

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

Grundwasserüberwachungs- programm

Geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit
– Ergebnisse aus dem Basismessnetz –

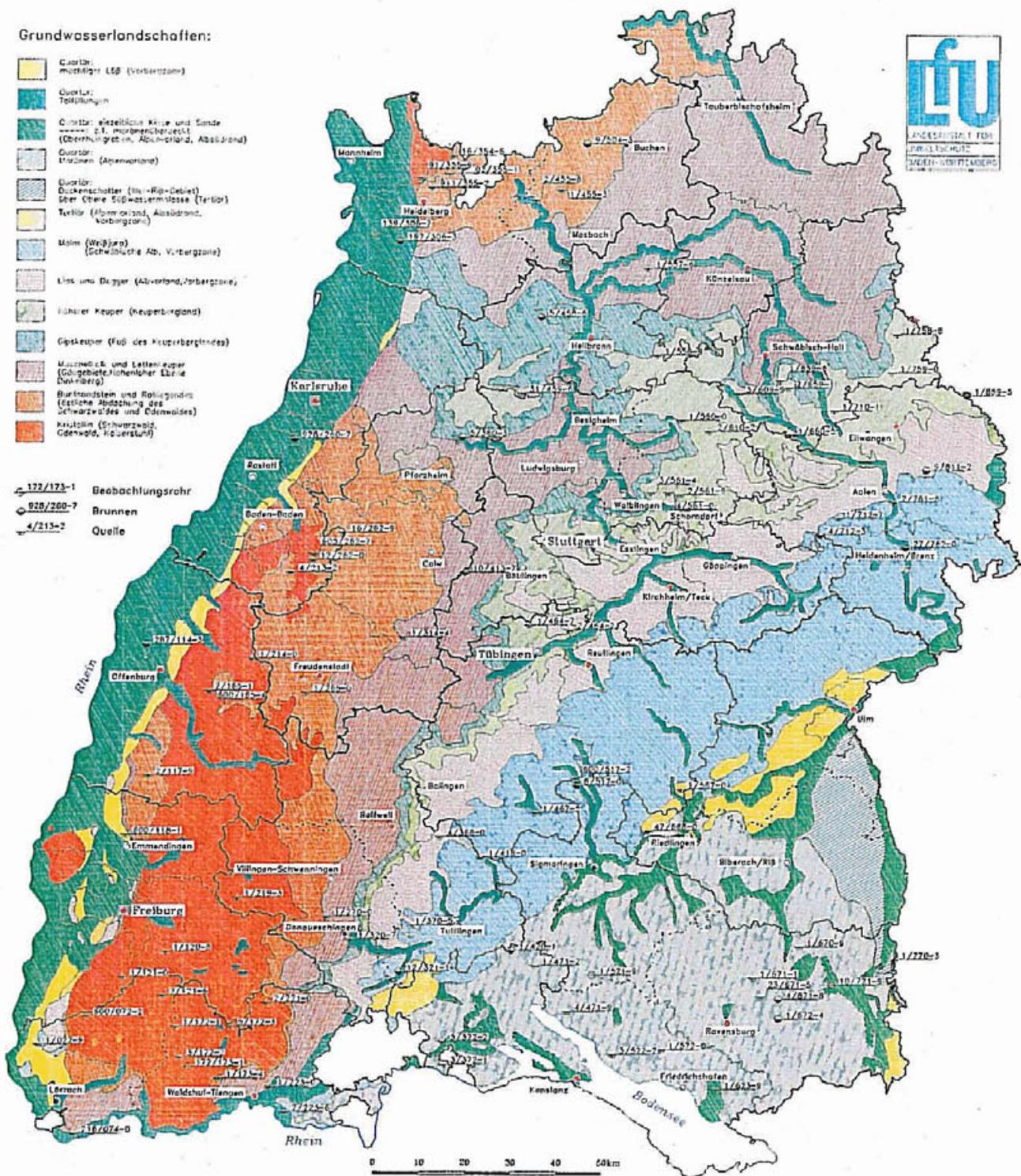




Grundwasserlandschaften:

- Quarzite, muschlige LSG (Vorbergzone)
- Quarzite, Tafelungen
- Quarzite, steile Klüfte und Sande (z.B. im Bereich des Oberrheingrabens, Oberrhein, Oberrhein, Oberrhein)
- Quarzite, Muschel (Apenzone)
- Quarzite, Dackelschotter (im Riß-Becken) über Obere Südkarstzone (Tertiär)
- Tertiär (Hornfels, Aussiedlung, Vorbergzone)
- Malm (Weggen) (Schwäbische Alb, Vorbergzone)
- Lias und Dogger (Albvorland, Vorbergzone)
- Fühler Keuper (Keuperbergland)
- Gipskeuper (Fuß des Keuperberglandes)
- Muschel- und Lösskeuper (Gölsgebiet, Höhen der Elze, Durlach)
- Burgenland und Rotkeuper (Eltzische Abbruch des Schwarzwaldes und Oberrheingrabens)
- Karst (Schwarzwald, Oberrhein)

- 172/173-1 Beobachtungsrohr
- 928/280-7 Brunnen
- 4/213-2 Quelle



0 10 20 30 40 50km

Grenzen:		Sitze:	
—	Regionalbezirk	□	
—	WBA-Bezirk	•	
—	WBA-Außenstelle	•	
—	Land-/Stadtkreis	○	

Grundwasserlandschaften
(nach HGK Grundwasserlandschaften)
Basismessnetz 1993

LANDESANSTALT F. UMWELTSCHUTZ
GEOLOGISCHES LANDESAMT
BADEN-WÜRTTEMBERG
GRUNDWASSERÜBERWACHUNGSPROGRAMM
Stand 1993

© Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

GRUNDWASSERÜBERWACHUNGSPROGRAMM

**Geogen geprägte
Beschaffenheit des Grundwassers**

Hintergrundwerte 1985 - 1991

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

Karlsruhe

Impressum

Herausgeber und Bezug:

Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Griesbachstr. 1
76157 Karlsruhe

Bearbeitung:

Projektgruppe Grundwasserbeschaffenheit
J. Grimm-Strele, Ph.D. (Projektleitung), K. Burk, K.-P. Barufke, Dr. W. Feuerstein,
S. Heidland, D. Kaltenbach, M. Maisch, B. Regner, D. Schuhmann, D. Seifert,
D. Stekker, M. Weiller-Schäfer, K. Werner

unter Mitwirkung:

des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg

Titelbild:

Grundwasserbeobachtungsrohr mit Meßstellenschild

Druck (1. Auflage):

Textdat Service, gem. GmbH, Weinheim

Gedruckt auf Recycling-Papier aus 100 % Altpapier, 80 g/qm
Umschlagkarton aus Altpapier, 250 g/qm

