

**Grundwasserdatenbank  
Wasserversorgung**



**30.  
Jahresbericht**

**Sonderbeitrag**

**30 Jahre  
Grundwasserdatenbank Wasserversorgung  
in Baden-Württemberg**

---

Grundwasserdatenbank Wasserversorgung (2022)  
c/o TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Abteilung Wasserversorgung / Sachgebiet Risikomanagement  
Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe  
Tel.-Nr.: 0721 9678-207 / Fax-Nr.: 0721 9678-102

E-Mail: [info@grundwasserdatenbank.de](mailto:info@grundwasserdatenbank.de), Internet: [www.grundwasserdatenbank.de](http://www.grundwasserdatenbank.de)

## **Inhaltsverzeichnis**

|   |          |
|---|----------|
| <b>30 Jahre Grundwasserdatenbank Wasserversorgung</b>   | <b>2</b> |
| <b>Bedeutung und Entwicklungsperspektiven der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung für den Grundwasserschutz</b> | <b>4</b> |
| 1. Einleitung   | 4        |
| 2. Der Regelkreis des Grundwasserschutzes   | 4        |
| 3. Die Emissionsdaten und das Regelkreismodell zum Grundwasserschutz  | 5        |
| 4. Digitalisierung nutzen für den Grundwasserschutz   | 7        |
| 5. Ausblick und to-dos  | 8        |
| <b>Langzeittrends der Grundwasserbeschaffenheit – ausgewählte Beispiele aus dem Grundmessprogramm –</b>           | <b>9</b> |
| 1. Einleitung   | 9        |
| 2. Datenbasis und Methoden  | 9        |
| 2.1 Datenbasis: Parameter und Messnetz  | 9        |
| 2.2 Veränderungsanalyse der Grundwasserbeschaffenheit   | 10       |
| 2.2.1 Überregionale Veränderungsanalyse zweier Zeiträume  | 11       |
| 2.2.2 Statistische Trendanalyse einzelner Messstellen   | 12       |
| 3. Ergebnisse   | 13       |
| 3.1 Baden-württembergweite Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit  | 13       |
| 3.2 Signifikantes Trendverhalten an einzelnen Messstellen   | 17       |
| 3.3 Trendverhalten ausgewählter metallischer Schad- und Spurenstoffe  | 20       |
| 3.4 Trendverhalten ausgewählter weiterer Hauptinhaltsstoffe   | 23       |
| 3.5 Trendverhalten von Tri- und Tetrachlorethen   | 26       |
| 4. Zusammenfassung und Fazit  | 26       |
| 5. Literaturverzeichnis   | 28       |

### 30 Jahre Grundwasserdatenbank Wasserversorgung

Die öffentliche Trinkwasserversorgung ist wesentlicher Kernbestandteil der kommunalen Daseinsvorsorge. Dabei stammt das Trinkwasser in Baden-Württemberg zum überwiegenden Teil aus Grundwasser, das vielerorts naturbelassen oder mit nur einfachen Aufbereitungsverfahren direkt als Trinkwasser verwendet werden kann. Als Mitte der 1980er Jahre der Nitratgrenzwert von 90 auf 50 mg/L abgesenkt und über die Trinkwasserverordnung erstmals auch ein Grenzwert für Pestizide eingeführt wurde, stellte man eine größere Zahl an Grenzwertüberschreitungen fest. Es wurde deutlich, dass es an flächendeckender Information über die wichtigste Trinkwasserressource, das Grundwasser, fehlte. In der Folge entstand das Grundwasserüberwachungsprogramm des Landes, das hierfür weitere Partner suchte. In kommunaler Selbstverwaltung haben sich die kommunalen Spitzenverbände und die Verbände der Wasserwirtschaft der Verantwortung gestellt und die Grundwasserdatenbank Wasserversorgung gegründet. Ziel war, als Kooperationspartner des Landes einen substantiellen Beitrag zum Landesprogramm zu leisten und gleichzeitig ein Kontrollinstrumentarium für die neue Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) bereitzustellen. Damit sollte das Land dabei unterstützt werden, die als Gegenleistung für den „Wasserpfeffig“ versprochene Beseitigung der Nitrat- und Pestizidprobleme im Grundwasser der Wasserschutzgebiete umzusetzen und gleichzeitig betroffene Kommunen aus dem Altlastenfonds zu unterstützen. Bis heute ist dies im Grundwasserbereich die einzige Kooperation auf freiwilliger Basis.

Die Grundwasserdatenbank hat sich beständig weiterentwickelt, auch um Antworten auf neue Problemstellungen zu finden wie beispielsweise die Verbreitung von chemischen Abbauprodukten aus Pflanzenschutzmitteln, Industriechemikalien, Süßstoffen, gesundheitsschädlichen Spurenstoffen und anderen durch den Menschen verursachten Schadstoffeinträgen und viele andere mehr. Substantiell ist auch der Beitrag zum SchALVO-Vollzug. Hier liefert die Grundwasserdatenbank auf freiwilliger Basis die Nitrat- und Pestizidwerte mit einem Erfüllungsgrad von über 95 %. Die Trägerverbände haben damit ihre Zusage gegenüber dem Land eingehalten, denn im Raum stand damals eine verpflichtende Rohwassermessverordnung des Landes. Dem hat die GWD-WV die freiwillige Lösung mit garantiert hoher Beteiligung gegenübergestellt – und geliefert.

Heute ist die Grundwasserdatenbank Wasserversorgung deutschlandweit führend hinsichtlich Beteiligung, Datendichte, Datenbestand und Auswertungsmöglichkeiten. Kein anderes Bundesland hat bessere Informationen über die Rohwasserqualität der öffentlichen Trinkwasserversorgung. Daran wird auch der Mehrwert für die Beteiligten klar: Zum einen werden Trends frühzeitig erkannt; und zum anderen wird das Land bei seiner Aufgabe des Gewässerschutzes konstruktiv und durchaus auch kritisch unterstützt - denn das Versprechen des Landes aus dem Jahr 1988, die Nitrat- und Pestizidprobleme im Grundwasser der Wasserschutzgebiete zu beseitigen, ist noch nicht in allen Wasserschutzgebieten eingelöst. Darüber hinaus erhalten die Wasserversorgungsunternehmen jährlich ausgewertet Informationen zu ihren Rohwasserressourcen, die Qualitätssicherung der Daten ist gewährleistet, und die Wasserschutzberater erhalten Auswertungen zur Grundwasserqualität für ihre Arbeit mit den Landwirten. Ein weiterer Pluspunkt: Die Daten sind transparent: Jeder hat im Internet Zugriff auf die Jahresberichte und die Sonderbeiträge. Die interessierte Bürgerschaft kann nachvollziehen, wie es um die Qualität der wichtigsten Trinkwasserressource in Baden-Württemberg bestellt ist. Diese Datentransparenz fördert die Partizipation der Bürgerschaft und gehört unmittelbar zum kommunalen Selbstverständnis der Bürgernähe.



Dieser Mehrwert rechtfertigt den Aufwand der Trägerverbände und der Wasserversorgungsunternehmen für den Betrieb der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung, denn es geht um die wichtigste Ressource für unser Trinkwasser, das Grundwasser.



Dr. Tobias Bringmann



Gemeindetag  
Baden-Württemberg

Steffen Jäger



Dr. Martin Bernhart



Gudrun Heute-Bluhm



Michael Stäbler



Prof. Dr. Alexis v. Komorowski



# **Bedeutung und Entwicklungsperspektiven der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung für den Grundwasserschutz**

Prof. Dr.-Ing. Frieder Haakh

## **1 Einleitung**

Die öffentliche Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg ist kommunal verankert und garantiert über den dreigliedrigen Verbund aus ortsnaher Wasserversorgung, Gruppenwasserversorgungen und Fernwasserversorgungen ein hohes Maß an Versorgungssicherheit. Basis der ortsnahen Wasserversorgung sind rund 2.300 rechtskräftig festgesetzte Wasserschutzgebiete mit einer Fläche von insgesamt ca. 9.500 km<sup>2</sup>, etwa 26 % der Landesfläche, aber auch Gruppenwasserversorger sowie die Landeswasserversorgung und die Nordost-Württembergische Wasserversorgung gewinnen große Teile ihres Trinkwassers aus dem Grundwasser. Damit ist klar: Dem Schutz der Grundwasservorkommen kommt im Hinblick auf die langfristige Sicherung der öffentlichen Trinkwasserversorgung eine herausragende Bedeutung zu. Aber was bedeutet das für die Praxis? Welche konkreten Verpflichtungen und Handlungen sind aus einer „herausragenden Bedeutung“ abzuleiten, damit es nicht eine abstrakte Worthülse bleibt? An dieser Stelle helfen die Erwägungsgründe der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) weiter. Dort heißt es „Wasser ist keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss!“ Weiterhin fordert die WRRL ein Verschlechterungsverbot und den guten mengenmäßigen und qualitativen Zustand des Grundwassers. Dies wird in der Grundwasser-(Tochter-)Richtlinie weiter konkretisiert.

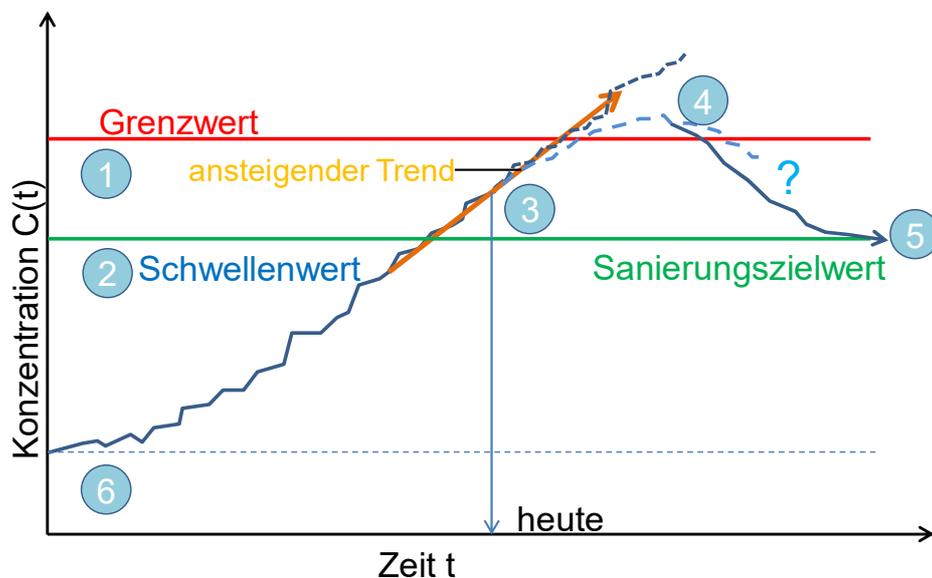
Weiter konkretisiert bedeutet im Hinblick auf die Qualität, dass Qualitätsmerkmale anhand von Konzentrationen wesentlicher Parameter der Rohwasserressourcen mit denen eines weitgehend natürlichen Grundwassers und bestehenden Grenzwerten verglichen werden. Dieser Abgleich von Immissionsdaten ist die Ausgangsbasis, um überhaupt Rückschlüsse auf anthropogene Beeinflussungen treffen zu können. Erst anhand dieser Daten wird klar, vor welchen Emissionen die Grundwasserressourcen zu schützen, vor welchen konkurrierenden Nutzungen sie zu verteidigen und mit welchen Maßnahmen sie zu behandeln sind. Der wirksame Grundwasserschutz erfordert als Eingangsinformation Immissionsdaten, d.h. die Konzentrationswerte im Grundwasser, um überhaupt eine Zustandsbewertung oder Vergleiche durchführen zu können. Kurzum: ohne Monitoring, Datensammeln und Datenanalyse kein Grundwasserschutz! Dies ist der Ansatzpunkt der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung, die seit nunmehr 30 Jahren hier einen maßgeblichen Beitrag leistet.

## **2 Der Regelkreis des Grundwasserschutzes**

Liegen Konzentrationswerte vor, so können diese dann mit Grenzwerten, Gesundheitlichen Orientierungswerten, Leitwerten, sonstigen Standards und den Werten eines anthropogen unbeeinflussten Grundwassers abgeglichen werden. Dies liefert aber zunächst nur Informationen zu einem bestimmten Stichtag. Was aber auch erkannt werden muss, sind sich abzeichnende Veränderungen, also Trends bei Konzentrations-Ganglinien, insbesondere, wenn sich die Grundwasserqualität verschlechtert und eine Grenzwertüberschreitung droht (Abbildung 1). Hier hat die WRRL bzw. die Grundwasserrichtlinie den Mechanismus geschaffen, dass ab 75 % des Normwertes (Grenzwertes) bei gleichzeitig ansteigendem Trend Gegenmaßnahmen zu ergreifen sind. Ist der Grenzwert bereits



überschritten, sind Sanierungsmaßnahmen zwingend erforderlich, um den guten Zustand wieder herzustellen. Denkt man das Konzept von Trendumkehr, Sanierungsgebot und Verschlechterungsverbot zu Ende, so ist auch noch ein Sanierungszielwert zu definieren, was in der WRRL leider versäumt wurde. Anhand dieser Zusammenhänge wird deutlich, dass Immissionsdaten, d.h. Grundwasserbeschaffenheitsdaten, die Grundlage für den Grundwasserschutz bilden. Genau diese Daten flächendeckend, repräsentativ, qualitätsgesichert und zeitlich lückenlos für alle wesentlichen Parameter der Rohwasserentnahmestellen der öffentlichen Trinkwasserversorgung bereitzustellen und zu analysieren, ist Aufgabe der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung.



