Grundwassermodellen begann durch eine 1972 eingesetzte Arbeitsgruppe bei der damaligen Landesstelle für Gewässerkunde, deren Aufgabe es war, die entstehenden Folgen des Rheinausbaus für Oberflächengewässer und Grundwasser im Bereich Iffezheim-Neuburgweier zu untersuchen und eine Konzeption für wasserbauliche Maßnahmen zur Verhinderung negativer Folgen zu entwickeln. Im Rahmen des Untersuchungsprogrammes wurde 1973 ein Gutachterauftrag erteilt, um mit



Teilgebiete für die Erstellung des länderübergreifenden Grundwassermodells im Oberrheingraben südlich von Karlsruhe

Hilfe eines numerischen Grundwassermodells die zu erwartenden Veränderungen des Grundwassers infolge des Rheinausbaus zu untersuchen und zu beurteilen. Die Ergebnisse wurden im Jahr 1975 vorgelegt. Das Modellgebiet wurde durch ein quadratisches Netz mit 500 m Kantenlänge aufgelöst. Als Zeitschrittlänge für das Modell wurden aus Gründen der numerischen Stabilität 6 Stunden gewählt. Als geeigneter Eichzeitraum für das Grundwassermodell „Raum Rastatt“ erwies sich die Zeitspanne vom 27.3.1972 bis 25.6.1973. Der betrachtete Zeitraum umfaßt genau 455 Tage, was 1.820 Zeitschritte ergab und beachtliche Anforderungen an die damalige Modelltechnik und Rechenleistung stellte. Die Welt der Abbildungen und Anlagen war damals jedoch noch schwarz-weiß und man beschränkte sich bei der Darstellung von Modellgebiet und Randbedingungen auf das Wesentliche.

Erkundungen der Grundwasservorkommen und -verhältnisse insbesondere im Oberrheingebiet waren Mitte der 1970er Jahre in vollem Gange, da der Ausbau des Oberrheins auch drastische Auswirkungen auf das Grundwasser im Oberrheingraben hatte. Dieses zu erkunden und Grundlagen zu schaffen, war die Aufgabe der Hydrogeologischen

Karten (HGK). Im Rahmen der Bearbeitung dieser frühen landesinternen Hydrogeologischen Karten gehörte die Erstellung eines Grundwassermodells noch nicht zum Standard. Erst die Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Raum Karlsruhe-Speyer (1988) und Rhein-Neckar-Raum (1987, 1999) schloss jeweils auch den Aufbau, die Kalibrierung und Anwendung eines großräumigen Grundwassermodells mit ein. Die Modellierungsarbeiten wurden an erfahrene und auf Grundwassermodellierungen spezialisierte Bearbeiter vergeben. Nach Abschluss der Arbeiten wurde das jeweilige Grundwassermodell von der LfU übernommen, lauffähig vorgehalten und auch für landesinterne Fragestellungen eingesetzt.

Die Grundwassermodelle der 1980er Jahre in den Bereichen Karlsruhe-Speyer und Rhein-Neckar-Raum waren durch ein quadratisches Netz mit 1.000 m Kantenlänge horizontal aufgelöst, womit im Rhein-Neckar-Raum beispielsweise 1.479 Netzknoten je Modellschicht vorlagen. Vertikal wurden jeweils zwei Tiefenbereiche unterschieden. Nach 2002 wurde für den gesamten nördlichen Oberrheingraben ein umfassendes Grundwassermodell in Anlehnung an die horizontale und vertikale Gliederung für den Rhein-Neckar-Raum mit einem 500 x 500 m Raster und 11 Modellschichten erstellt. In dem Modell „Karlsruhe-Worms“ wurde später auch die aktuelle hydrogeologische Gliederung im Bereich Karlsruhe-Speyer (2007) berücksichtigt sowie Daten aus weiteren GW-Modellen der Stadtwerke Karlsruhe, Bruchsal und Vorderpfalz übertragen. Das Modell hat inzwischen, in Analogie zum südlich angrenzenden Teil des Oberrheingrabens, ebenfalls eine horizontale Auflösung von 100 x 100 m und wird derzeit für Fragestellungen der Grundwasserbewirtschaftung an der Grenze zum Hessischen Ried eingesetzt.

Im Bereich des Oberrheingrabens südlich von Karlsruhe erfolgte der erste „große Wurf“ hinsichtlich großräumiger Grundwassermodellierung im Rahmen eines LIFE-Projektes (1996). Das grenzüberschreitende Untersuchungsgebiet des Oberrheingrabens zwischen Vogesen und Schwarzwald wurde in 11 Teilgebiete unterteilt, für welche verschiedene Ingenieurbüros und Institutionen jeweils ein stationäres Grundwassermodell aufbauten und für mittlere Grundwasserhältnisse kalibrierten. Die Arbeiten wurden zunächst dezentral durchgeführt. Abschließend wurde aus den

einzelnen Modellen durch die LfU ein Gesamtmodell mit 17.192 Modellzellen für den gesamten Oberrheingraben zwischen Basel und Karlsruhe erstellt. Das Modellgebiet umfasste eine Fläche von 4.298 km² und berücksichtigte das weitverzweigte Gewässernetz durch etwa 6.900 Gewässerrandbedingungen. Damit war es auch möglich, für diesen Teil des Oberrheingrabens erstmals eine detaillierte Grundwasserbilanz zu erstellen.

Ein weiterer Meilenstein war die Grundwassermodellierung, die etwa 10 Jahre später in diesem Bereich angegangen wurde. Mit dem Projekt MoNit (2006) wurde das Ziel verfolgt mit Hilfe eines Grundwassermodells die weitere Entwicklung der Nitratbelastung des Grundwassers zu beschreiben. Bei der Simulation der Strömungsverhältnisse kam das vom US Geological Survey entwickelte Programmsystem MODFLOW (1988), das von der LUBW weiterentwickelt wurde, zur Anwendung. Im Hinblick auf die Simulation von Transportprozessen im Grundwasserleiter musste ein vergleichsweise feines Modellnetz verwendet werden, um die numerischen Voraussetzungen für eine stabile Lösung einzuhalten. Deshalb wurden Modellzellen mit einer Seitenlänge von 100 m angesetzt. Innerhalb des Modellgebiets liegen 4.106.195 Modellzellen, an denen die Strömungs- und Transportverhältnisse berechnet werden. Um insbesondere beim Transport die scharfen vertikalen Fronten nachbilden zu können, wurde das numerische Modell in vertikaler Rich-

tung in insgesamt 10 Modellschichten unterteilt. Davon wurden 5 Modellschichten verwendet, um die obere hydrogeologische Einheit abzubilden, und die restlichen 5 Modellschichten repräsentieren die untere hydrogeologische Einheit.