- 1. Auflage (1994) : 500 Stück**
- 2. unveränderte Auflage (1996) : 200 Stück**
- 3. unveränderte Auflage (2001) : 375 Stück**

Nachdruck - auch auszugsweise - nur unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet

Karlsruhe, August 2001

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Vorwort.....	III
Zusammenfassung.....	V
1 Datengrundlage.....	1
2 Zur Definition der geogen geprägten Grundwasserbeschaffenheit.....	4
2.1 Statistische Methoden zur Auswertung der Grundwasserbeschaffenheits- daten.....	4
2.2 Berechnung der geogen geprägten Hintergrundbeschaffenheit.....	6
3 Übersicht über die geogen geprägte Grundwasserbeschaffenheit in Baden- Württemberg.....	9
4 Geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit in den Grundwasserlandschaften.....	10
4.1 Temperatur.....	10
4.2 Färbung (SAK-436).....	12
4.3 Elektrische Leitfähigkeit.....	14
4.4 pH-Wert.....	16
4.5 Säurekapazität bis pH 4,3.....	18
4.6 Basekapazität bis pH 8,2.....	20
4.7 Summe Erdalkalien (Gesamthärte).....	22
4.8 Sauerstoff.....	24
4.9 Spektraler Absorptionskoeffizient bei 254 nm (SAK-254).....	28
4.10 Oxidierbarkeit (MnVII-MnII).....	30
4.11 Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC).....	32
4.12 Calcium.....	34
4.13 Magnesium.....	36
4.14 Natrium.....	38
4.15 Kalium.....	40
4.16 Eisen, gesamt.....	42
4.17 Mangan, gesamt.....	44
4.18 Chlorid.....	46
4.19 Sulfat.....	48
4.20 Anorganische Stickstoffverbindungen: Ammonium, Nitrit, Nitrat.....	52
4.21 ortho-Phosphat.....	56
4.22 Silikat.....	58
4.23 Bor.....	60
4.24 Fluorid.....	62
4.25 Aluminium.....	64
4.26 Schwermetalle.....	67
4.26.1 Arsen.....	68
4.26.2 Barium.....	70
4.26.3 Blei.....	72
4.26.4 Cadmium.....	74
4.26.5 Chrom, gesamt.....	76

II

4.26.6	Nickel.....	78
4.26.7	Quecksilber.....	80
4.26.8	Selen.....	82
4.26.9	Zink.....	84
4.27	Organische Spurenstoffe.....	86
5	Ausblick.....	88
6	Literaturverzeichnis.....	89

In den Abbildungen des Kapitels 4 werden für die Grundwasserlandschaften und Aquifere folgende Abkürzungen und Bezeichnungen benutzt:

Quart., Talfüll.	- Quartär in Talfüllungen
Quart., Oberrh.	- Quartär, eiszeitliche Kiese und Sande im Oberrheingraben
Quart., Albs.	- Quartär, eiszeitliche Kiese und Sande am Südrand der Schwäbischen Alb und im Alpenvorland
Quart., morän.üb.	- Quartär, eiszeitliche Kiese und Sande, moränenüberdeckt
Quart., Oberrh./t.	- Quartär, tiefe Aquifere, mittlerer und unterer Grundwasserleiter im Oberrheingraben
Tert., Albs., Alp.	- Tertiär am Südrand der Schwäbischen Alb und im Alpenvorland
Tert., Oberrh./t	- Tertiär, tiefe Aquifere, Pliozän im Oberrheingraben
Tert., OMM	- Tertiär, tief, Miozän, Obere Meeresmolasse
Malm, Weißjura	- Malm, Weißjura, Schwäbische Alb
Malm, Alpenv./t	- Malm, tiefe Aquifere, Alpenvorland
Lias + Dogg., Albv.	- Lias und Dogger im Vorland der Schwäbischen Alb
Höh. Keu., Kbergl.	- Höherer Keuper im Keuperbergland
Muschelkalk	- Muschelkalk, oberflächennahe Aquifere
Muschelkalk/t	- Muschelkalk, tiefe Aquifere
Lettenkeuper	- Lettenkeuper
Buntsandstein	- Buntsandstein, oberflächennahe Aquifere
Rotliegendes	- Rotliegendes
Buntsandstein/t	- Buntsandstein, tiefe Aquifere
Kristallin, Schw.	- Kristallin des Schwarzwaldes

Vorwort

Seit 1985 wird in Baden-Württemberg in Kooperation vieler Partner ein landesweites Grundwasserbeschaffenheitsmeßnetz aufgebaut und betrieben. Ein Teilmeßnetz ist das von der Landesanstalt für Umweltschutz unter Mithilfe des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg aufgebaute Basismeßnetz. Mit dem Basismeßnetz wird die „natürliche“, von menschlichen Einflüssen weitgehend unbeeinflusste Grundwasserbeschaffenheit an Quellen, Brunnen und Grundwasserbeobachtungsrohren regelmäßig erfaßt.

Seit 1985 liegen nun genügend Ergebnisse vor, um die geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit des Grundwassers - eingeteilt nach Grundwasserlandschaften und Aquiferen - statistisch zu beschreiben.

Die in diesem Bericht zusammengefaßten umfangreichen Daten und Ergebnisse sollen den am Grundwasserschutz in Baden-Württemberg Beteiligten fachliche Grundlagen und Entscheidungshilfen bieten.

Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Karlsruhe, April 1994

Zusammenfassung

Im Rahmen des Grundwasserüberwachungsprogrammes Baden-Württemberg (GÜP) wird ein Beschaffenheitsmeßnetz mit rd. 2.600 Meßstellen betrieben. Hiervon ist das Basismeßnetz (BMN), mit dem die weitgehend natürliche Grundwasserbeschaffenheit erfaßt wird, ein wichtiges Teilmeßnetz.

Ziel des vorliegenden Fachberichts ist es, für die mit dem Basismeßnetz erfaßten Grundwasserlandschaften und Aquifere Baden-Württembergs einen statistischen Überblick über die geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit zu geben. Dies geschieht für diverse Wasserinhaltsstoffe unter Berücksichtigung der natürlichen Schwankungsbreiten. Die Zahlenangaben helfen bei der Beurteilung von Wasseranalysen, geben Orientierungswerte zum Erkennen von auffälligen Beeinflussungen und können bei Sanierungen als Entscheidungshilfe dienen. Der Bericht weist jedoch auch darauf hin, daß schematische Anwendungen dieser Beurteilungshilfen nicht zweckdienlich sind.