- |                                   |                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| ① < GW → guter Zustand            | ④ Schwellenwert<br>→ Trend umkehren |
| ② Schwellenwert (z.B. 75% vom GW) | ⑤ Sanierungszielwert                |
| ③ ansteigender Trend              | ⑥ anthropogen unbeeinflusst         |

**Abbildung 1: Grundsätzliche Überlegungen zum Gewässerschutz**

Damit Sanierungsmaßnahmen oder Maßnahmen zur Trendumkehr zielgerichtet wirksam werden, müssen auch die Emissionen bekannt sein. Wenn „zuviel drin ist“, was man als Konzentration messen kann, muss man wissen, wer „zuviel reinschüttet“, d.h. man benötigt den Emissionswert mit Angaben zu Menge, Ort und Zeit, um das „Zuviel“ abzustellen. Daraus folgt, dass Grundwasserschutz ohne Kenntnis der Emissionsdaten nur bedingt erfolgreich sein kann.

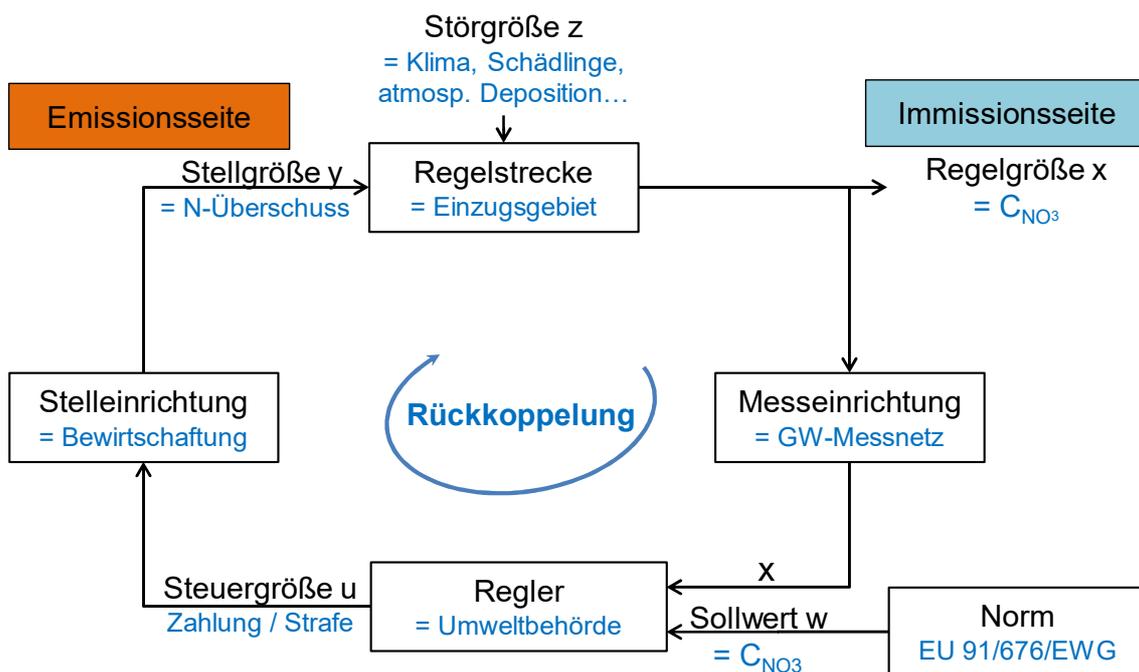
### 3 Die Emissionsdaten und das Regelkreismodell zum Grundwasserschutz

Emissionsdaten sind zeit- und ortsbezogene Daten über die Mengen an Stoffen, die dem Grundwasser zugeführt werden, beispielsweise Stickstoff aus der Düngung, der dann wasserlöslich als Nitrat ins Grundwasser gelangt, Süßstoffe wie Acesulfam, die über undichte Kanäle ins Grundwasser einsickern können, Pestizidrückstände, die nach dem Spritzen der Bestände über den Boden oder durch Windverwehung („Abdrift“) über Oberflächengewässer mit Grundwasserkontakt ins Grundwasser eindringen. Die Transportwege sind vielfältig, manche sind unmittelbar und direkt, manche indirekt und verzögert.



Für den Grundwasserschutz entscheidend ist, dass die Wirkungszusammenhänge zwischen Emissionen und den Konzentrationen im Grundwasser, den Immissionswerten, erkannt und offengelegt werden.

Ein wesentliches Werkzeug des effizienten Gewässerschutzes ist darauf aufbauend ein Regelkreis, bei dem aus zulässigen Immissionswerten auf zulässige Emissionswerte rückgekoppelt wird (siehe Abbildung 2). Daraus folgt ein wichtiger Grundsatz des Gewässerschutzes: „Kein Immissionszielwert ohne Emissionsgrenzwert!“ So entstehen Probleme beim Gewässerschutz immer dann, wenn Immissionsgrenzwerte eingeführt werden, die rechtlich verbindliche Vorgabe eines Emissionsgrenzwertes jedoch fehlt. Das Nitratproblem wäre heute gelöst, wenn es 1985 gelungen wäre, einen Emissionsgrenzwert von 50 kg N/ha und Jahr nach Hoftorbilanz in der Landwirtschaft einzuführen und durchzusetzen.



**Abbildung 2: Regelkreises für den Gewässerschutz am Beispiel Nitrat**

Damit der Regelkreis funktioniert, müssen zunächst belastbare Immissionsdaten aus der „Messeinrichtung“ vorliegen. Die „Messeinrichtung“ ist im konkreten Fall das Messnetz der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung. Die Messwerte werden im Rahmen des Kooperationsbeitrages und der Datenlieferung zum SchALVO-Vollzug an den „Regler“, d.h. das Land bzw. konkret die Landratsämter geliefert. Der „Regler“, d.h. die Wasserwirtschaftsverwaltung muss nun Einfluss auf die Emissionsseite nehmen, damit das Regelkreismodell funktioniert. Dies ist in Baden-Württemberg für die Parameter Nitrat und Pestizide über die SchALVO implementiert. Wenn beispielsweise die Nitratkonzentration 50 mg/L überschreitet, stellt der Regler das Wasserschutzgebiet auf „Sanierungsgebiet“ und über die SchALVO-Gewässerschutzauflagen (Düngebeschränkungen, Begrünungsgebot, Sperrfristen etc.) sollen die Emissionsdaten sinken. Kontrolliert wird dies durch die Nitratstickstoff-Restgehalte am Ende der Vegetationsperiode, die sogenannten  $N_{min}$ -Werte. Dieses Modell war 1988 bei der Einführung innovativ, ist aber in über 30 Jahren nicht weiterentwickelt worden. Die Agrarwissenschaften haben heute effizientere und präzisere Methoden, die Emissionswerte zuverlässig, rechtssicher und justiziabel zu erfassen, beispielsweise über sog. Hoftorbilanzen ganzer Betriebe (gesetzlich geregelt



in der Stoffstrombilanzverordnung StoffBiV) oder die sog. „Feld-Stall-Bilanz“, die jeweils den jährlichen Stickstoffüberschuss in kg N/ha Nutzfläche ausweisen. Damit lässt sich eine Schwäche der  $N_{\min}$ -Werte, die starke Streuung in Abhängigkeit von der Witterung und dem Probenahmezeitpunkt ausblenden. Zudem ist bekannt, dass ein niedriger  $N_{\min}$ -Wert kein Garant für geringe Stickstoffauswaschungen darstellt, denn die Mineralisation und N-Nachlieferung des Bodens über die Grundwasserneubildungsphase können schnell zu Sickerwasserkonzentrationen über dem Grenzwert führen. Dennoch weist die Konzeption der SchALVO mit dem Regelkreisansatz in die richtige Richtung, da es eine Rückkoppelung der Immissionswerte auf zulässige Emissionswerte (über die Wirksamkeitsvermutung der SchALVO-Maßnahmen) herstellt.

#### **4 Digitalisierung nutzen für den Grundwasserschutz**

Digitalisierung ist gegenwärtig das Schlag- und Modewort. Digitalisierung erlaubt es, Daten in sehr großen Mengen zu strukturieren, so dass daraus Information entsteht und aus verknüpfter Information entsteht wiederum Wissen. Auch für die Betreiber der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung stellt sich die Frage, was die Digitalisierung für die weitere Entwicklung bedeutet und wie sie genutzt werden kann. Digitalisierung setzt zunächst die (freie) Verfügbarkeit von Daten voraus. Das Regelkreismodell hat gezeigt, dass erst die Verknüpfung von Immissions- und Emissionsdaten den Gewässerschutz wirksam werden lässt. Genau dieser Prozessschritt ist aber noch nicht digitalisiert. Emissionsdaten aus der Landwirtschaft sind bisher nur über den Klageweg zu bekommen, als gäbe es kein Umweltinformationsgesetz. Dabei muss man sich im Klaren sein, dass dadurch erhebliche Potenziale nicht genutzt werden.

Deshalb lohnt es sich, hier einmal Digitalisierung zu Ende zu denken. Angenommen, es gibt eine landesweite landwirtschaftliche Stickstoffdatenbank, wie sie beispielsweise in Dänemark eingerichtet ist, aus der die Hoftorbilanzen oder die Schlagbilanzen aller Betriebe hervorgehen: Mit diesen Daten könnten dann über die Selektion der Flächen in Wasserschutzgebieten die N-Emissionen in diesem Schutzgebiet weit genauer als bislang ermittelt werden. Weiterhin liegen bodenkundliche und hydrogeologische Daten für alle Flächen in Baden-Württemberg vor, sodass mit Hilfe von meteorologischen Daten für jeden Betrieb ermittelt werden kann, ob er mit seinen N-Überschüssen die Vorgabe der EU-Nitratrichtlinie einhält, d.h. dass im Sickerwasser seiner Flächen nirgendwo 50 mg/L überschritten werden. Dies entspricht der grundsätzlichen Anforderung der EU-Nitratrichtlinie und wenn flächendeckend maximal 50 mg/L Nitrat im Sickerwasser eingehalten werden, gibt es auch in Wasserschutzgebieten kein Problem mehr und die mühselige Differenzierung zwischen Flächen innerhalb und außerhalb von Wasserschutzgebieten entfällt. In Dänemark wurde daraus dann sogar eine Stickstoffkontingentierung abgeleitet für Betriebe mit zu hohen N-Überschüssen. Diese erhalten für das Folgejahr niedrigere Stickstoffkontingente für den Düngereinkauf im Landhandel.

Damit wird der Regelkreis unmittelbar geschlossen. Integral ließen sich damit im Abgleich mit den Immissionswerten (im Beispiel die Nitratkonzentration im Grundwasser) auch WSG-spezifische Emissionszielwerte bestimmen. Die Grundwasserdatenbank könnte damit als weiterhin selbstständiges Modul eingebunden werden in ein größeres „Digitales Gesamtsystem Grundwasserschutz Baden-Württemberg“. Voraussetzung ist Transparenz bei den Emissionsdaten und ein zügiges Umsetzen der Digitalisierung in Landwirtschaft sowie der Landwirtschafts- und Wasserwirtschaftsverwaltung und der damit verbundene Mut, dass dadurch auch Missstände aufgedeckt werden, aber auch grundwasserverträgliches Wirtschaften vieler Betriebe transparent wird. Dieses Modell



müsste auch auf die Pestizidmengen und –wirkstoffe, organische Spurenstoffe usw. ausgeweitet werden und die Wasserversorgungsunternehmen beim Risikomanagement der Einzugsgebiete, das jetzt von der EU-Trinkwasserrichtlinie gefordert wird, unterstützen. Und: Ohne eine Emissionsdatenbank fehlt auch die Wirksamkeitskontrolle und Transparenz für das landesweite Pflanzenschutzmittelreduktionsprogramm.