Grundwasserströmungsmodelle im übrigen Lockergesteinsbereich des Landes

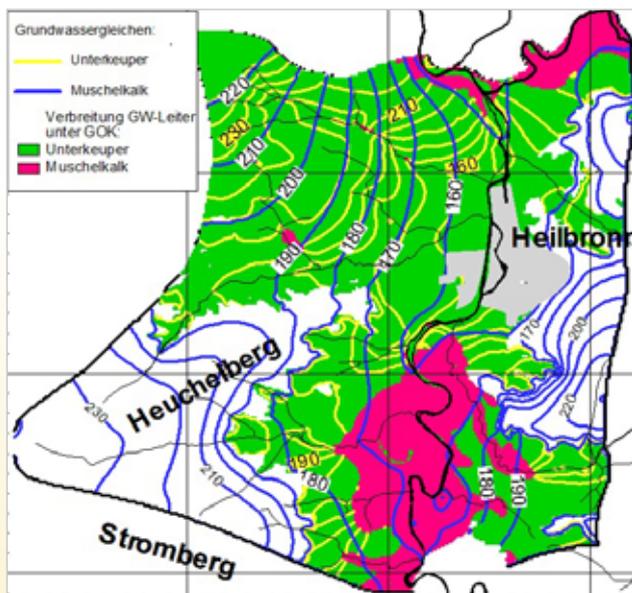
In verschiedenen Lockergesteinsbereichen außerhalb des Oberrheingrabens im Südosten und Süden des Landes wurden ebenfalls Grundwassermodelle aufgebaut und kalibriert, um die Grundwasserverhältnisse näher zu erkunden und Wasserbilanzen detaillierter zu beschreiben. Hierzu gehören die Bereiche

- Singener Kiesfeld / Aachtal
- Leutkircher Heide
- Erolzheimer Feld / Illertal
- Klettgaurinne
- Isnyer Becken / Argen-Achrinne

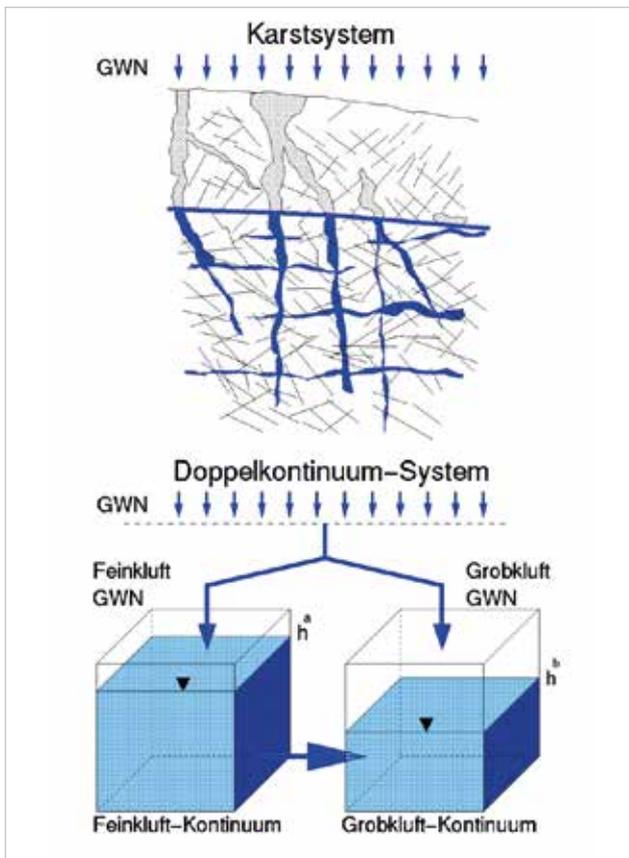
Grundwasserströmungsmodelle in Festgesteinsbereichen

Das erste großräumige Grundwasserströmungsmodell in einem überwiegend durch Festgesteine geprägten Bereich wurde für die Heilbronner Mulde erstellt. Die gleichnamige HGK stellte die wesentliche Datengrundlage bereit. Das vierschichtige Modell mit einem quadratischen Modellraster umfasst neben den quartären Neckartalschottern und Hochterrassenschottern, die Festgesteine des Unterkeuper sowie des Oberen und Unteren Muschelkalks.

Das bedeutendste Grundwasservorkommen im Festgesteinsbereich in Baden-Württemberg bildet der Oberjurakarst der Schwäbischen Alb. Seit 2002 werden vorbereitende Arbeiten zur Erstellung eines großräumigen Grundwassermodells für den Gesamtbereich des Oberjurakarstes angestellt. Hierzu wurden neben der Erstellung eines Hydrogeologischen Modells verschiedene Modellierungskonzepte untersucht. Dabei hat sich herausgestellt, dass aufgrund der Dynamik des Karstsystems nur ein Doppelporositäts-Ansatz für die Modellierung in Frage kommt, bei dem ein hochdurchlässiges Grobkluff- und ein interagierendes geringer durchlässiges



Berechnete Grundwassergleichen im Unterkeuper und im unteren Teil des Muschelkalkaquifers mit Verbreitung der Grundwasserleiter im Unterkeuper und Muschelkalk



Schematische Darstellung des Doppelkontinuum-Ansatzes
(Quelle: KuP 2003)

Feinkluftsystem verwendet werden (Doppelkontinuum-Ansatz). Im Rahmen der Voruntersuchungen wurden Vorschläge für die Modellausdehnung, die räumliche und zeitliche Diskretisierung sowie die zu berücksichtigenden hydrogeologischen Einheiten diskutiert und in einem Vormodell implementiert.

Die lokale Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag als eine der wichtigsten Bilanzkomponenten wird mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW als obere Randbedingung für die vorliegenden großräumigen Grundwassermodelle bereitgestellt, so auch für den Oberjurakarst der Schwäbischen Alb.

Der gewählte Doppelporositäts-Ansatz für die Grundwassermodellierung macht eine Aufteilung der Grundwasserneubildung auf zwei Porositäten, d.h. auf das Feinkluft- und das Grobkluftsystem, erforderlich. Weitergehende Untersuchungen für die Einzugsgebiete Gallusquelle und Blautopf lieferten Bandbreiten für die Aufteilung. Damit liegen nun die wesentlichen Voraussetzungen für den Aufbau und die Kalibrierung eines großräumigen Grundwassermodells auch für den Oberjurakarst in Baden-Württemberg vor.



Ein Interview mit

Johann-Martin Rogg

Unternehmensbereichsleiter

und Prokurist

badenova AG & Co. KG, Freiburg

Was waren die Gründe der Wasserversorgungswirtschaft, auf freiwilliger Basis beim Grundwassermonitoring mit dem Land zusammen zu arbeiten?

Die Wasserversorgungswirtschaft hat sich zum Ziel gesetzt, die Bürger (Kunden) mit einwandfreiem, natürlichem Trinkwasser zu versorgen. Dieses Ziel ist nur zu erreichen, wenn das Ausgangsprodukt, d.h. die Grund-, Oberflächen- und Quellwasser Mindestqualitätsanforderungen genügt, die dies zulassen. Durch die zum Teil flächenhafte, negative Qualitätsentwicklung, insbesondere durch Agrarchemikalien und hier vor allem in den Grundgewässern war vorgenanntes Ziel gefährdet.