Mit dem **Basismeßnetz** soll die natürliche, vom Menschen nicht direkt beeinflusste Beschaffenheit von oberflächennahen und tiefen Grundwässern, also die durch die geologisch-petrographischen, bodenkundlichen und hydrologischen Verhältnisse jeweilig vorgegebene großflächige Zusammensetzung der Grundwassers erfaßt werden. Deshalb umfaßt das Basismeßnetz überwiegend Meßstellen mit bewaldeten Einzugsgebieten. Aufgrund des ubiquitären z.B. atmosphärischen Schadstoffeintrags ist aber die Erfassung einer gänzlich unbeeinflussten Grundwasserbeschaffenheit zumindest für oberflächennahe Grundwässer nicht mehr möglich, deshalb beschreiben die Ergebnisse aus dem Basismeßnetz die „geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit“. Die Basismeßstellen sind Grundwasserlandschaften und Aquiferen zugeordnet, um großflächige hydrochemische Charakterisierungen innerhalb der vorgegebenen geologischen Einheiten zu ermöglichen. Dokumentation und Auswertung der Ergebnisse erfolgen grundwasserlandschaftsspezifisch, um bei der Schutzziausarbeitung gezielter auf die jeweiligen natürlichen Gegebenheiten eingehen zu können.

Datengrundlage sind die Auswertungen von 112 Meßstellen der Jahre 1985 bis 1991 (jährlich zweimal durchgeführte Analysen) mit 58.306 Einzelergebnisse für über 50 chemisch-physikalische Parameter. Bis zu 1.200 Einzelanalysen pro Parameter liegen vor. Für 36 natürlich im Grundwasser vorkommende Substanzen wird die geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit in allen 19 Grundwasserlandschaften und Aquiferen statistisch beschrieben (34.120 Einzeldaten). Auch Befunde von grundwasserfremden Stoffen (24.186 Einzeldaten) werden dargestellt. Die Nichtnachweisbarkeit bzw. die wenigen positiven Befunde von grundwasserfremden Substanzen unterstreichen die gelungene Konzeption und Realisierung des Basismeßnetzes.

Die geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit wird für einen Wertebereich definiert, der 80 % aller Werte umfaßt. Dieser Wertebereich kann i.d.R. den petrographisch bedingten Schwankungsbereich der Konzentrationen innerhalb einer Grundwasserlandschaft darstellen. Auch an Quellen auftretende kurzfristige schüttungsbedingte Konzentrationsänderungen werden damit zum größten Teil erfaßt.

Statistische Kennzahlen der geogen geprägten Hintergrundbeschaffenheit (Perzentilwerte, Median, Minimum, Maximum) werden in graphischer und tabellarischer Form dargestellt. Soweit möglich werden die Verteilungsmuster der Wasserinhaltsstoffe in den einzelnen Grundwasserlandschaften beschrieben und unter Angabe der natürlichen Herkunft diskutiert.

Es existieren **hydrochemisch-physikalische Unterschiede** zwischen den Grundwasserlandschaften und Aquiferen. Tiefe und alte mineralisierte Grundwässer unterscheiden sich deutlich von den oberflächennahen, jungen, geringer mineralisierten Grundwässern. Stoffliche In-

teraktionen, die als typisch für einzelne Grundwasserlandschaften gelten dürften, spiegeln sich in den gefundenen Konzentrationsbereichen wider. Konzentrationsunterschiede lassen sich anhand der Abhängigkeiten von Redoxspannung, vom pH-Wert und vom Alter des Grundwassers erklären. Grundwässer mit höheren Gehalten an organischen Substanzen oder ältere Grundwässer sind meist sauerstoffarm, wobei z.T. höhere Gehalte an Schwermetallen und an reduziert vorliegenden Substanzen (z.B. Ammonium) und geringere Gehalte an oxidiert vorliegenden Substanzen (z.B. Nitrat) typisch sind. An einigen Quellen in carbonatarmen Grundwasserlandschaften ergeben sich Hinweise auf eine Versauerung der oberflächennahen Grundwässer.

Die **Wertebereiche** der geogen geprägten Hintergrundbeschaffenheit einzelner Grundwasserlandschaften (z.B. Oberrheinebene, Keuper, Muschelkalk) mögen für einzelne Parameter (z.B. Sauerstoff, Sulfat, Chlorid) nicht hinreichend repräsentativ sein; lokal und regional sind höhere Konzentrationen bekannt. Eine stärkere Einbeziehung solcher Grundwasserbereiche mit z.B. höheren Chlorid- und Sulfatkonzentrationen wäre zur Erfassung der geogen geprägten Grundwasserbeschaffenheit sinnvoll, würde aber die Warnfunktion des Basismeßnetzes im Hinblick auf anthropogene Kontaminationen einschränken. Insoweit wurden die Basismeßstellen unter Abwägung der Anforderungen an Repräsentativität und Frühwarnfunktion ausgewählt.

Die Werte der geogen geprägten Hintergrundbeschaffenheit liegen bis auf wenige Ausnahmen **unter den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung (TrinkwV)**. Dies zeigt, daß die Eignung der nach nutzungsorientierten Aspekten festgelegten Grenzwerte der TrinkwV für die Beurteilung der Qualität von Grundwässern begrenzt sind. Insbesondere darf die Differenz von „niedrigen“ Beschaffenheitswerten zum Grenzwert der TrinkwV keinesfalls als „erlaubte Auffüllreserve“ zur Grundwasserverschmutzung mißdeutet werden. Grundsätzlich muß Grundwasser daher vor dem Hintergrund seiner natürlichen Beschaffenheiten beurteilt werden.

Gleichwohl werden **von einzelnen anthropogen unbelasteten Grundwasservorkommen die Grenzwerte der TrinkwV sogar überschritten**, z.B. bei: Temperatur, Färbung, Natrium, Nitrit, Bor, Aluminium, Eisen, Mangan, Arsen (zukünftiger Grenzwert: 0,01 mg/l As). Beim pH-Wert wird in carbonatarmen Grundwasserlandschaften der untere Grenzwert von 6,5 unterschritten. Einzelne Extremwerte, die trotz ihres natürlichen Ursprungs nicht in die Streuungsbereiche der geogen geprägten Hintergrundbeschaffenheit eingehen, überschreiten die Grenzwerte der TrinkwV bei: Temperatur, Färbung, Oxidierbarkeit, Magnesium, Natrium, Barium, Nitrit, Sulfat, Fluorid, Bor, Aluminium, Eisen, Mangan, Arsen, Blei. Beim pH-Wert werden extreme Grenzwertunterschreitungen bis auf pH 4,25 beobachtet.