## 5 Ausblick und to-dos

Die Grundwasserdatenbank ist nach 30 Jahren ein ausgereiftes Modul zur qualitätsgesicherten flächendeckenden Bereitstellung von Grundwasserbeschaffungsdaten (Immissionsdaten) der Rohwasserentnahmestellen in Baden-Württemberg. Allerdings werden die Möglichkeiten der Datenverknüpfung gegenwärtig nur immissionsseitig durch den Datentransfer an die LUBW und die Landratsämter genutzt.

Denkt man die Digitalisierung und das für den Grundwasserschutz essentielle Regelkreismodell weiter, so ist der Aufbau einer Stickstoff-Datenbank durch die Landwirtschaft und die Landwirtschaftsverwaltung ein logischer, ja zwangsläufiger Schritt, um die Vorteile und Effizienzen der Digitalisierung zu nutzen. Das  $N_{\min}$ -Modell der SchALVO ist nach 40 Jahren überholt, die N-Bilanzierung auf Betriebsebene in der Landwirtschaft ist längst Stand der Technik, viele moderne Betriebe haben längst eine elektronische Buchführung, aus der auch die Stickstoffströme und Pestizidmengen hervorgehen. Im Zeitalter der Digitalisierung diese Emissionsdaten mit den Immissionsdaten zu verknüpfen und transparent darzustellen, sollte selbstverständlich sein.

In Zukunft sollte auch für jedes Wasserschutzgebiet nicht nur eine Nitratganglinie und die Befundlage bei Pestiziden transparent sein, sondern auch eine Emissionsganglinie und eine Übersicht über die Pestizidanwendungen, Spurenstoffemissionen (z.B. Tierarzneimittel) usw.

Liegen diese Daten vor, so kann der Regelkreis des Grundwasserschutzes wirkungsvoll geschlossen werden. Die verbliebenen rund 60 Nitrat-Sanierungsgebiete lassen sich sanieren, wenn Transparenz bei den Emissionen vorliegt und die Emissionen dann auf ein grundwasserverträgliches Maß gesenkt werden. Anstiege bei Pestizid- oder Nitratwerten könnten noch besser durch frühzeitiges und direktes Gegensteuern auf der Emissionsseite vermieden werden. Dies sollte auch bei einer Novellierung der SchALVO und allen Überlegungen zu einer Modifizierung der Düngeverordnung bedacht werden. Die Zukunft ist ein „Digitales Gesamtsystem Grundwasserschutz Baden-Württemberg“. Die Grundwasserdatenbank ist bereit, hier einen substantiellen Beitrag für einen noch besseren Schutz der 2.300 Wasserschutzgebiete in Baden-Württemberg zu leisten.



# Langzeittrends der Grundwasserbeschaffenheit

## - ausgewählte Beispiele aus dem Grundmessprogramm -

Julia Bauer, Thilo Fischer, Rabea Muhrez, Sebastian Sturm

### 1 Einleitung

Die Kernaufgabe der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung (GWD-WV) liegt in der baden-württembergweiten Überwachung und Bewertung der zur Trinkwassergewinnung genutzten Grundwasservorkommen. Seit inzwischen 30 Jahren werden durch die GWD-WV qualitative Grundwasserdaten aus verschiedenen Mess- und Monitoring-Programmen der Wasserversorgungsunternehmen im Land systematisch erfasst und zu unterschiedlichen Fragestellungen ausgewertet.

Der Erhalt bzw. das Wiederherstellen des guten chemischen Zustands des Grundwassers ist auf europäischer Ebene durch die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) und national durch die Grundwasserverordnung (GrwV 2010) geregelt. In Baden-Württemberg erfolgt die Erfassung der Gehalte an Nitrat sowie Pflanzenschutzmitteln durch die Wasserversorger u.a. im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung mit dem Land Baden-Württemberg zum Vollzug der Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung (SchALVO 2001). Die Analysen aus dem Grundmessprogramm (GMP) dienen hingegen der allgemeinen Beurteilung der Beschaffenheit der als Rohwasser für die Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg genutzten Grundwässer. Im GMP werden dazu wichtige physikalische Kennwerte, anorganische Hauptinhaltsstoffe, organische Summenparameter sowie ausgewählte Spurenstoffe jährlich bzw. im Falle der Parameter des erweiterten Grundmessprogramms alle drei Jahre erfasst. Aus den seit Gründung der GWD-WV vergangenen 30 Jahren stehen insgesamt Daten aus dem Grundmessprogramm von über 100.000 Analysen zur Verfügung.

Dieser Datenschatz wurde vielfach nach unterschiedlichen aktuellen Fragestellungen ausgewertet, etwa bezüglich der punktuellen Belastung der Grundwässer oder nach räumlichen Mustern verschiedenster Parameter (Sturm und Kiefer 2010; Kiefer und Fischer 2012; Kiefer und Fischer 2013; Fischer et al. 2019). Die inzwischen breite Datengrundlage erlaubt nun auch zuverlässige Aussagen zu längerfristigen Veränderungen der Grundwasserqualität mit statistischer Signifikanz. Die Ermittlung vorliegender Belastungstrends oder langfristiger Verbesserungen der Grundwasserbeschaffenheit sind daher die Ziele dieses Sonderbetrags.

### 2 Datenbasis und Methoden

#### 2.1 Datenbasis: Parameter und Messnetz

Das Grundmessprogramm enthält verschiedene Parameter zur allgemeinen Beurteilung der Grundwasserqualität. Die Auswahl der Parameter blieb dabei während des 30-jährigen Betriebs der GWD-WV nicht konstant. Der ab 1992 gültige Parameterumfang wurde in der Ersten Kooperationsvereinbarung 1986 (Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg 1989) festgelegt und gliederte sich in ein Grund- und ein Zusatzmessprogramm (GMP und ZMP). Die Parameter des GMP und ZMP wurden mindestens jährlich gemessen, die Anzahl der Messstellen (MST), an denen Daten erhoben wurden, sank jedoch im Zusammenhang mit der Novellierung der SchALVO um 2001 deutlich, da ab dann die Untersuchungen auf Nitrat und die PSM-Monitoringprogramme prioritär bei den Untersuchungen berücksichtigt wurden. Im Jahr 2009 wurden die Programme schließlich in



Abstimmung zwischen dem Land Baden-Württemberg und den kommunalen Landesverbänden sowie den Wasserfachverbänden überarbeitet und der Messumfang dadurch deutlich reduziert. Das Grundmessprogramm besteht derzeit aus einem Satz von jährlich gemessenen Parametern (GMP) und einem Parametersatz, der als erweitertes Grundmessprogramm nur alle drei Jahre gemessen wird (eGMP) (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2). Diese Kombination aus GMP und eGMP sollte eine ausreichende Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit bei gleichzeitiger Reduktion der Kosten für die Wasserversorgungsunternehmen gewährleisten.

In der GWD-WV liegen aus den beschriebenen Grundmessprogrammen aus dem Zeitraum 1992 bis 2021 Daten an über 3.000 Messstellen vor. Die Messstellen sind dabei nicht gleichmäßig über Baden-Württemberg verteilt: eine hohe Messstellendichte liegt in Bereichen vor, die hohe nutzbare Grundwasservorkommen, eine hohe Besiedlung oder hydrogeologisch bedingt viele Quellaustritte aufweisen. In Wassermangelgebieten, wie etwa dem Karst der schwäbischen Alb hingegen, ist die Messnetzdicke gering (ausführliche Beschreibung des Messnetzes siehe Sturm und Kiefer (2010)). Insgesamt liegen aus den Grundmessprogrammen GMP und eGMP über 500.000 Einzelwerte der 27 Parameter vor.

## **2.2 Veränderungsanalyse der Grundwasserbeschaffenheit**

Zur Analyse vorliegender Verschlechterungen oder langfristiger Verbesserungen der Grundwasserbeschaffenheit wurden die Daten des GMP und eGMP mittels verschiedener Methoden ausgewertet, die eine Beschreibung überregionaler Veränderungen und lokaler Trends einzelner Messstellen ermöglichen (Abbildung 1). Für die überregionale Veränderungsanalyse wurden zunächst die gesamten Daten der ersten und dritten Dekade (1992 – 2001 und 2012 – 2021) über eine Auswertung der Verteilungsfunktion je Parameter an konsistenten Messstellen (d.h. es liegen für beide Zeiträume Messwerte vor) miteinander verglichen (Methodenbeschreibung siehe 2.2.1). Für die Veränderungsanalyse wurden zudem für die Daten der selben Zeiträume je Parameter die Zehnjahresmediane für die konsistenten Messstellen ermittelt (Methodenbeschreibung siehe 2.2.1). Zur Analyse des Trendverhaltens je Parameter an einzelnen Messstellen mit erhöhter Belastung wurde ergänzend für den gesamten Zeitraum 1992 – 2021 eine statistische Trendberechnung durchgeführt. Hierbei wurden nur die Messstellen betrachtet, an denen in der Vergangenheit die Hälfte der Schwellen- bzw. Grenzwerte überschritten worden war (Methodenbeschreibung siehe 2.2.2).





**Abbildung 1: Überblick über die angewendeten Methoden zur überregionalen Veränderungsanalyse sowie der Trendanalyse einzelner Messstellen (MST) mit erhöhter Belastung.**

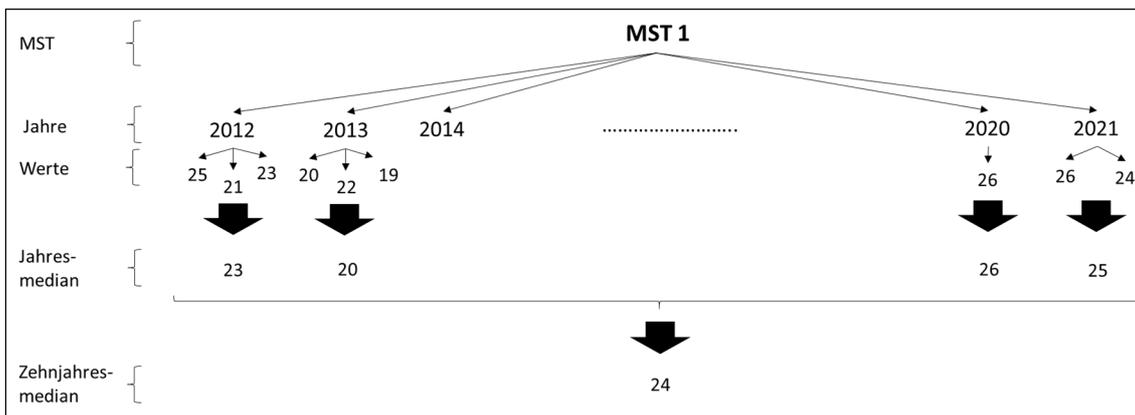
### **2.2.1 Überregionale Veränderungsanalyse zweier Zeiträume (1. und 3. Dekade) über die empirische kumulative Verteilungsfunktion und den Vergleich der Zehnjahres-Mediankonzentrationen an konsistenten Messstellen**

#### Berechnung der empirischen kumulativen Verteilungsfunktion (ECDF)

Zur Identifikation baden-württembergweiter langfristiger Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit wurden die GMP und eGMP-Daten zweier Zeiträume (1. Dekade: 1992 – 2001 sowie 3. Dekade: 2012 – 2021) je Parameter über die Methode der empirischen kumulativen Verteilungsfunktion (Empirical Cumulative Distribution Funktion – ECDF) für konsistente Messstellen dargestellt. Hierfür wurden aus den Daten je Messstelle und je Parameter zunächst Jahresmediane und auf deren Basis Mediane für den jeweiligen Zehnjahreszeitraum berechnet (vgl. Abbildung 2). Zur Darstellung der Verteilungsfunktion wurden diese Zehnjahresmediane für alle konsistenten Messstellen mit ihrer kumulierten relativen Häufigkeit graphisch abgebildet.

Messwerte einzelner Parameter unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden für die Medianberechnungen mit dem Wert der halben Bestimmungsgrenze berücksichtigt.





**Abbildung 2: Beispiel für die Berechnung des Zehnjahresmedians für einen Beispielparame- ter an einer fiktive Messstelle (MST 1) mit fiktiven Werten.**

### Berechnung der Zehnjahres-Mediankonzentrationen aller Messstellen

Für den Vergleich der Zehnjahres-Mediankonzentrationen eines ausgewählten Parame- ters für die beiden Zeiträume 1992 – 2001 und 2012 – 2021 wurden aus den Zehnjah- resmediane des betrachteten Parameters der einzelnen Messstellen Zehnjahresmedi- ane über alle Messstellen berechnet.

## 2.2.2 Statistische Trendanalyse einzelner Messstellen

### Datenauswahl und Datenvorbehandlung

Zur Ermittlung eines statistisch signifikanten zeitlichen Trends je Messstelle wurden die unterschiedlichen Qualitätsparameter der aktuellen Grundmessprogramme einer linea- ren Regressionsanalyse nach dem Gauß'schen Prinzip kombiniert mit einem Ausreißer- test unterzogen (analog GrwV Anlage 6). Dies erforderte eine Vorauswahl und Vorbe- handlung der vorliegenden Daten.