Aus unserer Verpflichtung und Verantwortung gegenüber den Bürgern, war es für uns eine Selbstverständlichkeit in Kooperation mit dem Land Baden-Württemberg unseren Beitrag beim Grundwassermonitoring zu leisten. Aus Sicht der Wasserversorgungswirtschaft ist dies eine der wenigen erfolgreichen, freiwilligen Kooperationen mit Beispielcharakter.

Welchen Nutzen sehen Sie darin, dass die Wasserversorgungswirtschaft und das Land die jeweils gewonnenen Daten gemeinsam verwenden?

Der Nutzen war und ist für beide Seiten gegeben. Auf Basis der Ergebnisse und Erkenntnisse konnten gezielt Maßnahmen, welche sich in Gesetzen, Verordnungen und Leitfäden niederschlugen, umgesetzt werden, die die extrem negative Entwicklung der Grundwasserqualität zwar nicht gänzlich beseitigen konnten, jedoch pauschal zu einer Trendumkehr geführt hat. Gerade am Beispiel Nitrat lässt sich dies sehr eindrucksvoll ablesen. Natürlich gibt es noch viel zu tun, nicht überall gibt es diese positive Entwicklung, aber wir sind insgesamt auf dem richtigen Weg. Gerade in besonders sensiblen, regionalen Räumen sind zum Teil noch sehr hohe Belastungen gegeben, welche auch noch einen negativen Trend aufweisen. Für diesen Bereich sind Sanierungsstrategien zu entwickeln, welche zu einer signifikanten Verbesserung der Situation führen.

Sehen Sie die Möglichkeit, die Zusammenarbeit zu optimieren oder eventuell weitere Partner zur Kooperation zu motivieren?

Als die Kooperationsvereinbarung im Jahr 1985 unterschrieben wurde, erfasste diese insgesamt 4 Partner. Leider musste man feststellen, dass die Partner Industrie und Landwirtschaft ihren Verpflichtungen nur bedingt nachkamen. Hier gibt es sicherlich Verbesserungspotential. Des Weiteren wäre es wünschenswert, wenn die Erkenntnisse bzw. Ergebnisse schneller in die Praxis gelangen und nachhaltig umgesetzt werden.

Untersuchungen zur Grundwasserfauna

Nur gesunde Grundwasserökosysteme liefern auch gutes Trinkwasser

Seine Reinheit verdankt das Grundwasser den schützenden Sand-, Kies- und Felsschichten, durch die es strömt – aber auch einer Unzahl von Tieren, Bakterien und Pilzen, die darin leben. Zusammen reinigen sie das Grundwasser und halten die Lückensysteme, durch die es strömt, offen.

Grundwasser ist also nicht nur eine Ressource, sondern auch ein Lebensraum, der größte und älteste auf den Kontinenten. Er steht in direkter Verbindung mit den Wasserkreisläufen der Erde.

Leben in ewiger Dunkelheit

Der Lebensraum der Grundwassertiere sind die wassergefüllten Lücken und Klüfte des Untergrundes. Die meisten dieser Tiere sind deshalb sehr klein. Im Grundwasser herrschen ewige Dunkelheit und weitgehend konstante Temperaturen von ca. 8 – 11 °C. Nahrung ist knapp im Grundwasser. Sie wird von der Erdoberfläche eingetragen, entweder als totes organisches Material (Detritus) oder in gelöster Form (Zuckerverbindungen, Huminsäuren u. ä.). Grundwassertiere sind an diese besonderen Lebensbedingungen



Grundwassertiere von links nach rechts:
Muschelkrebse Mixtacandona laisi, *Raupenhüpferling Bryocamptus sp.*,
Brunnenkrebs Bathynella freiburgensis

sehr gut angepasst: Sie sind blind und farblos, denn Augen und Pigmente wären unnötiger Luxus. Mit der Nahrungsarmut kommen Grundwassertiere sehr gut zurecht. Sie können monatelang fasten, und ihr Leben läuft auf Sparflamme. Deshalb ist ihre Lebensdauer sehr viel höher als bei ihren Verwandten, die an der Erdoberfläche leben. Die Fortpflanzungsrate ist dagegen deutlich niedriger.

Viele Grundwassertiere sind lebende Fossilien

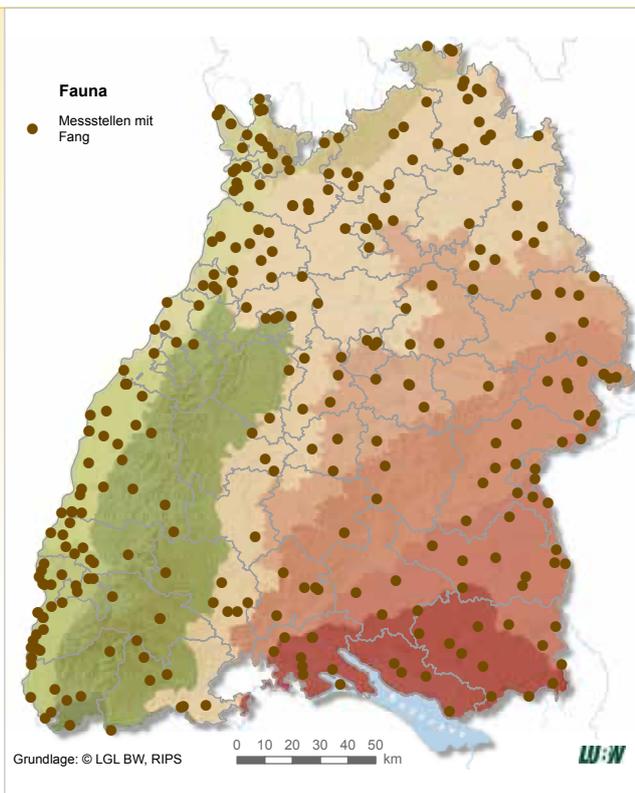
Man findet im Grundwasser Arten aus fast allen Tiergruppen, die es auch im Oberflächenwasser gibt. Die wichtigste Gruppe sind die Krebstiere, aber auch Würmer, Schnecken und Muscheln sind weit verbreitet. Selbst Wasserinsekten und ihre Larven stoßen oft weit ins Grundwasser vor. Viele dieser Tiere sind sehr selten. Andere gelten als lebende Fossilien, als Überlebende einer Tierwelt, die an der Erdoberfläche schon seit Jahrmillionen ausgestorben ist. Dieser Lebensraum und seine faszinierenden Bewohner sind bisher nur wenig untersucht. Trotzdem zeigt sich bereits jetzt, dass sie uns, als so genannte Biomonitoren, wichtige Informationen über den Zustand des Grundwasser geben können. Die nachhaltige Nutzung des Grundwassers verpflichtet, auch im Sinne des Verbrauchers, alle verfügbaren Informa-

info

Was ist eine Fauna?

Fauna (auch Tierwelt) bezeichnet die Gesamtheit aller Tiere in einem Gebiet oder im engeren Sinne alle Tierarten in diesem Gebiet. Die zugehörige Wissenschaft ist die Biogeographie. Wird der gesamte Planet Erde betrachtet, umfasst die Fauna sämtliche Tierarten, beispielsweise in der Paläontologie, wo man etwa von einer „Fauna der Kreidezeit“ spricht.