Das mit diesem Bericht vorgelegte Datenmaterial dient zur **Orientierung bei der Beurteilung von Grundwasseranalysen**. Es ersetzt jedoch nicht weiterhin notwendige Zusatzuntersuchungen für die lokale Situationsbewertung: Liegen z.B. die Konzentrationswerte eines Wasserinhaltsstoffes bei einer zu bearbeitenden Grundwasseranalyse im geogen geprägten Streuungsbereich der betreffenden Grundwasserlandschaft oder unter der natürlichen Untergrenze, so ist eine anthropogene Beeinflussung hier nicht „automatisch“ auszuschließen. Vielmehr können die lokalen natürlichen Konzentrationen durchaus geringer sein. Liegen höhere Konzentrationswerte außerhalb des geogen geprägten Streuungsbereiches vor, so ist eine natürliche kleinräumig begrenzte Besonderheit als Ursache denkbar, aber auch eine anthropogene direkte oder diffuse Beeinflussung ist nicht sofort auszuschließen. In jedem Fall sind sorgfältige Prüfungen unter Einbeziehung der Umfelddaten und Vergleiche mit benachbarten Meßstellen notwendig. Natürliche lokale Besonderheiten sind z.B.: Kommunikation mit anderen Grundwasserlandschaften, Aufstieg von tiefen mineralisierten Grundwässern, Infiltration von Oberflächenwasser, pedologische und petrographische Besonderheiten im Einzugsgebiet z.B.: Erz-, Öl- und Salzlagerstätten, Gipsvorkommen, vulkanische Gesteine, natürlich bedingtes sauerstoffarmes Milieu durch moorige Böden.

1 Datengrundlage

Das Gesamtmeßnetz des Landes

In Baden-Württemberg wird seit 1985 ein landesweites Grundwasserbeschaffenheitsmeßnetz aufgebaut und betrieben. Es umfaßt derzeit (1993) etwa 2.600 Meßstellen. Am Aufbau und Betrieb des landesweiten Grundwasserbeschaffenheitsmeßnetzes sind das Land Baden-Württemberg, im Wege der freiwilligen Kooperation auch die Kommunen, die Wasserversorgungswirtschaft und die Industrie beteiligt.

Das Grundwasserbeschaffenheitsmeßnetz gliedert sich in mehrere Teilmeßnetze (Basis-, Quell-, Landwirtschafts-, Industrie-, Siedlungsmeßnetz) mit einer z.T. auch nutzungsbezogenen Überwachung. Das Basismeßnetz erfaßt die weitgehend natürliche Grundwasserbeschaffenheit. Gesamtziel ist die Beschreibung der anthropogenen Grundwasserbeeinflussung durch Vergleich der Ergebnisse des Basismeßnetzes mit den Ergebnissen aus den nutzungsbezogenen Meßnetzen. Die im Basismeßnetz gewonnenen Daten können auch als Entscheidungshilfe bei Sanierungsbewertungen herangezogen werden (Grimm-Strele & Feuerstein, 1991; Grimm-Strele, Barufke & Feuerstein, 1993). Das gesamte Grundwasserbeschaffenheitsmeßnetz gibt jährlich einen aktuellen Überblick über die Beschaffenheit der Grundwasservorkommen des Landes (Ist-Zustand) und dient als Informationsgrundlage für Entscheidungsträger, Umweltschutzverwaltung und Öffentlichkeit. Es liefert Grundlagen für die Festlegung umweltpolitischer Ziele und für die Erfolgskontrolle von bereits eingeleiteten umweltpolitischen Maßnahmen. Eine detaillierte Beschreibung des Aufbaus, des Gesamtziels und der Ziele der Teilmeßnetze findet sich im jeweils aktuellen Projektbericht (zuletzt LfU, 1991).

Das Basismeßnetz

Das Basismeßnetz ist das als erstes weitgehend fertiggestellte Teilmeßnetz der Gesamtmeßnetzkonzeption zur Erkundung der Grundwasserbeschaffenheit in Baden-Württemberg. Es wurde in den Jahren 1983-1984 geplant und wird seit 1985 betrieben. Mit dem Basismeßnetz wird das Ziel verfolgt, die natürliche, vom Menschen weitgehend unbeeinflusste Beschaffenheit des Grundwassers in Baden-Württemberg zu erfassen und die geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit zu beschreiben. Zur Beurteilung von Grundwasseranalysen aller Art ist der einordnende Vergleich der natürlichen - durch die geologischen, bodenkundlichen und hydrologischen Verhältnisse vorgegebenen - Grundwasserbeschaffenheit unabdingbar.

Als erster Arbeitsschritt wurden deshalb in Baden-Württemberg durch das Geologische Landesamt verschiedene Grundwasserlandschaften unterschieden (GLA & LfU, 1985). Als Grundwasserlandschaft wird ein Gebiet mit geologisch-morphologisch einheitlichem Charakter verstanden, dessen hydrogeologische Eigenschaften von einem oder mehreren gleichartigen oberflächennahen Grundwasserleitern (Aquifere) und den diese voneinander trennenden Nicht- oder Geringleitern geprägt werden. Weiterhin sind auch tiefe Grundwasserleiter kartenmäßig dargestellt. Die 1985 festgelegten Grundwasserlandschaften und Aquifere befinden sich in den Karten in den Umschlagsdeckeln.

Zur besseren hydrochemischen Charakterisierung der Grundwasserlandschaften und Aquifere wurde die von der 1985 vom GLA und LfU vorgenommene Gliederung (Karten in Umschlagsdeckeln) in einigen Punkten modifiziert (Tab. 1). Im vorliegenden Bericht werden vereinfacht auch die Aquifere mit dem Begriff Grundwasserlandschaft bezeichnet.

Lage der Basismessstellen

Im oberflächennahen Grundwasser wurde die Lage der Basismessstellen derart festgelegt, daß die Messstellen überwiegend gut abgrenzbare bewaldete Einzugsgebiete erfassen. Dort sind hauptsächlich natürliche Stoffumsetzungen wirksam. Durch den Menschen verursachte, z.B. atmogene Prozesse spielen hier in der Regel eine untergeordnete - aber beachtenswerte - Rolle. Als Basismessstellen werden genutzte Quellen und Brunnen bevorzugt, da diese z.T. lange zurückreichende Meßreihen aufweisen und da deren hydrogeologische Verhältnisse weitgehend bekannt sind. In tiefen Grundwasserstockwerken, in denen das Grundwasser Trinkwasserqualität aufweist (d.h. Feststoffinhalt kleiner 1 g/kg) dienen Tiefbrunnen als Basismessstellen.

Entwicklung des Basismessnetzes

1993 umfaßte das Basismessnetz 113 Messstellen, wovon 90 Messstellen (70 Quellen, 16 Brunnen, 4 Grundwasserbeobachtungsrohre) das oberflächennahe und 23 Messstellen (18 Brunnen, 5 Grundwasserbeobachtungsrohre) das tiefe Grundwasser erschließen. Die Lage und die messstellenspezifische hydrogeologische Zuordnung zu Grundwasserlandschaften und Aquiferen wurde schon in den Karten der ersten Basismessstellenberichte dokumentiert (GLA & LfU, 1985, LfU & GLA, 1987). Den Ausbaustand 1993 zeigen die Karten in den Umschlagsdeckeln des vorliegenden Berichts. Erste Untersuchungsergebnisse wurden 1987 und 1990 veröffentlicht (LfU & GLA, 1987, 1990).