In einem ersten Schritt wurde für jeden Parameter an jeder Messstelle ein Ausreißertest durchgeführt, damit das Ergebnis des Tests auf signifikantes Trendverhalten nicht ver- zerrt wird. Für diesen Sonderbeitrag wurde dafür ein Ausreißertest nach Grubbs (1950) durchgeführt. Die zugrundeliegende notwendige Normalverteilung der Datenbasis wurde mittels der Methode nach Shapiro Wilk (1965) ermittelt. Als zusätzliches Mindestkrite- rium wurden die Daten je Parameter einer Messstelle dann verworfen, wenn nach der Ausreißerelimination nicht mehr ausreichend Daten für weitere Berechnungen zur Ver- fügung standen. Eine Mindestzahl von 6 Jahresmedianen stellte sich in Probeläufen als adäquates Mittel zwischen Verlässlichkeit der Auswertung und Verlust an auswertbaren Daten heraus (limitierender Faktor ist die Anzahl der verfügbaren Messpunkte je Para- meter und Messstelle bei einem 3-jährigen Messprogramm über den betrachteten Zeit- raum (30 Jahre bzw. mindestens 2005 – 2018)).

Grundsätzlich wurde für alle Parameter der gesamte Zeitraum von 1992 bis 2021 aus- gewertet, sofern ausreichend Daten vorlagen. Als Mindestkriterium zur Gewährleistung der zeitlichen Kontinuität wurden aus dem Datensatz ausschließlich Daten von Mess- stellen verwendet, für die Werte für einen ausreichend langen Zeitraum vorlagen (min- destens 2005 bis 2018). Für Messstellen, an denen mehr als ein Messergebnis pro Jahr



vorlag wurden zudem Jahresmediane für die Analyse berechnet und verwendet. Messwerte einzelner Parameter unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden mit dem Wert der halben Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

#### Einschränkung der Trendauswertung auf höher belastete Messstellen

Für die Trendauswertung wurden zudem lediglich diejenigen Messstellen ausgewählt, die aufgrund einer erhöhten Belastung durch den betrachteten Parameter von wasserwirtschaftlicher Relevanz sind. Die Relevanz wurde verknüpft mit dem Überschreiten von 50 % des für den Parameter gültigen Schwellen- bzw. Grenzwerts durch den Maximalwert an der betrachteten Messstelle. Die verwendeten Werte ergeben sich aus a) den Schwellenwerten nach Grundwasser-Verordnung 2010 bzw. b) den Grenzwerten gemäß Trinkwasser-Verordnung 2001. Dieses Vorgehen ist angelehnt an das Gebot zur Trendumkehr nach WRRL, das mit einer 75 %-Schwelle bzw. 50 %-Schwelle (z.B. bei hoher Empfindlichkeit der Grundwasserleiter) verknüpft ist.

#### Trendanalyse und statistische Signifikanz

Zur Trendberechnung wurde der vorselektierte und vorbehandelte Datensatz mittels einer einfachen linearen Regressionsanalyse nach dem Gauß'schen Prinzip (Minimierung der Abweichungsquadrate) analysiert. Die geschätzte Regressionsfunktion wurde anschließend mittels zweiseitigem t-Test auf statistische Signifikanz getestet. Die zugrundeliegende Nullhypothese („die Steigung der Regressionsgerade ist Null“) wird abgelehnt, wenn das Signifikanzniveau  $\alpha$  einen Wert von 0,05 (5 %) überschreitet.

### **3 Ergebnisse**

#### **3.1 Baden-württembergweite Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit**

Die Analyse der Verteilungsfunktion nach ECFD-Methode konnte je nach Parameter für etwa 280 bis 950 Messstellen durchgeführt werden (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2). Eine Verschiebung der Linie der Verteilungsfunktion zwischen den beiden Dekaden hin zu niedrigeren Konzentrationen und damit verbunden eine Verringerung der Zehnjahres-Mediankonzentrationen zeigte sich beispielsweise deutlich für den Parameter Nitrat. Der Zehnjahresmedian über alle Messstellen für Nitrat war in der dritten Dekade 2012 – 2021 um 2 mg/L niedriger als in der ersten Dekade 1992 – 2001 (Tabelle 2). In der ersten Dekade lagen die Messwerte noch an rund 93 % der Messstellen unter dem Schwellen- bzw. Grenzwert von 50 mg/L und wurden somit an etwa 7 % der Messstellen überschritten. In der letzten Dekade hingegen wurde der Schwellen- bzw. Grenzwert nur noch an 3 % der Messstellen überschritten (Abbildung 3).

Eine analoge Verschiebung der Verteilungsfunktion verbunden mit einer Verringerung des Zehnjahresmedians über alle Messstellen ergab sich auch für die Parameter Aluminium, Bor, Phosphat, Sauerstoff, Sulfat, sowie die elektrische Leitfähigkeit (Tabelle 1 und Tabelle 2, vgl. auch digitaler Anhang <sup>1</sup>). Während diese Verschiebung bei Nitrat hin zu niedrigeren Werten auch Werte betrifft, die mindestens 50 % der Schwellen- bzw. Grenzwerte aus der GrwV bzw. TrinkwV überschreiten, traten die Abnahmen der Werte der anderen Parameter in niedrigeren Konzentrations-Bereichen auf oder es existieren keine Schwellen-/ Grenzwerte für die entsprechenden Parameter.

---

<sup>1</sup> Der digitale Anhang befindet sich auf [www.grundwasserdatenbank.de](http://www.grundwasserdatenbank.de).



Eine Verschiebung der Verteilungsfunktion hin zu höheren Werte und damit verbunden eine Erhöhung der Zehnjahresmediane zwischen den beiden Dekaden zeigte sich hingegen für die Parameter Natrium und Chlorid in Konzentrationsbereichen weit unterhalb der Schwellen- bzw. Grenzwerte (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2 sowie digitaler Anhang). Gleiches gilt für die Säurekapazität  $kS_{4,3}$  (vgl. Tabelle 2 sowie digitaler Anhang). Zudem zeigte sich für das Rohwasser eine generelle Verschiebung der Verteilungsfunktion hin zu höheren Temperaturen (Abbildung 4). Der Zehnjahresmedian der Rohwassertemperatur erhöhte sich dabei im Zeitraum 2012 – 2021 um 0,5 °C im Vergleich zum Zeitraum 1992 – 2001 (Tabelle 1).

Keine auffälligen Veränderungen der kumulativen Verteilungsfunktion sowie der Zehnjahresmediane der beiden Zeiträume 1992 – 2001 sowie 2012 - 2021 ergab sich für die Metalle Arsen und Quecksilber, für Eisen und Mangan sowie die (Erd-) Alkalimetalle Calcium, Kalium und Magnesium. Ebenso zeigten sich für die Stickstoffverbindungen Ammonium und Nitrit sowie den pH-Wert<sup>2</sup> keine auffälligen Veränderungen (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2 sowie digitaler Anhang; für Calcium zusätzlich Abbildung 5).

Keine Änderungen im Zehnjahresmedian, also bei den Konzentrationen, die 50 % der Messwerte unterschreiten, gab es zudem bei Blei, Cadmium und der Summe von Tri- und Tetrachlorethen (Tabelle 1 und Tabelle 2). Bei diesen Parametern kam es im oberen Konzentrationsbereich jedoch zu einer Verschiebung der Verteilungsfunktion hin zu niedrigeren Konzentrationen (vgl. digitaler Anhang).

Die Daten von TOC (gesamter organischer Kohlenstoff) sowie Uran konnten aufgrund der geringen Anzahl an konsistenten Messstellen nicht ausgewertet werden.

**Tabelle 1: Ergebnisse der überregionalen ECDF-Auswertung für die Parameter des aktuellen jährlichen Grundmessprogramms der GWD-WV. Anzahl der konsistenten Messstellen (MST), Zehnjahresmediane der konsistenten Messstellen für die erste und dritte Dekade (1992 – 2001 und 2012 - 2021) sowie vorliegender Trend.**

| Parameter                 | Anzahl konsistente MST | Median 1992 - 2001 | Median 2012 – 2021 | Einheit | Trend   |
|---------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|---------|---------|
| Aluminium                 | 281                    | 0,007              | 0,003              | mg/L    | Abnahme |
| Ammonium                  | 595                    | 0,005              | 0,005              | mg/L    | -       |
| Chlorid                   | 593                    | 17,2               | 18,1               | mg/L    | Zunahme |
| Eisen                     | 586                    | 0,006              | 0,005              | mg/L    | -       |
| Elektrische Leitfähigkeit | 632                    | 67,0               | 62,1               | mS/m    | Abnahme |
| Mangan                    | 586                    | 0,003              | 0,003              | mg/L    | -       |
| Nitrat                    | 952                    | 19,1               | 17,1               | mg/L    | Abnahme |
| pH-Wert                   | 634                    | 7,3                | 7,3                | -       | -       |
| Sauerstoff                | 533                    | 7,70               | 7,50               | mg/L    | Abnahme |
| Sulfat                    | 593                    | 30,0               | 27,5               | mg/L    | Abnahme |
| Temperatur                | 660                    | 10,5               | 11,0               | °C      | Zunahme |
| Tri + Tetrachlorethen     | 542                    | 0,0001             | 0,0001             | mg/L    | -       |

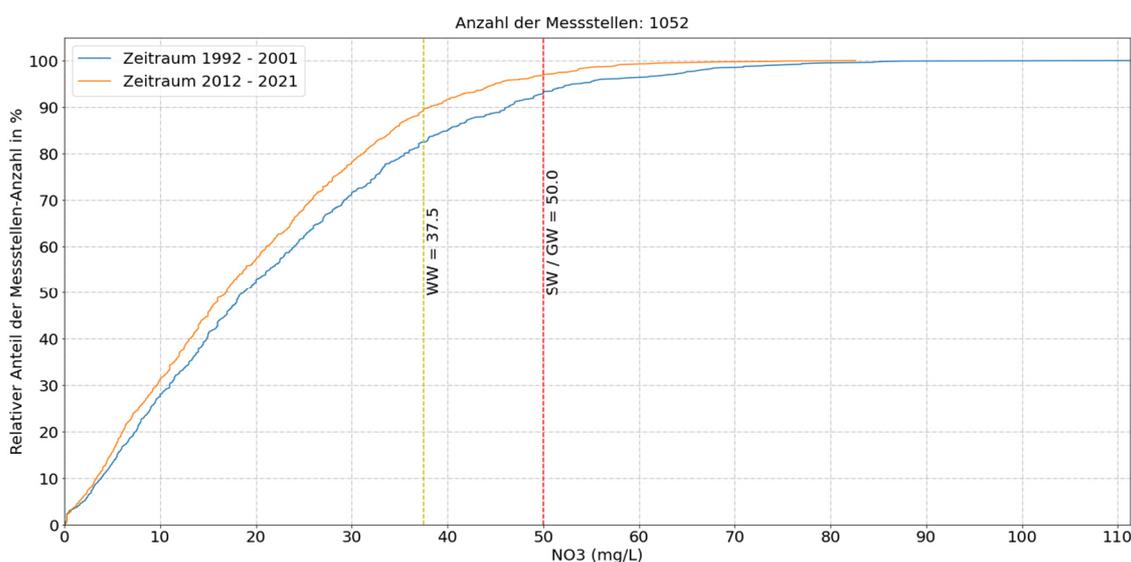
<sup>2</sup> An sauren Messstellen mit pH-Werten < 7 zeigte eine Detailbetrachtung, dass an diesen MST eine leichte Versauerung im betrachteten Zeitraum auftrat (vgl. digitaler Anhang).



**Tabelle 2:** Ergebnisse der überregionalen ECDF-Auswertung für die Parameter des aktuellen 3-jährlichen erweiterten Grundmessprogramms der GWD-WV. Anzahl der konsistenten Messstellen (MST), Zehnjahresmediane der konsistenten Messstellen für die erste und dritte Dekade (1992 – 2001 und 2012 – 2021) sowie vorliegender Trend.