Die Bezeichnung ist abgeleitet vom Namen der römischen Naturgöttin Fauna. Die Entsprechung der Fauna im Pflanzenreich ist die Flora.



Messstellenverteilung in Baden-Württemberg

tionen über das Grundwasser zu sammeln. Deshalb hat die LUBW besonders geeignete Messstellen ausgewählt und – erstmalig für ein Flächenland weltweit – über die Arbeitsgruppe Grundwasserökologie der Universität Koblenz – Landau, die Grundwassertiere in allen Landesteilen repräsentativ erfassen lassen.

Auswahl der Messstellen

Die ausgewählten Messstellen sollten repräsentativ für die Verhältnisse in Baden-Württemberg sein, also alle Naturräume und Grundwasserlandschaften, aber auch unterschiedliche Landnutzungen wie Wald, Landwirtschaft und Industrie widerspiegeln.

Aus den 50.000 verfügbaren Messstellen wurden schließlich 304 Standorte mit Beobachtungsrohren ausgewählt und zweimal innerhalb eines Jahres beprobt. Die Tiefe dieser Messstellen schwankte zwischen 2 und 200 Metern. Die Karte zeigt die Verteilung der ausgewählten Messstellen über die Landesfläche. Im Hintergrund sind die Naturräume dargestellt.



Fangvorrichtung mit Seilwinde, Netz, Gewichten und Sammelgefäß

Probennahme im Grundwasser

Das Grundwasser ist nur in seltenen Fällen, wie in manchen Höhlen, frei zugänglich. Sonst liegt eine schützende Fels- und Bodenschicht darüber. Zugang erhält man deswegen vor allem über Grundwassermessstellen in welchen die Grundwassertiere einwandern. Sie sammeln sich im untersten Bereich der Messstelle, dem sogenannten Sumpf, zusammen mit Sedimenten – wie z. B. Sand und Schlamm.

Dort werden die Tiere mit einem feinen Netz (Maschenweite 0,074 mm), gefangen. Beschwert mit Bleigewichten lässt der Probennehmer das Netz auf den Grund der Messstelle absinken. Dabei wird das feine Sediment mit den darin lebenden Tieren aufgewirbelt und durch das Netz gesammelt.

Die Grundwasserfauna Baden-Württembergs

Die Grundwasserfauna Baden-Württembergs ist sehr artenreich. 106 Tierarten wurden gefunden, darunter einige für die Wissenschaft völlig neue Arten.

Die meisten Arten gehören zur Gruppe der Krebse, aber auch 20 Wurmarten, 7 Schneckenarten und ein urtümlicher Vielborstenwurm waren darunter. Die meisten dieser Arten sind sehr selten. Bemerkenswert ist, dass die tiefste der untersuchten Messstellen (200 m) im Karst der Schwäbischen Alb reich besiedelt war. An dieser Messstelle gelang der tiefste Nachweis von Grundwassertieren in Europa.

Brunnenkrebse (*Bathynellacea, Crustacea*) gelten als lebende Fossilien. Ihre oberflächenbewohnenden Vorfahren sind bereits vor 300 Millionen Jahren ausgestorben. Nur im Grundwasser konnten diese Tiere bis heute überleben. Mit ihrem lang gestreckten, 0,5 – 1,4 mm großen Körper schwimmen oder kriechen die Brunnenkrebse durch die Hohlräume des Grundwassers.



Brunnenkrebs



Höhlenflohkrebs

Höhlenflohkrebse (*Amphipoda, Crustacea*) sind die wahren Riesen im Grundwasser. Die größten Arten können bis zu drei Zentimeter groß werden. Höhlenflohkrebse leben räuberisch, solange geeignete Beute verfügbar ist. Fehlt diese, ernähren sich die Tiere auch ganz genügsam von Pflanzenresten und Bakterienaufwuchs. Man nimmt an, dass diese Gruppe schon vor Jahrmillionen direkt aus dem Meer ins Grundwasser eingewandert ist. Gelegentlich findet man Höhlenflohkrebse auch in Quellen, in die sie aus dem Grundwasser einwandern.

Hüpfertlinge (*Cyclopoida, Crustacea*) haben ihren Namen von ihrer Art der Fortbewegung erhalten. Sie schlagen ihre Antennen und ihre mit Platten verbundenen Beinpaare synchron nach hinten und schnellen dadurch sprunghaft, also hüpfend nach vorn. Diese Gruppe bildet einen großen Teil des Planktons in Seen und Teichen, zahlreiche Arten leben jedoch auch im Grundwasser. Die Hüpfertlinge sind die häufigste Gruppe der Krebse in diesem Lebensraum. Größere Tiere mit 1 – 2 mm Körperlänge leben räuberisch, die kleineren (0,3 – 0,8 mm) wohl auch von Bakterien, Einzellern oder von totem organischem Material (Detritus).

Jeder kennt **Asseln** (*Isopoda, Crustacea*) aus dunklen Verstecken, unter Steinen oder Moospolstern. Interessanterweise lebt in Oberflächengewässern nur eine heimische Art, im Grundwasser hingegen sind es fünf Arten. Die von 2 mm bis zu 1 cm großen Tiere sind deutlich abgeflacht, ein Vorteil für das Leben im Untergrund. Grundwasserasseln bevorzugen pflanzliches Material als Nahrung, sind also auf den Eintrag von Oberflächenwasser und den damit eingespülten Detritus angewiesen.

Der etwa 0,7 mm kleine **Troglochaetus beranecki** ist der einzige Vertreter im Süßwasser der ansonsten meeresbewohnenden Gruppe der Urringelwürmer (*Archiannelida*) und lebt nur im Grundwasser. Wegen seiner „ohrenähnlichen“ Anhänge am Kopf und seinen sieben Paaren beborsteter Anhänge an der Seite ist er mit keinem anderen Wurm zu verwechseln. Er besiedelt bevorzugt Grundwasserleiter mit kleinem Lückensystem und geringer Strömung. *Troglochaetus* ernährt sich hauptsächlich von Detritus. Diese Art ist bereits vor sehr langer Zeit aus dem Meer ins Süßwasser eingewandert. Noch heute hat er seinen Verbreitungsschwerpunkt im Bereich der ehemaligen tertiären Flachmeere. Seit der letzten Eiszeit hat sich die Art allerdings bis in die Alpen und sogar bis nach Finnland ausgebreitet.