Tab. 1 zeigt die Verteilung der Basismessstellen über 19 Grundwasserlandschaften und Aquifere. Die Grundwasserlandschaften Kristallin, Buntsandstein, Malm, Höherer Keuper und die quartären eiszeitlichen Sande und Kiese des Alpenvorlandes sind durch eine relativ große Anzahl von Messstellen abgedeckt, während dies für einen Teil der anderen Grundwasserlandschaften nur annähernd der Fall ist.

Die überragende Bedeutung des Oberrheingrabens als Trinkwasserreservoir erfordert dort eine Ausweitung des Basismessnetzes. Allerdings sind wegen der hohen Besiedlungsdichte und der intensiv betriebenen Landwirtschaft im Oberrheingraben Grundwässer ohne deutliche menschliche Beeinflussung vergleichsweise selten.

Beprobung und Betrieb

Die Beprobung der Basismessstellen erfolgte bis 1991 zweimal jährlich, im Frühjahr und im Herbst, wodurch auch jahreszeitliche Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit annähernd erfaßt werden konnten. Die Proben werden von landeseigenen und von beauftragten privaten Laboren analysiert. Die Analyseergebnisse werden bei den Laboren mit dem Labordatenübertragungssystem LABDÜS auf Disketten erfaßt und bei der LfU über eine Plausibilitätsroutine geprüft. Informationen zur Durchführung, zum Parameterumfang und zu den Analyseergebnissen der von 1985 bis 1989 vorgenommenen Untersuchungen sind dem Bericht über die Analyseergebnisse des Basismessnetzes zu entnehmen (LfU & GLA, 1990).

Bisherige Ergebnisse

Die bisher vorgenommenen Auswertungen der Grundwasserbeschaffenheitsdaten zeigen deutliche Unterschiede zwischen den gering mineralisierten oberflächennahen Grundwässern des Kristallins und des Buntsandsteins gegenüber Wässern aus anderen Grundwasserlandschaften.

Deutlich unterscheiden sich tiefe von oberflächennahen Grundwässern hinsichtlich ihrer hydrochemischen Zusammensetzung (LfU & GLA, 1987).

Die Gehalte an unerwünschten und toxischen Inhaltsstoffen liegen im Basismessnetz erwartungsgemäß zum größten Teil unter den zulässigen Höchstkonzentrationen der Trinkwasserver-

ordnung (TrinkwV, 1990). Dies läßt aber nicht den Schluß zu, daß das Grundwasser an den Basismessstellen frei ist von anthropogenen diffusen Belastungen. Mögliche Hinweise auf diffuse Belastungen gibt das Vorhandensein von saurem Grundwasser in den oberflächennahen Grundwasservorkommen des Odenwaldes und des Schwarzwaldes, wo relativ hohe Sulfat- und Aluminiumkonzentrationen gemessen wurden (Köhler, Feuerstein, Grimm-Strele, 1989; LfU & GLA, 1990; Köhler, 1992). Dieses Ergebnis unterstreicht die Funktion des Basismessnetzes als Warninstrument für die Wasserwirtschaft im Hinblick auf diffuse, erst langfristig wirksame Grundwasserbelastungen. Odenwald und Schwarzwald gehören zu den mit am stärksten von der Gewässerversauerung bedrohten Gebieten Mitteleuropas (Schön, Wright, Krieter, 1984; UBA, 1987). Hier sind die atmosphärischen Stoffeinträge und deren Folgen beschrieben und untersucht (u. a. von Feger, 1986; Adam, Evers & Littek, 1987; Meesenburg, 1987; LfU, 1988; LfU, 1989b; LfU, 1989c; Evers & Krebs, 1990). Die Basismessstellen in dicht bewaldeten Gebieten weisen auf Zusammenhänge zwischen Grundwasserversauerung und Filterwirkung von Waldbeständen (Auskämmeffekt) hin. Für das baden-württembergische Schönbuchgebiet beschreibt Agster (1984) eine in der Reihenfolge Freiland, Laubwald, Nadelwald zunehmende SO_4 -Deposition.

Tab. 1: Verteilung der Basismessstellen in den Grundwasserlandschaften und Aquifere Baden-Württembergs

Grundwasserlandschaften und Aquifere	Anzahl der Basismessstellen
QUARTÄR, Talfüllungen	1
QUARTÄR, eiszeitliche Kiese und Sande des Oberrheingraben	4
QUARTÄR, Albsüdrand und Alpenvorland	6
QUARTÄR, eiszeitliche Kiese und Sande, moränenüberdeckt	6
QUARTÄR, tief, Oberrheingraben	4
TERTIÄR, Albsüdrand und Alpenvorland	7
TERTIÄR, tief, Pliozän, Oberrheingraben	1
TERTIÄR, tief, Miozän Obere Meeresmolasse	4
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11
MALM, tief, Alpenvorland	9
LIAS und DOGGER, Albvorland	3
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16
LETTENKEUPER	2
MUSCHELKALK	8
MUSCHELKALK, tief	1
BUNTSANDSTEIN	17
ROTLIEGENDES	1
BUNDSANDSTEIN, tief	2
KRISTALLIN, Schwarzwald	10
Summe	113

Im Vergleich der bisher gewonnenen Analysedaten mit den zulässigen Höchstkonzentrationen der Trinkwasserverordnung wird auch offenbar, daß Hintergrundbeschaffenheitswerte in einzelnen Fällen die Grenzwerte nahezu erreichen oder sogar übertreffen. Die Neufassung der Trinkwasserverordnung (TrinkwV, 1990) berücksichtigt teilweise die geogen bedingte Hintergrundbeschaffenheit.

Die geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit wird für die im Basismessnetz gemessenen chemisch-physikalischen Parameter anhand der Datenbasis 01.01.1985 bis 31.12.1991 dargestellt.

Dies geschieht für 112 der 113 Basismessstellen. Eine Messstelle im moränenüberdeckten Quartär konnte nicht berücksichtigt werden, da die hier gegebene hydraulische Wechselwirkung zum tiefen Grundwasser der Oberen Meeresmolasse das charakteristische hydrochemische Bild der Grundwasserlandschaft „moränenüberdecktes Quartär“ bezüglich der Parameter Natrium, Bor, Fluorid, Chlorid, Ammonium und bei einigen Schwermetallen erheblich verzerrt hätte. An anderen Messstellen im moränenüberdeckten Quartär sind die Konzentrationen erheblich geringer. Bei den Auswertungen der Nitratkonzentrationen bleiben je eine Messstelle im Quartär am Albsüdrand/Alpensüdrand und im moränenüberdeckten Quartär unberücksichtigt, da hier z.T. höhere als die hier angegebenen Nitratwerte gemessen werden. Chemische Folgereaktionen von nitrifizierenden Prozessen (z.B. zunehmende Aufhärtung) sind aus den bisher vorliegenden Daten nicht schlüssig erkennbar. Diese beiden Messstellen werden hinsichtlich eines möglichen NO_3^- Eintrags aus dem weiteren Einzugsgebiet überprüft. Aufgrund des möglichen Einflusses des Messstellenausbaus auf die Schwermetallgehalte wurden insgesamt zehn Messstellen aus der Auswertung für Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Quecksilber, Zink, Eisen, Mangan, Aluminium ausgeschlossen. Die betroffenen Messstellen liegen in den Grundwasserlandschaften Höherer Keuper, Tiefer Buntsandstein, Muschelkalk, Tiefer Malm und Quartär des Oberrheingrabens.