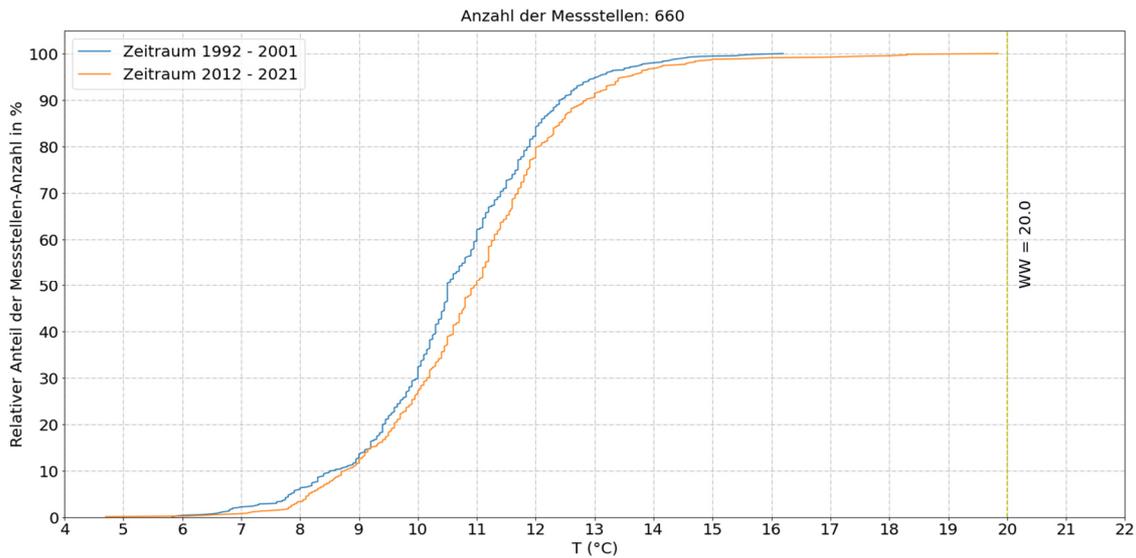
| Parameter                           | Anzahl konsistente MST | Median 1992 - 2001 | Median 2012 - 2021 | Einheit | Trend   |
|-------------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|---------|---------|
| Arsen                               | 503                    | 0,0005             | 0,0005             | mg/L    | -       |
| Blei                                | 501                    | 0,0005             | 0,0005             | mg/L    | -       |
| Bor                                 | 520                    | 0,015              | 0,012              | mg/L    | Abnahme |
| Cadmium                             | 497                    | 0,00005            | 0,00005            | mg/L    | -       |
| Calcium                             | 585                    | 106,5              | 108,0              | mg/L    | -       |
| Kalium                              | 577                    | 1,4                | 1,4                | mg/L    | -       |
| Magnesium                           | 585                    | 19,0               | 19,0               | mg/L    | -       |
| Natrium                             | 579                    | 6,3                | 7,5                | mg/L    | Zunahme |
| Nitrit                              | 530                    | 0,005              | 0,005              | mg/L    | -       |
| Ortho-Phosphat                      | 524                    | 0,041              | 0,035              | mg/L    | Abnahme |
| Quecksilber                         | 501                    | 0,00005            | 0,00005            | mg/L    | -       |
| Säurekapazität (k <sub>s</sub> 4,3) | 572                    | 5,5                | 5,7                | mmol/L  | Zunahme |
| TOC                                 | 16                     | *                  | *                  | mg/L    | *       |
| Uran                                | 0                      | *                  | *                  | mg/L    | *       |

\* zu wenig Daten für eine aussagekräftige Auswertung

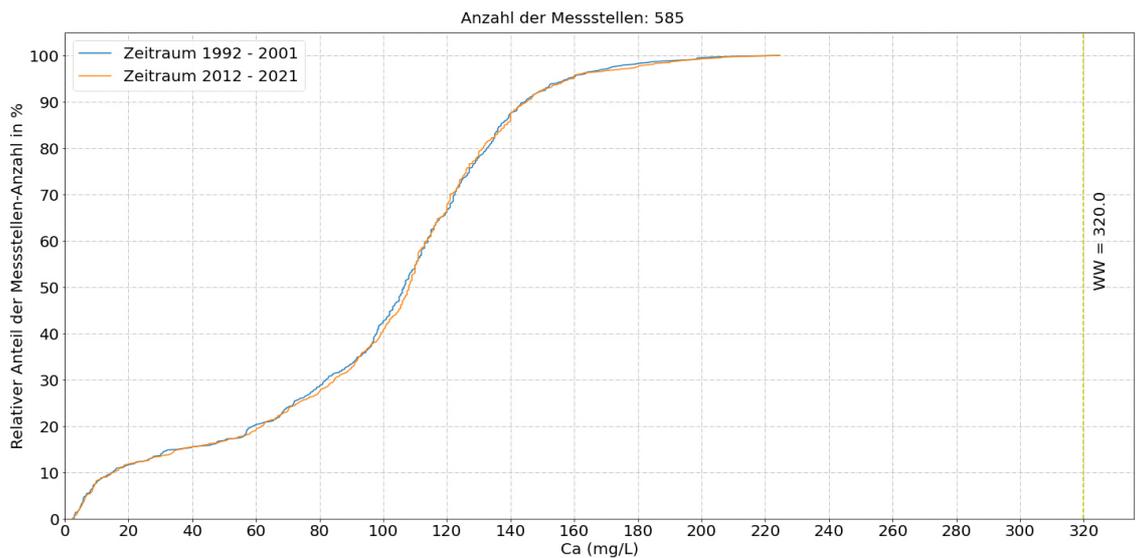


**Abbildung 3:** Empirische kumulative Verteilungsfunktion für den Parameter Nitrat als Beispiel für eine landesweite Verbesserung der chemischen Grundwasserbeschaffenheit im Vergleich der Zeiträume 1992 – 2001 und 2012 – 2021. Die senkrechte rote Linie gibt den Schwellenwert nach Grundwasserverordnung bzw. den Grenzwert nach Trinkwasserverordnung wieder, die senkrechte gelbe Linie den Warnwert.





**Abbildung 4:** Empirische kumulative Verteilungsfunktion für den Parameter Temperatur als Beispiel für eine landesweite physikalische Verschlechterung im Vergleich der Zeiträume 1992 – 2001 und 2012 – 2021. Die senkrechte gelbe Linie gibt den Warnwert wieder.



**Abbildung 5:** Empirische kumulative Verteilungsfunktion für den Parameter Calcium als Beispiel für eine landesweite unveränderte Grundwasserbeschaffenheit im Vergleich der Zeiträume 1992 – 2001 und 2012 – 2021. Die senkrechte gelbe Linie gibt den Warnwert wieder.



### 3.2 Signifikantes Trendverhalten an einzelnen Messstellen

Die statistische Trendanalyse basiert auf einer breiten Datengrundlage von rund 1350 bis über 1750 Messstellen für die verschiedenen GMP- bzw. eGMP-Parameter (Tabelle 3 und Tabelle 4). Die höchste Anzahl an Daten steht für Nitrat zur Verfügung, hierfür liegen an ca. 3150 Messstellen Werte vor. Die Anzahl der auswertbaren Messstellen je Parameter und Jahr schwankt dabei zum Teil deutlich über die gesamte betrachtete Dauer zwischen 1992 und 2021 aufgrund der dann jeweils geforderten Parameterumfänge in den unterschiedlichen Grundmessprogrammen. Bei Chlorid als Beispiel für einen Parameter aus dem jährlichen GMP-Programm ist deutlich der Einbruch der Anzahl der beprobten – und somit auswertbaren – Messstellen im Zuge der Novellierung der SchALVO und vor Einführung des eGMP erkennbar (Abbildung 6). Bei Arsen als Beispiel für einen eGMP-Parameter wird zudem die Auswirkung des 3-jährigen Messzyklus auf die Datenverfügbarkeit deutlich (Abbildung 6).

Die Maßgabe einer zeitlichen Kontinuität je Messstelle reduzierte die auswertbare Messstellen-Anzahl etwa auf die Hälfte für Nitrat und für die weiteren Parameter teilweise erheblich auf ca. 390 bis 730 Messstellen (Tabelle 1 und Tabelle 2). Für Uran standen nur an fünf Messstellen ausreichend Daten zur Verfügung, da Uran erst im Jahr 2012 zum ersten Mal im Rahmen des erweiterten Grundmessprogramms gemessen wurde (Einführung des Grenzwertes für Uran in der Trinkwasserverordnung ab 2011).

Zu deutlichen Überschreitungen von 50 % des Schwellen- bzw. Grenzwertes kam es an über 950 Messstellen für Nitrat, an etwa 170 Messstellen bei Eisen, an knapp 100 Messstellen bei Mangan und Sulfat und ca. 50 Messstellen bei Ortho-Phosphat. Für alle weiteren Parameter kam es im betrachteten Zeitraum nur an vereinzelt Messstellen zu Überschreitungen von 50 % der Schwellen- bzw. Grenzwerte, für Nitrit, Quecksilber und Uran sogar an keiner der Messstellen (Tabelle 3 und Tabelle 4).

Das Ergebnis der Trendauswertung ist in Abbildung 7 beispielhaft für den Parameter Chlorid dargestellt: für vier der sechs Messstellen, die die Maßgabe der zeitlichen Kontinuität erfüllen (min. 2005 – 2018) und an denen zudem eine erhöhte Belastung (Maximalwert überschreitet den Schwellen- bzw. Grenzwert von Chlorid) vorliegt, wurde ein signifikanter Trend berechnet (drei Messstellen mit steigendem und eine Messstelle mit fallendem Trend). Damit liegt bei rund 0,6 % der Messstellen mit Zeitkriterium ein signifikanter Trend mit wasserwirtschaftlicher Relevanz vor. Bei den weiteren GMP-Parametern wurde ein signifikantes Trendverhalten an bis zu 1 % der hier vertieft untersuchten Teilmenge der Messstellen für die Parameter Aluminium, Ammonium und elektrische Leitfähigkeit, an etwa 2 % der Messstellen für Tri- und Tetrachlorethen und etwa 5-6 % der Messstellen für Eisen, Mangan und Sulfat identifiziert. Bei Nitrat wiesen hingegen knapp 30 % der höher belasteten Messstellen einen Trend auf.

Im eGMP-Programm konnte ein Trendverhalten nur für die Parameter Arsen, Natrium und Phosphat an bis zu 2 % der Messstellen festgestellt werden (Tabelle 3 und Tabelle 4). Dabei halten sich Messstellen mit steigendem und fallendem Trend für die meisten Parameter überwiegend die Waage. Bei Eisen und Mangan gibt es etwa doppelt so viele Messstellen mit fallendem wie Messstellen mit steigendem Trend, bei Nitrat sogar fünffach so viele Messstellen mit fallendem Trend (514 Messstellen vs. 108 Messstellen). Umgekehrt war die Anzahl der Messstellen mit steigendem Trend bei Sulfat doppelt so hoch wie die Anzahl der Messstellen mit sinkendem Trend.



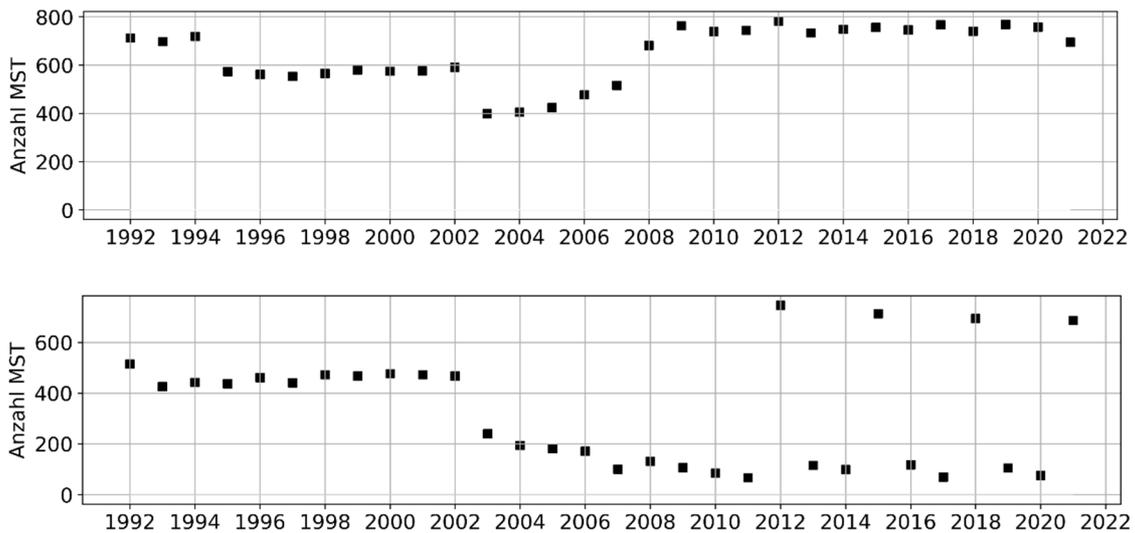
**Tabelle 3: Parameter des aktuellen jährlichen Grundmessprogramms der GWD-WV: Anzahl der Messstellen (MST), an denen der Parameter gemessen wurde (1992-2021), die das Zeitkriterium erfüllen (2005 – 2018) und deren Maximalwerte (MAX) zusätzlich 50 % des Schwellen- bzw. Grenzwerts (SW) überschreiten. Anzahl der Messstellen mit signifikantem steigendem oder fallendem Trend. Angewendete Werte: a) Schwellenwert nach Grundwasser-Verordnung 2010, b) Grenzwert nach Trinkwasser-Verordnung 2001. Grenzwert für Leitfähigkeit bei 25° C.**