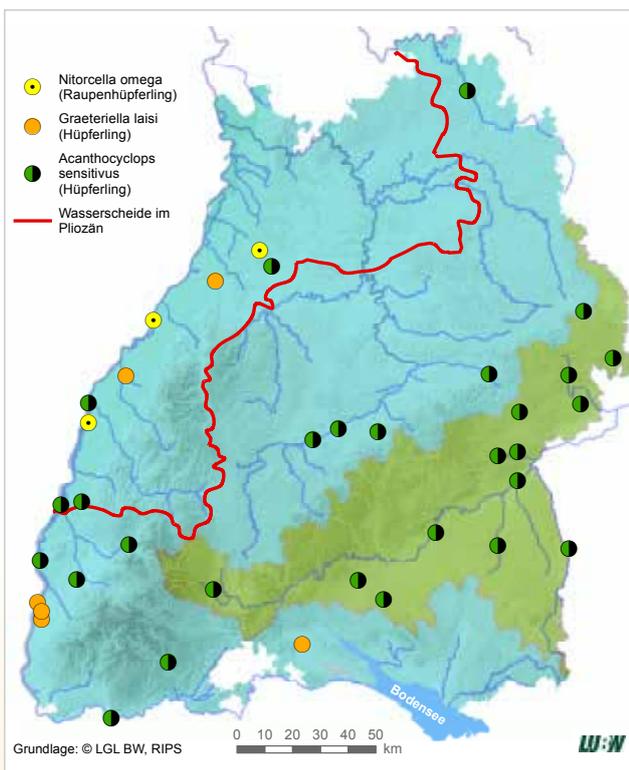
Hüpfertling



Assel



Flusseinzugsgebiete



Fundorte dreier Kleinkrebsarten in den heutigen Flusseinzugsgebieten von Rhein (blau) und Donau (grün); die rote Linie markiert die ungefähre Lage der alten Wasserscheide im Pliozän.

Die Bedeutung der Flusseinzugsgebiete

Einen großen Einfluss auf die Verbreitung vor allem der seltenen Grundwasserarten haben die Flusseinzugsgebiete, d. h. die von einem Fluss entwässerten Flächen. Wasserscheiden grenzen die benachbarten Flusseinzugsgebiete voneinander ab. Von wenigen Ausnahmen abgesehen – wie in Karstgebieten, ist die Wanderung der Grundwassertiere über die Einzugsgebietsgrenzen hinweg sehr erschwert.

In Baden-Württemberg verläuft eine europäische Wasserscheide, die die zwei großen europäischen Flusseinzugsgebiete Donau und Rhein trennt. Zum Rheinsystem gehören, neben dem Rhein selbst, auch das Bodenseegebiet, der Neckar und das Main-Tauber-Gebiet.

Das Grundwasser ist ein unterirdisches Naturkundemuseum

Für das Vorkommen bestimmter Grundwassertiere sind allerdings weniger die aktuellen, sondern offensichtlich die voreiszeitlichen, pliozänen Einzugsgebiete von Bedeutung. Vor drei Millionen Jahren sahen die Gewässersysteme in Baden-Württemberg ganz anders aus als heute. Damals gehörten große Teile des heutigen Rheineinzugsgebietes zum Donausystem. Der Rhein selbst entsprang einer Quelle in den Vogesen nordwestlich des Kaiserstuhls. Nur kleine Teile der heutigen Neckar- und Mainsysteme entwässerten in den Rhein. Der gesamte Osten und Südwesten des Landes waren Teil des Donaueinzugsgebietes.

Selbst diese längst vergangenen Grenzen werden heute noch von manchen Arten durch ihre Verbreitung angezeigt. In der unteren Karte ist das heutige Einzugsgebiet des Rheins blau, das der Donau grün dargestellt. Heute findet man mehrere Kleinkrebsarten, die in ihrer Verbreitung, wie etwa *Nitorcella omega*, das voreiszeitliche Rheinsystem, oder wie *Acanthocyclops sensitivus*, das voreiszeitliche Donaueinzugsgebiet widerspiegeln. Nur eine einzige Art, *Graeteriella laisi*, scheint auf das heutige Oberrheingebiet beschränkt zu sein. Grundwassertiere erlauben uns also einen Blick in die lang zurückliegende Naturgeschichte.

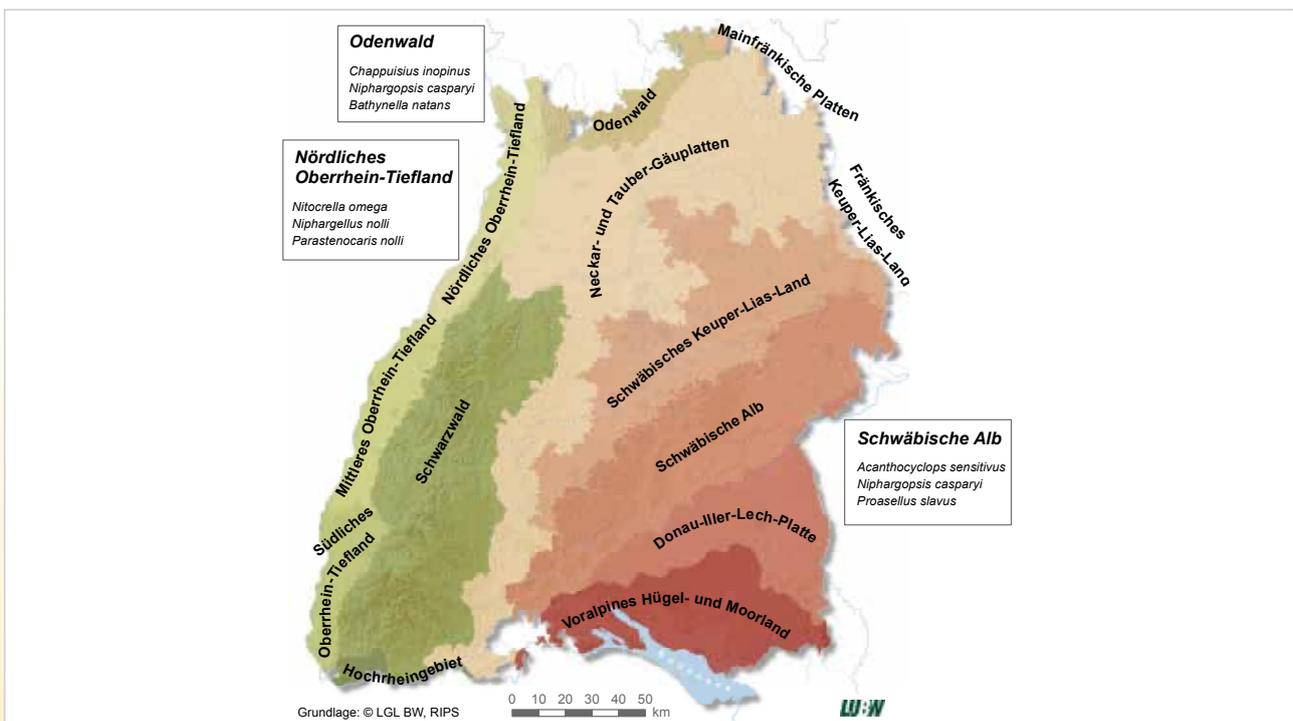
Jede Landschaft hat ihre eigenen Grundwassertiere

Die meisten der 106 Arten werden im gesamten Land gefunden. Viele fehlen jedoch zumindest in einzelnen Regionen, und gerade seltene Arten scheinen oft nur in relativ kleinen Teilräumen zu leben. So lassen sich zwischen den Naturraumgruppen deutliche Unterschiede in der Besiedlung des Grundwassers feststellen, wobei die Übergänge fließend sind. Je weiter zwei Regionen von einander entfernt sind, desto unterschiedlicher ist meist auch deren Artenzusammensetzung.