2 Zur Definition der geogen geprägten Grundwasserbeschaffenheit

Für die Beurteilung der direkten anthropogenen Einflüsse auf das regionale Grundwasservorkommen sind Kenntnisse der großräumigen geogen geprägten Grundwasserbeschaffenheit hilfreich (DVGW & DVWK, 1991).

Brauchbar sind aber stets nur langfristige Datenreihen von sorgfältig ausgewählten und bewerteten Messstellen; einmalige Beprobungen reichen nicht aus, da Konzentrationswerte in weiten Grenzen natürlicherweise streuen können, z.B. in Abhängigkeit vom hydrologischen Regime eines Jahres, von der Jahreszeit und von den in einer Grundwasserlandschaft lokal unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten. Die naturräumlichen Verhältnisse sind z.B. durch Vegetation, Böden, Gesteine, Durchlässigkeiten im Aquifer, Porengrundwasser - Kluftgrundwasser etc. geprägt. Weiterhin beeinflussen anthropogene Prozesse die Grundwasserbeschaffenheit kleinräumig wie auch großräumig (z.B. Luftverunreinigungen).

Im hier vorliegenden Bericht wird deshalb der Begriff „geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit“ verwendet.

Beispiele für die vielfältigen Einflüsse auf das Grundwasser sind in Abb. 1 zusammengestellt. Die verschiedenen Einflüsse können sich überlagern und/oder in Wechselwirkung stehen.

Geogene Grundwasserbeschaffenheiten bzw. Hintergrundwerte werden u. a. auch in statistisch aufbereiteter Form in Hölting, Kanz, Schulz (1982), Leuchs & Friege (1990), Hölting (1991) und in Schleyer & Kerndorf (1992) dargestellt. Grahmann (1958) und Fast & Sauer (1958) beschrieben anhand von zur damaligen Zeit meßbaren Parametern die „natürliche“ Beschaffenheit des Grundwassers.

2.1 Statistische Methoden zur Auswertung der Grundwasserbeschaffenheitsdaten

Zur Beschreibung der geogen geprägten Hintergrundbeschaffenheit werden Methoden der beschreibenden Statistik sowie weiterführende Statistikverfahren eingesetzt, wie in Baden-Württemberg für regionale Fallstudien bereits erfolgreich erprobt (LfU, 1992).

Die Beschreibung von Umweltdaten durch Verfahren der beschreibenden und analytischen Statistik ist problembehaftet und kann zu Verzerrungen führen (Grimm-Strele & Feuerstein, 1991). Insbesondere sind von der Normalverteilung abweichende, unsymmetrische Verteilungen der Einzelwerte um den Mittelwert bei physikalisch-chemischen Daten zu beachten. Kennzeichnend für chemisch-physikalische Daten sind:

- das Vorliegen einer unteren Bestimmungsgrenze,
- das Vorhandensein von statistischen "Ausreißern",
- im statistischen Sinne zu geringe Stichprobenumfänge.

Jedes physikalisch-chemische Analyseverfahren besitzt eine **Bestimmungsgrenze (BG)**. Die Wasserinhaltsstoffe treten im Grundwasser aber vielerorts in Konzentrationen unterhalb dieser Bestimmungsgrenzen auf. Gerade für die Beschreibung von z.B. geringen Konzentrationen bei weitgehend unbeeinflussten Grundwässern ist eine angemessene Behandlung der Werte kleiner BG vordringlich. Hier stellt sich das Problem, wie bei Unterschreitung der Bestimmungsgrenze, also bei Nichtnachweisbarkeit einer Substanz, dieses zahlenmäßig dargestellt und statistisch verarbeitet werden soll.