| Parameter                 | Anzahl MST je Parameter |                  |                                    | MST mit steigendem Trend | MST mit fallendem Trend | SW** nach a), b)      | Einheit |
|---------------------------|-------------------------|------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|---------|
|                           | 1992 - 2021             | min. 2005 - 2018 | min. 2005 - 2018 & MAX* > 50 % SW* |                          |                         |                       |         |
| Aluminium                 | 1381                    | 392              | 24                                 | 2                        | 1                       | 0,2 <sup>b)</sup>     | mg/L    |
| Ammonium                  | 1599                    | 666              | 8                                  | 2                        | 1                       | 0,5 <sup>a) b)</sup>  | mg/L    |
| Chlorid                   | 1589                    | 669              | 6                                  | 3                        | 1                       | 250 <sup>a) b)</sup>  | mg/L    |
| Eisen                     | 1583                    | 652              | 174                                | 10                       | 24                      | 0,2 <sup>b)</sup>     | mg/L    |
| Elektrische Leitfähigkeit | 1768                    | 725              | 10                                 | 5                        | 2                       | 250 <sup>b)</sup>     | mS/m    |
| Mangan                    | 1578                    | 656              | 99                                 | 13                       | 27                      | 0,05 <sup>b)</sup>    | mg/L    |
| Nitrat                    | 3148                    | 2101             | 953                                | 108                      | 514                     | 50 <sup>a) b)</sup>   | mg/L    |
| Sulfat                    | 1592                    | 668              | 93                                 | 23                       | 13                      | 250 <sup>a) b)</sup>  | mg/L    |
| Tri + Tetra-chlorethen    | 1470                    | 574              | 24                                 | 3                        | 9                       | 0,01 <sup>a) b)</sup> | mg/L    |

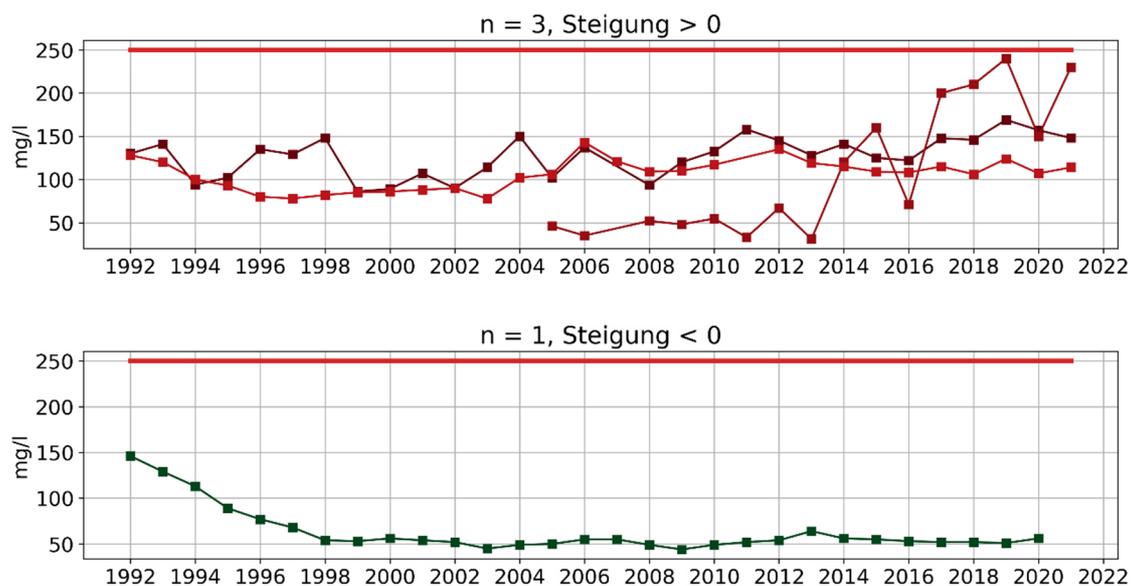
**Tabelle 4: Zusätzliche Parameter des aktuellen 3-jährlichen erweiterten Grundmessprogramms der GWD-WV: Anzahl der Messstellen (MST), an denen der Parameter gemessen wurde (1992-2021), die das Zeitkriterium erfüllen (2005 – 2018) und deren Maximalwerte (MAX\*) zusätzlich 50 % des Schwellen- bzw. Grenzwerts (SW\*\*) überschreiten. Anzahl der Messstellen mit signifikantem steigendem oder fallendem Trend. Angewendete Werte: a) Schwellenwert nach Grundwasser-Verordnung 2010, b) Grenzwert nach Trinkwasser-Verordnung 2001.**

| Parameter      | Anzahl MST je Parameter |                  |                                     | MST mit steigendem Trend | MST mit fallendem Trend | SW** nach a), b)      | Einheit |
|----------------|-------------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|---------|
|                | 1992 - 2021             | min. 2005 - 2018 | min. 2005 - 2018 & MAX* > 50 % SW** |                          |                         |                       |         |
| Arsen          | 1412                    | 454              | 23                                  | 4                        | 1                       | 0,01 <sup>a) b)</sup> | mg/L    |
| Blei           | 1412                    | 441              | 8                                   | 0                        | 0                       | 0,01 <sup>a) b)</sup> | mg/L    |
| Bor            | 1497                    | 575              | 2                                   | 0                        | 0                       | 1 <sup>b)</sup>       | mg/L    |
| Cadmium        | 1348                    | 389              | 12                                  | 0                        | 0                       | 0,0005 <sup>a)</sup>  | mg/L    |
| Natrium        | 1545                    | 623              | 3                                   | 1                        | 0                       | 200 <sup>b)</sup>     | mg/L    |
| Nitrit         | 1505                    | 559              | 0                                   | 0                        | 0                       | 0,5 <sup>a) b)</sup>  | mg/L    |
| ortho-Phosphat | 1400                    | 496              | 53                                  | 1                        | 2                       | 0,5 <sup>a)</sup>     | mg/L    |
| Quecksilber    | 1373                    | 426              | 0                                   | 0                        | 0                       | 0,0002 <sup>a)</sup>  | mg/L    |
| Uran           | 1112                    | 5                | 0                                   | 0                        | 0                       | 0,01 <sup>b)</sup>    | mg/L    |





**Abbildung 6:** Anzahl der für die statistische Trendanalyse auswertbaren Messstellen mit Chlorid-Analysen als Beispiel für einen GMP-Parameter (oben) bzw. Arsen-Analysen als Beispiel für einen eGMP-Parameter (unten) zwischen 1992 und 2021. Die Abbildungen für die weiteren Parameter befinden sich im digitalen Anhang.



**Abbildung 7:** Trendauswertung für Chlorid: Zeitlicher Verlauf der Chlorid-Konzentration an drei Messstellen mit significantem steigendem Trend (oberes Diagramm) und einer Messstelle significantem sinkendem Trend (unteres Diagramm) nach Ausreißerelimination. Die waagrechte rote Linie gibt den Schwellenwert nach Grundwasserverordnung bzw. den Grenzwert nach Trinkwasserverordnung wieder. Die Abbildungen für die weiteren Parameter befinden sich im digitalen Anhang.



### 3.3 Trendverhalten ausgewählter metallischer Schad- und Spurenstoffe

Das Metall Natrium kommt natürlicherweise in verschiedenen Ausgangsgesteinen mit marinem Ursprung vor. Auch Aluminium und Arsen sind Bestandteile verschiedener Ausgangsgesteine, wenn auch in sehr geringen Konzentrationen. Neben den geogenen Quellen für das Grundwasser sind verschiedene anthropogene Eintragspfade bekannt. Natrium stammt dabei vorwiegend aus dem Einsatz von Streusalz oder Düngemitteln, Aluminium und Arsen aus industriellen Emissionen oder Sickerwassereinträgen aus Deponien und von Altlastenstandorten. Natrium ist essentiell für den menschlichen Organismus, eine zu hohe Zufuhr führt jedoch zu gesundheitlichen Auswirkungen. Aluminium und Arsen sind keine essentiellen Spurenelemente. Aluminium weist lediglich eine geringe Toxizität auf während das Schwermetall Arsen als stark toxisch eingestuft ist.

Die redoxsensitiven Metalle Eisen und Mangan liegen im Grundwasserleiter mineralisch gebunden, zumeist als Oxide, vor. Die Freisetzung als  $\text{Fe}^{2+}$  bzw.  $\text{Mn}^{2+}$  erfolgt unter reduzierenden Bedingungen, d.h. unter Sauerstoffabschluss und bei Anwesenheit erhöhter Gehalte an organischen Substanzen als Elektronendonatoren. Erhöhte Konzentrationen an  $\text{Fe}^{2+}$  bzw.  $\text{Mn}^{2+}$  finden sich daher vor allem im Bodenwasser etwa in Aueböden oder in tieferen Grundwasserleitern, es gibt jedoch auch anthropogene Quellen durch Industrieabwässer oder Altlasten. Eisen und Mangan sind essentielle Spurenelemente und nur von geringer Toxizität bei sehr hohen Konzentrationen. Sie stören jedoch die Trinkwassergewinnung wenn es bei Sauerstoffkontakt des Wassers zur Ausfällung von (Hydr-)Oxiden und damit zur Färbung des Wassers oder zu Verockerungen kommt.

Das Alkalimetall Natrium ist Bestandteil verschiedener leichtlöslicher Salze und weiterer Mineralien. In der Regel sind hohe Natriumkonzentrationen mit hohen Chloridkonzentrationen assoziiert, sie treten somit in der Nähe von Salzlagerstätten auf oder lassen sich auf Streusalz- oder Düngemittelinträge zurückführen. Natürlicherweise erhöhte Konzentrationen finden sich v. A. im Muschelkalk, der Meeresmolasse und entlang des Oberrheingrabens (LfU Baden-Württemberg 1994).

Natrium (Na)

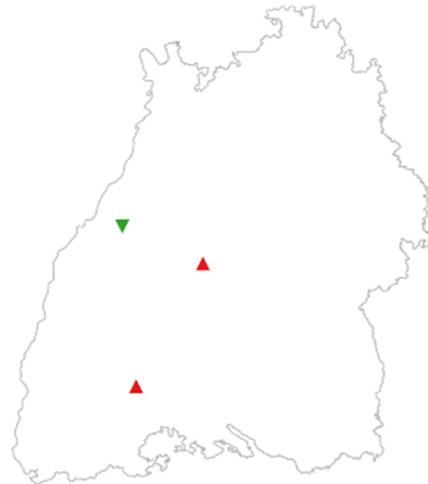
Zu Überschreitungen von 50 % des Grenzwertes kam es bei Natrium lediglich an 3 Messstellen, ein Trend lag nur an einer Messstelle vor (Tabelle 4). Diese Messstelle mit steigendem Trend liegt im Muschelkalk der nördlichen Gäuflächen.



Das Leichtmetall Aluminium ist das häufigste Metall in der Erdkruste. Im Grundwasserleiter liegt es zumeist mineralisch gebunden in Silikaten oder Tonmineralen oder sorbiert vor. Unter sauren Verhältnissen kann Aluminium im Grundwasser als  $Al^{3+}$  freigesetzt werden. Erhöhte natürliche Konzentrationen im Grundwasser Baden-Württembergs finden sich in den Buntsandsteingebieten von Schwarzwald und Odenwald (LfU Baden-Württemberg 1994). Daneben sind verschiedene anthropogene Eintragspfade in das Grundwasser bekannt.

#### Aluminium (Al)

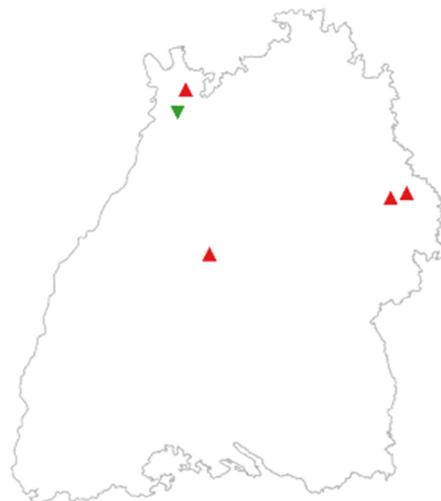
An 24 Messstellen überstiegen im untersuchten Zeitraum die Messwerte 50 % des Grenzwertes (Tabelle 3). An zwei dieser Messstellen wurde ein steigender, an einer Messstelle ein sinkender Trend identifiziert. Die Messstellen mit steigendem Trend liegen am westlichen Rand der Gäuflächen im Übergang zum Schwarzwald im Keuper bzw. Buntsandstein. Die Messstelle mit sinkendem Trend liegt im Buntsandstein des Nordschwarzwalds.