Die Artengemeinschaften der verschiedenen Naturräume werden vor allem durch die Anteile der unterschiedlichen Grundwasserleitertypen und durch die Hydrographie, also die heutige und voreiszeitliche Flussgebietszugehörigkeit, bestimmt. Das Tiefland des nördlichen Oberrheins ist durch kiesigsandige Porenleiter geprägt. Viele der hier vorkommenden Arten sind in Anpassung an das feinporige Lückensystem sehr klein, wie z. B. der Raupenhüpferling *Parastenocaris nolli*. Auch der Höhlenflohkrebs *Niphargellus nolli*, wie *Nitocrella omega* (Raupenhüpferling) eine typische Art des pliozänen Rheins, ist wesentlich kleiner

als seine Verwandten aus klüftigen oder karstigen Gebieten. In Karstgebieten wie der Schwäbischen Alb mit ihren ausgedehnten Kluft- und Höhlensystemen findet man dagegen häufig größere Tiere, wie etwa den Höhlenflohkrebs *Niphargopsis casparyi* oder die Assel *Proasellus slavus*. Beide Arten sind, genau wie der Hüpferling *Acanthocyclops sensitivus*, Vertreter der voreiszeitlichen, pliozänen Donau.

Eine Sonderstellung nimmt der Odenwald ein. Hier findet man ein äußerst interessantes, reiches und bunt gemischtes Artenspektrum. Dies dürfte allerdings weniger auf die Art der Grundwasserleiter zurückzuführen sein – man findet sowohl Poren- als auch Kluftgrundwasserleiter – sondern eher auf die heutigen und die in der Erdgeschichte wechselnden hydrographischen Verhältnisse. Der Odenwald liegt an der Schnittstelle dreier großer voreiszeitlicher Flussgebiete, nämlich des Rheins, der Donau und der Weser. Der Raupenhüpferling *Chappuisius inopinus*, ein kleiner Hüpferling, ist eine alte Rheinart – die östliche Schwesterart *Chappuisius singeri* kommt im Odenwald auch vor – während *Niphargopsis casparyi* als Art der pliozänen Donau gilt. Der Brunnenkrebs *Bathynella natans* hat sein Hauptverbreitungsgebiet im östlichen Mitteleuropa und ist wohl über eine alte voreiszeitliche Verbindung zwischen Main und Saale aus dem oberen Wesereinzugsgebiet in den Odenwald gelangt.



Typische Arten für einige Naturraumgruppen

Dauermonitoring

Auf der Basis der ersten Erhebungen an 304 Messstellen im Jahr 2002 wurden 2006 landesweit insgesamt 44 repräsentative Messstellen ausgewählt, die seitdem jährlich im Herbst faunistisch untersucht wurden. Die faunistischen Parameter wurden jeweils mit hydrochemischen und mikrobiologischen Daten verglichen. Die Ziele dieses Dauermonitorings sind die Dokumentation von Langzeitdaten, das Erkennen eventueller Trends in der Artenzusammensetzung und -häufigkeit sowie die Erhebung von Ausgangsdaten für zukünftig möglicherweise zu ergreifende Maßnahmen.

Bei den Untersuchungen wurde an den meisten Messstellen weitgehend konstante biotische Verhältnisse festgestellt. Eine Tendenz in Richtung einer Verschlechterung der untersuchten Grundwasserstandorte ließ sich nicht erkennen. Allerdings konnten Messstellen identifiziert werden, die unter „Stress“ durch äußere Einflüsse wie z. B. Infiltration aus Oberflächengewässern, Eindringen von Oberflächenwasser oder Altlasten stehen. Dies äußerte sich in Abweichungen in Artenzahl und -zusammensetzung.

Im Rahmen einer Sonderuntersuchung in den Jahren 2008/09 an dreizehn Baggerseen der Oberrheinebene konnten in einigen wenigen Fällen deutliche Unterschiede in der Grundwasserbesiedlung zwischen ober- und unterstrom festgestellt werden, was auf eine Beeinflussung durch die Freilegung des Grundwassers hindeutet. Dabei wurde auch beobachtet, dass eine allgemeine Regel für die Veränderungen nicht abgeleitet werden kann, sondern die jeweiligen Standortbedingungen zu beachten sind.

Langfristig kann es das Ziel sein, die Grundwasserfauna zur Bewertung der Grundwasserqualität heranzuziehen. Dabei kann die Beobachtung von Veränderungen in einzelnen Messstellen der Anstoß und die Grundlage für weitergehende Erkundungen am jeweiligen Standortbereich sein. Deshalb werden in Baden-Württemberg an etwa 40 Messstellen die Tiere weiterhin beobachtet.

info

Ein neu entdeckter Baden-Württemberger:

„Parabathynella badenwuerttembergensis“ Der Urbürger aus dem Grundwasser

Baden-Württemberg hat einen neu entdeckten „Mitbewohner“. Das Besondere: Er ist nur ein paar Millimeter groß, lebt im Grundwasser und entstammt einer Zeit, die etwa 200 Millionen Jahre zurückliegt. Sein Name: „Parabathynella badenwuerttembergensis“. Bereits im November 2002 spürte Andreas Fuchs vom Institut für Grundwasserökologie (IGÖ) den winzigen Krebs zufällig in einer Grundwassermessstelle im Industriegebiet von Weinstadt auf. Die Suche nach weiteren Exemplaren folgte. Danach ging es ans Forschen. Bei der Untersuchung von Lebewesen im Grundwasser arbeiten die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) eng mit der IGÖ der Universität Koblenz-Landau zusammen.



Die Fakten der Entdeckung: Der Brunnenkrebis besitzt weder Augen noch Pigmente. Zwei „Antennen“ dienen zur Orientierung. Sein Nutzen für den Mensch? Die Tierchen zersetzen zum Beispiel organisches Material, aber auch Schadstoffe und tragen so zur Reinhaltung des Grundwassers bei. Bei Nahrungsarmut können sie sehr lange fasten – ihr Leben läuft dann auf Sparflamme.

Quelle: BADISCHE NEUESTE NACHRICHTEN, Karlsruhe
Autor Christopher Töngi
Ausgabe: Samstag, 23. Februar 2013



Chronik des Grundwassermonitorings

1913 Erste Grundwasserstandsmessstellen im nördlichen Oberrheingraben. Es handelt sich im Wesentlichen um Rammpegel mit einem Durchmesser von 2 Zoll.

1949 Erste Quellschüttungsmessstellen in Nord-Württemberg

1959 Die ersten analogen Pegelschreiber werden im amtlichen Grundwasserstandsmessnetz eingesetzt.

1963 Erste Lysimeteranlagen im Oberrheingraben; die Stationen wurden vornehmlich auf Wasserwerksgelände gebaut.

1975 Montage des ersten digitalen Datensammlers ohne Datenfernübertragung

1981 – 1983 Studie des Engler-Bunte-Instituts (EBI) / Universität Karlsruhe „Vorschlag für ein Programm zur Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit im Land Baden-Württemberg“ im Auftrag des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg

1983 Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) veröffentlicht das „Rahmenkonzept zur Erfassung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit – Grundwasserüberwachungskonzept 1983“.