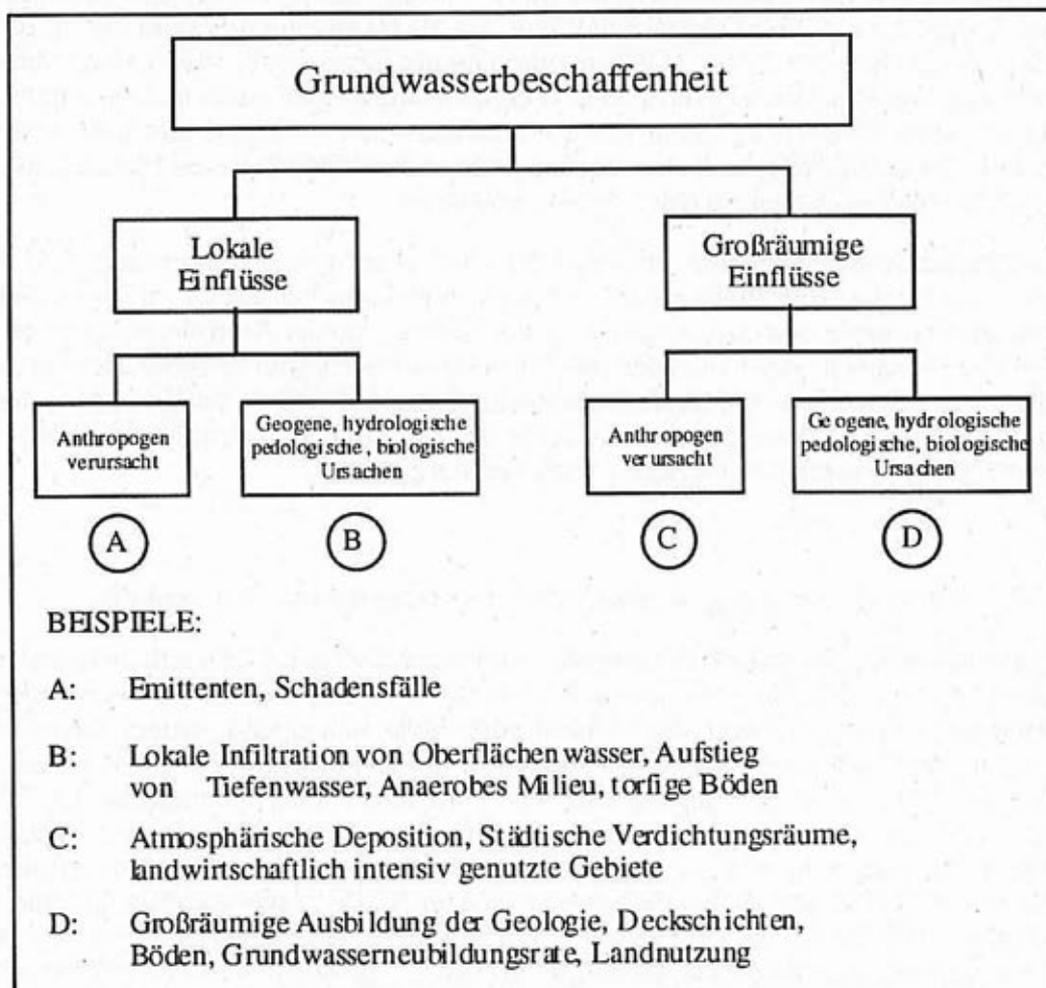


Abb. 1: Schematische Darstellung der lokalen und großräumigen Einflüsse auf das Grundwasser und Beispiele für Einflußgrößen auf die Grundwasserbeschaffenheit

Bei Werten $< BG$ müssen die Bestimmungsgrenzen genannt werden (z.B. Arsen: $< 0,0001 \text{ mg/l}$). Bei statistischen Anwendungen werden solche Unterschreitungen der BG ("n.n.") häufig weggelassen, mit dem Wert 0 ersetzt oder mit dem Wert des halbierten BG-Wertes gleichgesetzt, was aber zu fehlerhaften statistischen Kenngrößen führt, z. B. zu einem zu kleinen Mittelwert (Grimm-Strele & Feuerstein 1991).

Probleme treten ferner auf, wenn Untersuchungsergebnisse einzelner Parameter mit verschiedenen hohen Bestimmungsgrenzen statistisch ausgewertet werden sollen, z.B. wenn verschiedene Labors unterschiedliche Analysemethoden verwenden oder neue Verfahren eingeführt werden.

Ausreißertests können zur Selektion eines „homogenen“ Datensatzes führen, der den natürlichen Gegebenheiten nicht mehr entspricht. Statistische "Ausreißer" eines in der Natur gewonnenen Datenkollektivs beruhen nicht nur auf Meßfehlern, sondern können auch auf natürliche z.B. jahreszeitliche Unterschiede in einer für den Betrachter als homogen angesehenen naturräumlichen Einheit zurückzuführen sein. Im Gegensatz zu Naturmessungen sind die Ausreißer bei reinen Laborforschungsprojekten mit synthetischen Proben i.d.R. tatsächliche Meßfehler.

Ein ausreichend großer **Stichprobenumfang** ist Voraussetzung für fast alle statistischen Verfahren. So gilt oft erst ein Stichprobenumfang von 50-60 Fällen pro Parameter für den Schluß auf das statistische Verhalten der Grundgesamtheit als ausreichend. Diese Anzahl liegt bei der Auswertung von kostenintensiven chemischen Untersuchungen meist nicht vor und ist bisher auch im Basismeßnetz zum größten Teil noch nicht erreicht worden. Außerdem wurde das hier vorgelegte Datenkollektiv des Basismeßnetzes aus unterschiedlich vielen Messungen an relativ wenigen Beobachtungspunkten (Meßstellen) gewonnen.

Im **vorliegenden Bericht** wurde aufgrund der oben genannten Anforderungen und Probleme ein rangstatistisches Verfahren zur Ermittlung von statistischen Kennzahlen gewählt. Dieses Verfahren setzt keine Normalverteilung voraus. Werte „kleiner Bestimmungsgrenze“ werden ersatzweise mit dem exakten Wert der jeweiligen Bestimmungsgrenze berücksichtigt. Ausreißer werden nicht ausgeschlossen, sondern als solche dargestellt und in die Ermittlung der statistischen Kennzahlen einbezogen, ohne die Höhe der Kennzahlen in dem Maße zu beeinflussen, wie es bei einigen anderen statistischen Verfahren der Fall ist.

2.2 Berechnung der geogen geprägten Hintergrundbeschaffenheit

Rangstatistische Verfahren mit der Angabe von Perzentilwerten sind verbreitete, bewährte Instrumente zur Beschreibung von Umweltdaten. Beim **rangstatistischen Verfahren** werden die Analysenwerte in eine nach der Konzentrationshöhe aufsteigend sortierte Reihe überführt. Es werden **Perzentilwerte** (10., 25., 50., 75., 90. Perzentil) ermittelt. Ein Perzentil gibt dabei den Anteil der Daten in % an, die eine bestimmte Konzentration unterschreitet. Es gibt der 50. Perzentilwert, auch Median genannt, den Konzentrationswert an, der das Datenkollektiv korrekt in zwei Bereiche teilt, in einen Bereich mit höheren und in einen Teil mit niedrigeren Meßwerten, d.h. 50% der Meßwerte liegen unter dem 50. Perzentilwert (Median) und 50% liegen darüber. Die 10. (P10), 25. (P25), 75. (P75) und 90. (P90) Perzentilwerte geben die jeweiligen Konzentrationswerte an, unter denen (kleiner - gleich) 10%, 25%, 75% und 90% aller Werte liegen. Zur Bestimmung der Perzentilwerte wird bei Bedarf zwischen Meßwerten linear interpoliert. Weiterhin werden weitere statistische Kennzahlen angegeben (Maximum, Minimum, Median). Auf die Angabe von arithmetischen Mittelwerten wird verzichtet, da die Extremwerte die Mittelwertbildung zu sehr beeinflussen.

Zur Festlegung der Ober- und Untergrenzen von Hintergrundwerten werden häufig verschiedene Perzentilwerte benutzt. Für das Grundwasser in Nordrhein-Westfalen wählen Leuchs &

Friege (1990) als Obergrenze der Hintergrundbeschaffenheit das 95. Perzentil. Für die Beurteilung der Rohwasserbeschaffenheit in der Bundesrepublik wählen Schleyer & Kerndorff (1992) das 84. Perzentil. Im vorliegenden Bericht wird als Obergrenze der geogen geprägten Hintergrundbeschaffenheit der 90. Perzentilwert (P90) gewählt. Im weiteren wird die geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit statistisch als Bereich des Abstandes zwischen einer Untergrenze (Konzentrationswert des 10. Perzentils) bis zu einer Obergrenze (Konzentrationswert des 90. Perzentils) definiert. Dieser Wertebereich umfaßt 80% aller Werte und kann i.d.R. den petrographisch bedingten Konzentrationsschwankungsbereich innerhalb einer Grundwasserlandschaft darstellen. Auch an Quellen auftretende kurzfristige schüttungsbedingte Konzentrationsänderungen werden damit zum größten Teil erfaßt. Dieser Wertebereich wird bei der Beurteilung von Umweltdaten häufig benutzt und hat sich bewährt.