Das Schwermetall Arsen kommt im Grundwasserleiter meist sulfidisch gebunden in Tonen, Mergeln und Sandsteinen vor und tritt im Grundwasser nahezu flächendeckend auf. Erhöhte Konzentrationen sind für viele Grundwasserlandschaften in Baden-Württemberg dokumentiert, vor allem im Südschwarzwald, im Odenwald und im schwäbischen Keuper-Lias-Land (LfU Baden-Württemberg 1994; Kiefer und Fischer 2013). Anthropogene Einträge in das Grundwasser sind häufig auf Direktmissionen oder Auswaschungen aus Deponien, Altlasten und Bergbauabraum zurückzuführen (LUBW 2017).

#### Arsen (As)

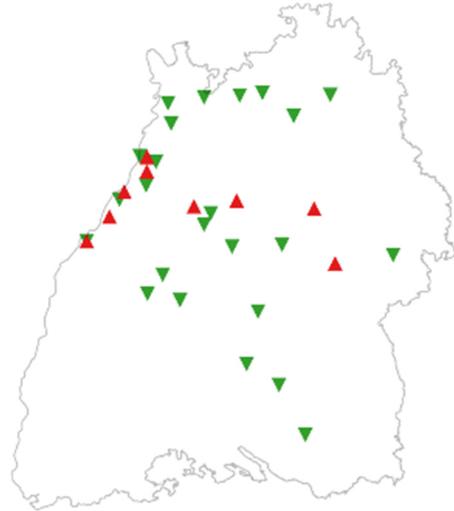
Von den untersuchten Messstellen wiesen 23 erhöhte Konzentrationen von über 50 % des Schwellen- bzw. Grenzwertes auf (Tabelle 4). An vier dieser Messstellen lag eine ansteigende Tendenz vor. Diese Messstellen liegen im nördlichen Odenwald, im schwäbischen Keuperbergland sowie im Muschelkalk der Gäuflächen. Die eine Messstelle mit sinkendem Trend liegt ebenfalls im nördlichen Odenwald.



Das Schwermetall Eisen ist als dritthäufigstes Metall in der Erdkruste ubiquitär. Im Grundwasserleiter liegt Eisen zumeist oxidisch oder sulfidisch gebunden in schwerlöslichen Verbindungen vor. Die Hintergrundkonzentrationen an gelöstem Eisen sind dann gering. Sehr niedrige pH-Werte erhöhen die Löslichkeit von  $\text{Fe}^{3+}$ . Die Freisetzung als  $\text{Fe}^{2+}$  in das Grundwasser erfolgt hingegen unter reduzierenden Bedingungen. Hohe Eisen (II)-Konzentrationen im Grundwasser in Baden-Württemberg liegen gehäuft im Oberrheingraben rheinabwärts ab dem Kaiserstuhl vor. Grundwässer mit höheren Konzentrationen finden sich jedoch über ganz Baden-Württemberg verteilt (LUBW 2017).

### Eisen (Fe)

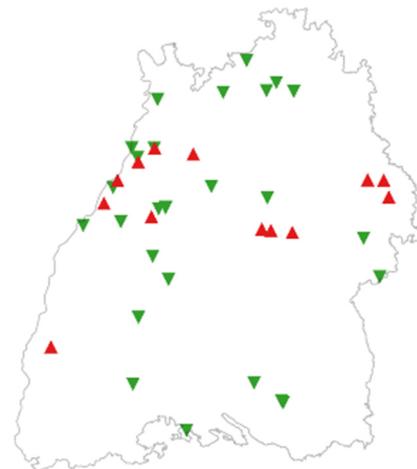
Überschreitungen von 50 % des Grenzwertes lagen an 174 Messstellen vor. Davon wiesen 10 Messstellen einen steigenden Trend und 24 Messstellen einen sinkenden Trend auf (Tabelle 3). Diese Messstellen befinden sich in ganz Baden-Württemberg, jedoch gehäuft im Bereich des oberen Oberrheingrabens.



Das Schwermetall Mangan liegt häufig als Begleiter von Eisenerzen und in verschiedenen manganhaltigen Mineralen stabil gebunden vor. Die Freisetzung als gelöstes  $\text{Mn}^{2+}$  erfolgt wie bei Eisen unter reduzierenden Bedingungen. Analog zu Eisen tritt Mangan (II) gehäuft in der Rheinebene sowie baden-württembergweit auf (LUBW 2017).

### Mangan (Mn)

An 99 Messstellen traten Werte über 50 % des Grenzwertes auf, davon an 13 Messstellen mit steigendem Trend und an 27 Messstellen mit sinkendem Trend (Tabelle 3). Auch diese Messstellen sind über ganz Baden-Württemberg verteilt mit einer Häufung im nördlichen Oberrheingraben.



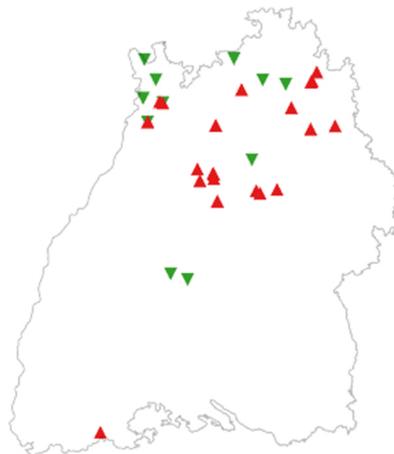
### 3.4 Trendverhalten ausgewählter weiterer Hauptinhaltsstoffe

Die Parameter Sulfat, Phosphat und Chlorid sind natürlicher Bestandteil verschiedener Mineralien, die in der Regel gut löslich sind. Ein anthropogener Eintrag in das Grundwasser erfolgt beispielsweise durch den Einsatz von Düngemitteln oder von Streusalz. Erhöhte Konzentrationen der Stickstoffverbindungen Nitrat und Ammonium sind hingegen zumeist anthropogen bedingt und auf Einträge aus der Landwirtschaft bzw. über Abwässer oder Abfälle zurückzuführen. Sulfat, Nitrat und Ammonium sind zudem in natürliche Stoffumsatzprozesse eingebunden und werden unter verschiedenen Redoxbedingungen gebildet bzw. abgebaut, wobei sich die Prozesse auch gegenseitig beeinflussen können. Erhöhte Konzentrationen der Hauptbestandteile wirken sich geschmacklich auf das Trinkwasser aus. Ammonium ist zudem gesundheitlich bedenklich ebenso wie Nitrit, welches als metabolisches Abbauprodukt von Nitrat bei Säuglingen zu bedenklichen Gesundheitsproblemen führt.

Die Schwefelverbindungen Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) und Sulfid ( $\text{S}^{2-}$ ) sind Bestandteil verschiedenster Minerale: Sulfat kommt hauptsächlich in leichtlöslichem Gips und Anhydrit vor, Sulfid z.B. in Verbindungen mit Eisen, Arsen oder Blei. Es ist zudem Bestandteil organischer Substanzen (wie z.B. im Humus). Sulfat im Grundwasser stammt aus der Auflösung sulfathaltiger Minerale oder aus der mikrobiellen Oxidation seiner reduzierten Form. Sulfat ist häufig im sauerstoffreichen Grundwasser zu finden. Unter reduzierenden Verhältnissen sind aufgrund der mikrobiellen Reduktion die Sulfatkonzentrationen wiederum gering. In Baden-Württemberg finden sich erhöhte Konzentrationen v. A. im Muschelkalk und Keuper, in aufsteigenden Tiefenwässern oder bei Salzlagerstätten (LfU Baden-Württemberg 1994).

Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

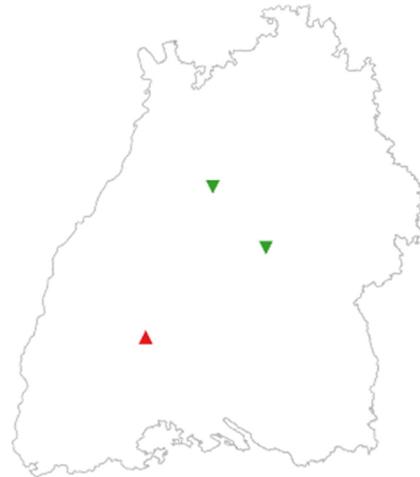
Bei Sulfat wurden an 93 Messstellen erhöhte Werte über 50 % des Schwellen- bzw. Grenzwerts gemessen. An 23 Messstellen lag ein steigender Trend vor, an 13 Messstellen ein sinkender Trend (Tabelle 3). Diese Messstellen befinden sich allesamt in den nördlichen Muschelkalk- und Keuperflächen sowie im nördlichen Oberrheingraben. Eine weitere Messstelle mit steigendem Trend liegt zudem im Muschelkalk des Hotzenwalds.



Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Phosphat kommt natürlicherweise in Mineralien mit unterschiedlichen Löslichkeiten vor, jedoch vorwiegend als Apatit. Phosphate werden im Boden adsorbiert, sind organisch gebunden oder komplexiert jedoch gut verlagerbar. Im Grundwasser kommt Phosphat nur in geringen Konzentrationen vor. Erhöhte Konzentrationen stammen aus der Lösung schwerlöslicher Apatite bei niedrigen pH-Werten, aus der Freisetzung von an Eisenoxiden sorbiertem Phosphat unter reduzierenden Bedingungen, aus der Zersetzung organischer Substanzen oder aus landwirtschaftlicher Düngung. In Baden-Württemberg treten erhöhte Konzentrationen beispielsweise in den Keupergebieten auf (LfU Baden-Württemberg 1994).

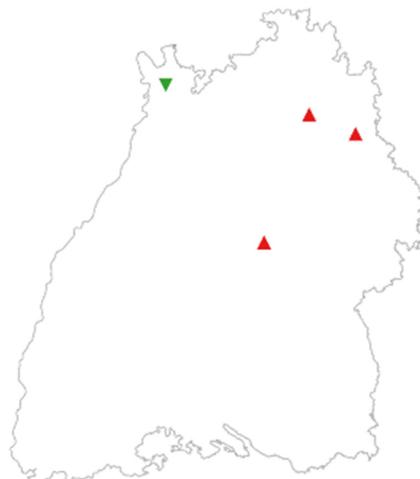
Für Ortho-Phosphat lagen an 53 Messstellen Überschreitungen von 50 % des Schwellenwertes vor, davon an drei Messstellen mit Trend (Tabelle 4). Eine Messstelle mit steigendem Trend liegt im Muschelkalk des oberen Neckars. Die beiden Messstellen mit sinkendem Trend liegen im Keuper in der Region mittlerer Neckar.



Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )

Chloride sind Bestandteile verschiedener leichtlöslicher Salze, deren Vorkommen häufig punktuell ist. Im Grundwasser treten überwiegend niedrige Konzentrationen auf. Erhöhte Konzentrationen sind analog Natrium zumeist an die Nähe von Salzlagerstätten oder -einlagerungen, auf die Einleitungen aus Deponien, aus der Düngung oder auf Streusalzausbringen zurückzuführen. In Baden-Württemberg finden sich erhöhte Konzentrationen beispielsweise aufgrund von Salzeinlagerungen im Muschelkalk der schwäbischen Alb, in der Meeresmolasse und entlang des Oberrheingrabens (LfU Baden-Württemberg 1994).

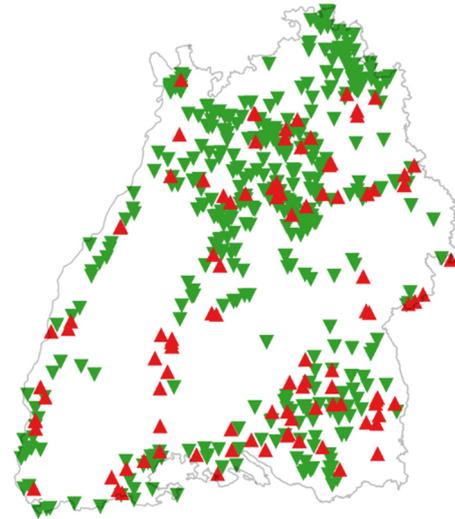
Beim Parameter Chlorid kam es an sechs Messstellen zu Überschreitungen von 50 % des Schwellen- bzw. Grenzwertes (Tabelle 3). Die drei Messstellen mit steigendem Trend liegen im Muschelkalk der nördlichen Gäuflächen und im Keuper der schwäbischen Alb, die Messstelle mit sinkendem Trend im Odenwald.