1983 Erste Sitzung des Beirats „Aufbau und Betrieb eines Grundwasserbeschaffenheitsmessnetzes“; die Wasserwirtschafts- und die Gesundheitsverwaltung, das Geologische Landesamt, der Gemeinde-, Städte-, und Landkreistag, VGW/DWGW und der Landesverband der Chemie und frei Chemische Laboratorien sind vertreten.

17.11.1984 Verabschiedung der Protokollnotiz als Geschäftsgrundlage des Landes mit dem Städtetag und dem Gemeindetag Baden-Württemberg sowie mit dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) und dem Verband der Gas- und Wasserwerke (VGW) über die „Erfassung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit“ (Grundwassermonitoring)



Nr. 91 – Donnerstag, 21. April 1984 – Seite 6

Durch starke Regenfälle Erholung für Grundwasser

Von unserem Redaktionsmitglied
Roswitha Bruder-Pasewald

Karlsruhe/Stuttgart. Die Bilder von der überschwemmten Kölner Altstadt an Weihnachten, von eingeschlossenen Menschen und völlig verschlammten Wohnungen dürften noch in guter



1986 – 1989 Einrichtung von fachlichen Arbeitskreisen zur Erarbeitung der Grundsatzpapiere, die die Erfassung und den Betrieb des Messnetzes regeln sollen; insgesamt 13 technische Regeln erscheinen zwischen Februar 1986 und Mai 1987. Im Jahr 1989 erscheint der zusammenfassende Band „Grundwasserüberwachungsprogramm – Konzept und Grundsatzpapiere“ in der Reihe „Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg“.

1988 Einführung „Kommunikativ-Integriertes-Wasserwirtschaftliches-Informationssystem“ (KIWI) in der Wasserwirtschaftsverwaltung

1988 Orientierende Besuche in Chemischen Laboratorien, um die Vorgehensweise einer Laborauditierung zu eruieren

1988 Präsentation der 1. Version der Grundwasserdatenbank; als Plattform diente das Datenbanksystem ADABAS mit der Abfragesprache NATURAL auf Großrechner mit Arbeitsplatz-Terminals.

1990 Ablösung des alten Dietz-Systems durch eine moderne VAX-Anlage zur Aufbereitung und Ausgabe von Ganglinien „Grundwasserstand“

1990 Einführung der landeseinheitlichen Datenübertragungsschnittstelle „Labordatenübertragungssystem“ (LABDÜS)

1991 Bericht „Ergebnisse der Beprobung 1990“ als erster Band in einer bis heute fortgesetzten, jährlich erscheinenden Reihe

1991 Erste Vor-Ort-Überprüfung von Probennahme mit Terminvereinbarung

1992 Erste flächenhafte Beprobung auf PSM der Stoffklasse Triazine

1992 – 1995 Erstes grenzüberschreitendes Projekt zum Schutz und zur Bewirtschaftung des Grundwassers im Oberrheingraben (Baden-Württemberg, Elsass, Schweiz)

1993 Beginn „Lehrgang I für Probennehmer – Grundkurs für Probennehmer beim Grundwassermessnetz“

1994 Redesign und Integration des Grundwasserteils von KIWI in die GWDB Regelung der Datenzuständigkeiten zwischen LfU und WBÄ

September 1994 Erste Beprobung des kompletten Messnetzes mit nahezu 2000 Messstellen

1995 Entwicklung der Methodenbank ZEUS (Zentrales Umweltkompetenzsystem) beim FAW Ulm

Ab 1995 Präsentation der aktuellen Messwerte aus dem Landesmessnetz „Jahresdatenkatalog“ (JDK) auf CD; später Einstellung in das Internet zum Datenabruf chemisch-physikalischer Messwerte

12.01.1995 Erlass zum Betrieb von Grundwassermessstellen, Führung und Austausch von Grundwasserdaten

01.07.1995 SOBEG = Sonderbehörden-Eingliederungsgesetz: Die Gewässer-
schutzaufgaben der Ämter für Wasserwirtschaft und Bodenschutz gehen auf die Stadt- und Landkreise bzw. die vier neu geschaffenen Gewässerdirektionen über.

27.02.1996 Erlass zur Zusammenarbeit und Aufgabenverteilung im Gewässerkundlichen Dienst (Messwesen und Monitoring)

1996 – 1998 Optimierung des Grundwasserstandsmessnetzes mit Stilllegung von rd. 600 Messstellen

1996 Beginn „Lehrgang II für Probennehmer – Aufbaukurs für Probennehmer beim Grundwassermessnetz“

1999 Erste Untersuchungen auf Arznei- und Röntgenkontrastmitteln an risikobasiert ausgewählten Messstellen

2000 Einführung der Internetseite „Grundwasserstände und Quellschüttung (GuQ)“

2000 Nach vorheriger Machbarkeitsstudie Einführung der neuen in JAVA programmierten Grundwasserdatenbank GWDB in der Wasserwirtschaftsverwaltung

2001 Novellierung der Schutzgebiets- und Ausgleichverordnung SchALVO

2001 Vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) als Zulassungsbehörde für Pflanzenschutzmitteln werden sog. Fundaufklärungen an Messstellen mit erhöhten PSM-Befunden initiiert.

2001 Beginn der Untersuchungen zur Grundwasserfauna in Zusammenarbeit mit der Universität Koblenz/Landau



LUBW
Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Grundwasserschutz 42

Grundwasserüberwachungsprogramm

Ergebnisse der Beprobung 2010

Baden-Württemberg



Neueste Daten belegen schleichende Verunreinigung

„Grundwasser vergift die Sünden nicht“

bad. Z. 88.933

Von unserem Mitarbeiter Wolfgang Stöckh

den vorübergehenden Grundwasserschutz mit einbinden. Die Messergebnisse bestätigen nach Schäfers Ansicht die Landesregierung in der Absicht, den Anteil der Wasserschutzgebiete von heute etwa 16 Prozent der Landesfläche auf etwa 27 Prozent zu erhöhen. Gerade beim Grundwasser gelte der Grundsatz „Vorbeugender Umweltschutz ist besser als Nachsorge“, betonte Schäfer. Grundwasserschutz habe deshalb in Baden-Württemberg oberste Priorität. Inzwischen würden 75 Prozent des Grundwassers im Land aus Grundwasser gewonnen. Dementsprechend wirken sich die Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen auch auf den Bericht des Statistischen Landesamts zur Trinkwasserversorgung gezeigten Quell- und Grundwasservorkommen zu viel Nitrat und Pflanzenschutzmitteln. Allerdings habe die Belastung seit Ende der achtziger Jahre nicht weiter zugenommen. Trotz der Aufbereitung des Trinkwassers würden noch immer 34.000 Menschen mit Trinkwasser versorgt, dessen Nitratgehalt den Grenzwert überschreitet, etwa 200.000 Bürger Baden-Württerbergs verbrauchen Wasser, das mehr Pflanzenschutzmittel enthält als eigentlich zulässig.



STUTTGARTER ZEITUNG
Freitag, 30. August 2013 | Nr. 201

Grundwasser

Nitratbelastung weiter gesunken

Die Nitratbelastung des Grundwassers ist in Baden-Württemberg erneut zurückgegangen. Der seit Jahren zu beobachtende Abwärtstrend habe sich im vergangenen Jahr fortgesetzt, teilten die Ministerien für Umwelt und Verbraucherschutz am Donnerstag gemeinsam in Stuttgart mit. „Der Schwellenwert der Grundwasserverordnung ist allerdings immer noch an jeder zehnten Messstelle überschritten.“ Die höchsten Belastungen liegen laut Jahresbericht 2012 zur Grundwasserüberwachung im Südwesten in der nördlichen und südlichen Oberrheinebene, im Kraichgau.



2002 Export der in Baden-Württemberg erfolgreich eingeführten Grundwasserdatenbank nach Thüringen; dort wird daraus ein Modul für Fließgewässer entwickelt.

2002 Ausschreibung für Probenahme und Analytik erstmals mit EU-weitem Vergabeverfahren (Präqualifikation und Ausschreibung)

2002 – 2006 Grenzüberschreitendes Projekt „Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben (MoNit)“

17.01.2003 Kooperationsvereinbarung mit der Wasserwirtschaft über die Bereitstellung und Auswertung von Rohwasserbeschaffenhheitsdaten zum Vollzug des Grund- und Quellwasserschutzes im Rahmen der Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) vom 28. Februar 2001 (GBl. S145)

2006 Verwendung der Grundwasserdatenbank als Basissystem für das Trinkwasserinformationssystem TrIS der Chemischen Landesuntersuchungsanstalten

2006 Erste Untersuchungen auf nichtrelevante Metaboliten von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen sowie auf per- und polyfluorierte Chemikalien an risikobasiert ausgewählten Messstellen

2009 Erweiterung der Grundwasserdatenbank für den Abfallbereich: Eigenkontrolle der Abfallwirtschaftsbetriebe und Erstellung des jährlichen elektronischen Deponieberichts (GWDB+D)

2012 Die Deklaratorische Liste der SchALVO wird nicht mehr im Gesetzblatt, sondern auf der Homepage der LUBW veröffentlicht.

05.11.2012 Unterzeichnung der grenzüberschreitenden Vereinbarung mit dem Elsass „Länderübergreifende Organisation für Grundwasserschutz am Rhein (LOGAR)“

2013 Erste Untersuchungen auf Süßstoffe und Benzotriazole an risikobasiert ausgewählten Messstellen

22.02.2013 Seminar „Der Brunnenkrebs Parabathynella badenwuerttembergensis – 10 Jahre angewandte Gewässerökologie in Baden-Württemberg“

27. – 28.06.2015 Die LUBW präsentiert das Grundwassermessnetz auf der Ausstellung „Effekte“ im Rahmen des 300. Stadtgeburtstags von Karlsruhe.

Bildnachweis:

S. 1: fotolia; S. 8: istockphoto, fotolia; S. 9: fotolia, shutterstock, fotolia, S. 10: Zweckverband Landeswasserversorgung, photodisc, fotolia;
S. 12 LUBW; S. 13 fotolia, LUBW; S. 14 shutterstock, LUBW, LUBW, LUBW; S. 15: LUBW, fotolia; S. 18 alle fotolia; S. 20 - S. 21 alle fotolia; S
.22: fotolia, LRA Ortenaukreis, fotolia; S. 24 S. - 25: alle fotolia; S. 26: fotolia S. 27: fotolia; S. 28: LUBW, LUBW; S. 29: LUBW; S. 30: LUBW;
S. 31: SOAWeb LLC; S. 35: LUBW; S. 35: LUBW; S. 36 - S. 37: alle LUBW; S. 38 - S. 39: alle LUBW; S. 41: LUBW; LUBW; S. 43: Städtisches
Tiefbauamt Mannheim; LUBW; S. 44 - S. 45: alle LUBW; S. 46: LUBW; S. 47: LUBW; S. 51: alle LUBW; S. 52 - S. 53: alle LUBW; S. 58: H. J. Hahn,
Universität Koblenz-Landau; S. 59: alle LUBW; S. 60: alle A. Fuchs, Universität Koblenz-Landau; S. 63: A. Fuchs, Universität Koblenz-Landau;
S. 64: LUBW, LUBW, LUBW, Badische Neueste Nachrichten 21.04.1994, Labor Alpha, Ulm; S. 66: LUBW, LUBW, Badische Zeitung 08.07.1993;
S. 67: LUBW; LUBW, Stuttgarter Zeitung 30.08.2013; LUBW, LUBW.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung
AQS	Analytische Qualitätssicherung
BG	Bestimmungsgrenze
DfÜ	Datenfernübertragung
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
EBI	Engler-Bunte-Institut
FAKT	Förderprogramm für Agrarumwelt,, Klimaschutz und Tierwohl
GOW	Gesundheitlicher Orientierungswert für Trinkwasser
GuQ	Grundwasserstände und Quellschüttungen
GWDB	Grundwasserdatenbank der Wasserwirtschaftsverwaltung
GWD-WV	Grundwasserdatenbank Wasserversorgung
GWN	Grundwasserneubildung
HWRM-RL	Europäische Hochwassermanagementrichtlinie
KIWI	Kommunikativ integriertes wasserwirtschaftliches Informationssystem
LABDÜS	Labordatenübertragungssystem
LC-MS/MS	Flüssigkeitschromatographie mit Tandem-Massenspektrometrie
LAWA	Bund-/ Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LfU	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1975-2005)
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (ab 2006)
MEKA	Marktentlastungs- und Kulturausgleichsprogramm
MID	Magnetisch induktiver Durchflussmesser
nrM	nichtrelevanter Metabolit
RKM	Röntgenkontrastmittel
SchALVO	Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung
VCI	Verband der Chemischen Industrie e. V.
VEGAS	Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung
VGW	Verband der Gas- und Wasserwerke Baden-Württemberg e.V.
VKU	Verband kommunaler Unternehmen
WAABIS	Informationssystem Wasser, Abfall, Altlasten, Boden
WIBAS	Informationssystem Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz
WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie
ZEUS	Zentrales Umweltkompetenzsystem
Chemische Parameter:	
BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole
CKW	Chlorierte Kohlenwasserstoffe
DMS	N,N-Dimethylsulfamid (Metabolit des Pflanzenschutzmittelwirkstoffs Tolyfluanid)
DTPA	Diethylentriaminpentaessigsäure
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ETBE	Ethyl-tertiär-Butylether
LHKW	Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe
MTBE	Methyl-tertiär-Butylether
NTA	Nitrilotriessigsäure
PAK	Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PFC	Per- und polyfluorierte Chemikalien
PFOA	Perfluoroktanoat
PFOS	Perfluoroktansulfonat
PSM	Pflanzenschutzmittel