Die Nitratkonzentrationen in anthropogen unbelasteten Grundwässern sind üblicherweise sehr gering. Natürlicherweise stammt Nitrat aus der Zersetzung von Pflanzenresten und der Mineralisation von Humus. Es ist leicht löslich und leicht im Boden verlagerbar. Erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser stammen überwiegend aus landwirtschaftlichem Eintrag über Düngemitteln oder aus der Tierhaltung. Nitrat wird unter reduzierenden Bedingungen über die Denitrifikation abgebaut, unter oxidieren Bedingungen wird es wiederum aus Ammonium gebildet (Nitrifikation).

### Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )

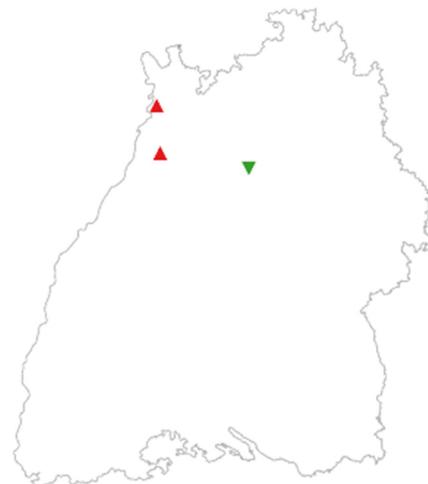
An 953 Messstellen wurde im untersuchten Zeitraum ein Wert von 50 % des Schwellen- bzw. Grenzwertes überschritten (Tabelle 3). An 108 Messstellen wurde ein steigender Trend, an 514 Messstellen ein sinkender Trend identifiziert. Die Messstellen sind über ganz Baden-Württemberg verteilt. Aufgrund der geringeren Messnetz-Dichte im Schwarzwald und auf der Schwäbischen befindet sich dort auch nur eine geringe Anzahl an Messstellen mit signifikanten Trends.



Ammonium kommt natürlicherweise im Grundwasser – außer in Feuchtgebieten – nicht vor. Ammonium ist jedoch Bestandteil von Pflanzenresten sowie tierischen und menschlichen Ausscheidungen und somit ein Indikator für den Eintrag von Abwässern oder Abfällen in das Grundwasser. Erhöhte Konzentrationen können zudem auf den Einsatz ammoniumhaltiger Düngemittel zurückgeführt werden. Im Zuge der Nitrifikation wird Ammonium mikrobiell zu Nitrat oxidiert während unter reduzierenden Verhältnissen Nitrat zu Ammonium umgewandelt wird.

### Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

Von den untersuchten Messstellen wiesen acht erhöhte Konzentrationen von über 50 % des Schwellen- bzw. Grenzwertes auf (Tabelle 3). An zwei Messstellen lag eine ansteigende Tendenz vor. Diese Messstellen liegen im nördlichen Oberrheingraben. Eine Messstelle mit sinkendem Trend befindet sich im Neckartal bei Heilbronn.



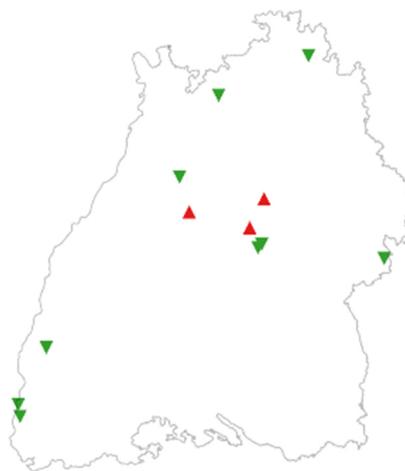
### 3.5 Trendverhalten von Tri- und Tetrachlorethen

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) werden in großen Mengen industriell eingesetzt. Sie gelangen aus Altlasten, Deponien und Leckagen ins Grundwasser. LHKW sind biologisch praktisch nicht abbaubar und reichern sich im Grundwasser in einer nicht mischbaren Flüssigkeitsphase an. Aufgrund ihrer Toxizität gelten strenge Grenzwerte.

#### Tri- und Tetrachlorethen

Unbelastete Grund- und Quellwässer sind frei von LHKWs. Die Einzelsubstanzen Trichlorethen und Tetrachlorethen sind jedoch aufgrund ihrer – wenn auch geringen – Wasserlöslichkeit vielfach im Grundwasser nachweisbar. Sie wurden industriell in großen Mengen als Reinigungs-, Entfettungs- und Extraktionsmittel eingesetzt.

Von den untersuchten Messstellen wiesen 24 erhöhte Konzentrationen von über 50 % des Schwellen- bzw. Grenzwertes auf (Tabelle 3). An drei Messstellen in der Region Stuttgart lag eine ansteigende Tendenz vor. Die neun Messstellen mit sinkendem Trend sind über Baden-Württemberg verteilt, mit zwei benachbarten Messstellen in der Region Stuttgart und drei Messstellen in räumlicher Nähe im Oberrheingraben nahe Freiburg.



## 4 Zusammenfassung und Fazit

Über die Grundwasserdatenbank Wasserversorgung GWD-WV stehen seit ihrer Gründung aus den freiwilligen Untersuchungen der Wasserversorger qualitative Rohwasserdaten aus inzwischen 30 Jahren zur Verfügung. Diese Daten ermöglichten eine umfassende Analyse langfristiger Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit in Baden-Württemberg, die für diesen Sonderbeitrag erstellt wurde.

Generelle baden-württembergweite Veränderungen konnten umfassend über die Auswertung kumulativer Verteilungsfunktionen und Medianbetrachtungen für die zwei Dekaden 1992 – 2001 sowie 2012 – 2021 ermittelt werden. Landesweit sinkende Konzentrationen für die Parameter Nitrat, Phosphat und Aluminium zeigen eine generelle qualitative Verbesserung der Grundwasserbeschaffenheit. Metallische Schadstoffe wie Arsen und Quecksilber sowie viele zumeist geogene Parameter (wie z.B. Eisen, Mangan) wiesen im untersuchten Zeitraum keine überregionalen Veränderungen auf. Dahingegen deutet die kumulative Verteilungsfunktion für die Parameter Natrium und Chlorid auf eine diesbezügliche Verschlechterung der Grundwasserbeschaffenheit hin, die auf einen anthropogenen Einfluss zurückzuführen sein könnte (z.B. Streusalz, Abwasser). Auch die steigenden Rohwassertemperaturen können als Hinweis auf unerwünschte nachteilige Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Grundwassertemperatur gewertet werden.



Für höher belastete Messstellen mit Konzentrationen, die 50 % eines Schwellen-/ Grenzwertes überschritten, konnte zusätzlich über die statistische Trendbetrachtung ein baden-württembergweites Muster mit Verschlechterungs- bzw. Verbesserungstrends dargestellt werden. Hier zeigte sich, dass vor allem bei Nitrat an vielen Messstellen in weiten Landesteilen eine Verbesserung der Situation über die vergangenen 30 Jahre zu verzeichnen ist. Dennoch gibt es nach wie vor zahlreiche Messstellen, an denen auch ein signifikant steigender Trend der Nitratkonzentration vorliegt. Auch diese Messstellen sind baden-württembergweit verteilt und nicht nur auf eine bestimmte Region konzentriert. Bei den überwiegend geogenen Parametern Eisen und Mangan ergab sich bei den relativ wenigen höher belasteten Messstellen kein eindeutiges Bild: zwar treten einerseits sinkende Trends landesweit auf, andererseits sind in den mittleren Landesteilen örtlich auch steigende Konzentrationen zu beobachten. Auch für Sulfat ist die Anzahl der höher belasteten Messstellen mit signifikanten Verschlechterungen oder Verbesserungen gering. Die betroffenen Messstellen liegen vorwiegend im nördlichen Baden-Württemberg. Bei den weiteren GMP- und eGMP-Parametern trat nur an vereinzelten höher belasteten Messstellen eine signifikante Veränderung auf.

Eine methodische Herausforderung für die statistische Auswertung der Daten ergab sich aus der Tatsache, dass die Anzahl der beprobten Messstellen je nach Parameter über die dreißig Jahre nicht konstant war und die zeitliche Auflösung sowie die Untersuchungsumfänge in dem Zeitraum mehrfach angepasst wurden. Generell war die Trendanalyse bei hoher zeitlicher Kontinuität der Daten (hohe Messfrequenz und wenig Datenlücken), wie es beispielsweise bei Nitrat der Fall ist, deutlich robuster.

Die Kombination der Methoden zur überregionalen Veränderungsanalyse und lokalen Trendanalyse ermöglicht insgesamt umfassende Aussagen zu längerfristigen Veränderung der Grundwasserqualität in Baden-Württemberg, da jeweils verschiedene Aspekte beleuchtet werden. Bei Nitrat beispielsweise spiegelt sich die landesweite Verbesserung der Situation, die sich aus der überregionalen Veränderungsanalyse ergab, deutlich auch bei der Trendanalyse wieder, die zeigte, dass landesweit an fünf Mal mehr Messstellen mit erhöhter Belastung sinkende Trends vorliegen als steigende. Bei Parametern, deren landesweite Belastung insgesamt gering ist, war eine analoge Verknüpfung einer überregionalen Veränderung mit lokalen Trends aufgrund der ausschließlichen Betrachtung höher belasteter Messstellen hingegen nicht möglich.

Die Auswertungen durch die GWD-WV bestätigen den Mehrwert der sich aus einer Bündelung der Daten der Wasserversorger in einer gemeinsamen qualitätsgesicherten und kontinuierlich gepflegten Datenbank ergibt. Aus drei Dekaden lassen sich fachlich fundiert Rückschlüsse auf Veränderungen und Trends der Beschaffenheit der in Baden-Württemberg für die Trinkwasserversorgung genutzten Grund- und Quellwässer ableiten. Auch wenn bei einigen Belastungen landesweit erfreuliche signifikante Verbesserungen eingetreten und nachzuweisen sind, so sind dennoch an einigen Stellen auch signifikante Verschlechterungen zu verzeichnen. Zudem sind die hier belegten, gestiegenen Rohwassertemperaturen begründeter Anlass zur Sorge, dass der Klimawandel nicht vor der Grundwasserbeschaffenheit Halt macht. Zusammenfassend machen die Auswertungen deutlich, dass die Anstrengungen für den vorbeugenden Schutz und die nachhaltige Bewirtschaftung der Wasservorkommen nicht nachlassen dürfen.



## 5 Literaturverzeichnis

- Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union (2000): Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik 2899. In: *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften* L 327/1.
- Fischer, Thilo; Haakh, Frieder; Kiefer, Joachim; Rogg, Johann-Martin (2019): Belastung der Rohwasserressourcen für die Trinkwasserversorgung in Baden-Württemberg mit Rückständen von Pflanzenschutzmitteln. Sonderbeitrag zum Jahresbericht Grundwasserdatenbank Wasserversorgung <sup>3</sup>.
- Grubbs, Frank E. (1950): Sample Criteria for Testing Outlying Observations. In: *The Annals of Mathematical Statistics* 21 (1), 27-58, 32. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1214/aoms/1177729885>.
- Kiefer, Joachim; Fischer, T. (2012): Belastung der Rohwässer Baden-Württembergs mit Nitrat und Pflanzenschutzmitteln. Sonderbeitrag zum 20. Jahresbericht Grundwasserdatenbank Wasserversorgung <sup>2</sup>.
- Kiefer, Joachim; Fischer, Thilo (2013): Erweiterte Beurteilung der Grundwasserbeschaffenheit in Baden-Württemberg. Sonderbeitrag zum Jahresbericht Grundwasserdatenbank Wasserversorgung <sup>2</sup>.
- LfU Baden-Württemberg (1994): Geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit - Ergebnisse aus dem Basismeßnetz. Hintergrundwerte 1985-1991. Grundwasserüberwachungsprogramm.
- LUBW (2017): Ergebnisse der Beprobung 2016. Grundwasserüberwachungsprogramm. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Grundwasserschutz, 56). Online verfügbar unter <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/270767/>.
- Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (Hg.) (1989): Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg. Grundwasserüberwachungsprogramm, Konzept und Grundsatzpapiere.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. (1965): An analysis of variance test for normality (complete samples)†. In: *Biometrika* 52 (3-4), S. 591–611. DOI: 10.1093/biomet/52.3-4.591.
- Sturm, Sebastian; Kiefer, Joachim (2010): Zwanzig Jahre Grund- und Zusatzmessprogramm der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung (GWD-WV). Sonderbeitrag zum Jahresbericht Grundwasserdatenbank Wasserversorgung <sup>2</sup>.
- Umweltministerium Baden-Württemberg (2001): Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über Schutzbestimmungen und die Gewährung von Ausgleichsleistungen in Wasser- und Quellenschutzgebieten. (Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung SchALVO) vom 20. Februar 2001. Online verfügbar unter <http://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=WasSchAusgIV+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true>
- Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001). Online verfügbar unter [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/trinkwv\\_2001/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/trinkwv_2001/gesamt.pdf).

---

<sup>3</sup> Online verfügbar unter [www.grundwasserdatenbank.de](http://www.grundwasserdatenbank.de)