Großräumige diffuse Belastungen z.B. aus der Atmosphäre können bei einigen Parametern die Streuungsbereiche der Hintergrundbeschaffenheit mitprägen. In Kapitel 4 werden zur Beschreibung des Streuverhaltens weitere Perzentilwerte angegeben. Alle statistischen Kennzahlen sind für jeden Parameter in Graphiken und Tabellen dargestellt.

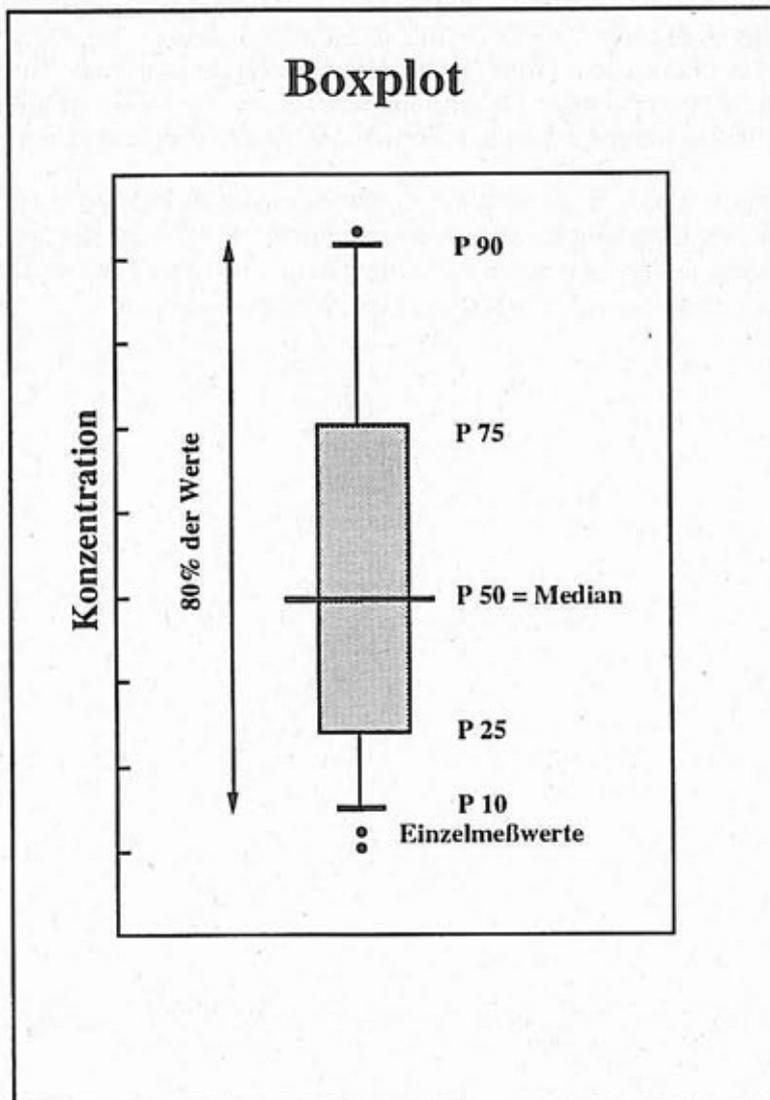


Abb. 2: Beispiel eines BOXPLOTS(Erläuterung im Text)

Die **graphische Darstellung** der Streuungsbereiche geschieht in BOXPLOT-Form (Abb. 2). Die Extremwerte, die unterhalb des P10-Wertes und oberhalb des P90-Wertes liegen, sind in den Plots als Einzelmeßwerte dargestellt. In den **Tabellen** sind zusätzlich die Anzahl der Meßstellen (MST) und die Anzahl der vorhandenen Analysenwerte (ANA) angegeben. Die Angabe der statistischen Kennzahlen erfolgt im Hinblick auf die rechnerische Ermittlung (Interpolation) einzelner Perzentilwerte mit einer Nachkommastelle mehr, als in den Grundsatzpapieren (LfU, 1989a) bzw. anderen Regelwerken (z.B. DEV) über die Angabe von hydrochemischen Meßwerten vorgesehen ist. Am oberen Tabellenrand sind für jeden Parameter die im Datenkollektiv verwendeten Bestimmungsgrenzen (BG) angegeben. Die weniger häufig vorkommenden Bestimmungsgrenzen sind in Klammern gesetzt (Kap. 4). Ein Tabellenwert mit der Angabe „kleiner als“ ist rein statistisch zu verstehen.

Aus der Literatur gewonnene "normale" Konzentrationswerte für Grundwässer, Oberflächengewässer und für Sedimente, Gesteine und Böden werden als Anhaltspunkte für die Einordnung und die Interpretation der in den Grundwässern des Basismeßnetzes gefundenen Gehalte herangezogen. Hinweise auf Hintergrundwerte für Gestein, Boden, Sedimente und Wasser geben u. a. die Publikationen des DVGW (1985; 1988), der LfU (1990) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Fauth u. a., 1985). Diese Angaben beziehen sich in vielen Fällen nicht auf Gewässer. Hohe Stoffgehalte im Gestein und im Boden lassen keine Rückschlüsse auf die zu erwartenden Gehalte im Wasser zu. Trotzdem gibt die zitierte Literatur wertvolle Hilfen für die Interpretation der Grundwasserbeschaffenheitsdaten.

Auffällige statistische Kennzahlen (z. B. Extremwerte) werden - soweit möglich - meßstellen-spezifisch auf ihren natürlichen Ursprung hin diskutiert und bewertet. Werden die Extremwerte als natürlich bewertet, so kann die geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit für den jeweiligen Parameter durchaus im Bereich zwischen Minimum und Maximum liegen.

3 Übersicht über die geogen geprägte Grundwasserbeschaffenheit in Baden-Württemberg

Tab. 2 zeigt eine statistische Übersicht der geogen geprägten Grundwasserbeschaffenheit, die sich aus den Untersuchungen im Basismeßnetz nach einfacher Sortierung der insgesamt vorhandenen Analysendaten der 13 oberflächennahen Grundwasserlandschaften und Aquifere ergibt. Die Daten vom tiefen Quartär und Tertiär des Oberrheingrabens, von der Oberen Meeresmolasse, vom tiefen Malm des Alpenvorlandes, vom tiefen Muschelkalk und vom tiefen Buntsandstein sind im weiteren Kapitel 4 einzeln dargestellt.

Die in Tab. 2 angegebenen landesweiten Perzentilwerte (10. Perzentil = H10; 90. Perzentil = H90) für oberflächennahe Grundwässer geben einen Hinweis auf die generelle Größenordnung der vorgefundenen Konzentrationen in Baden-Württemberg.

Die H90-Werte und die Wertebereiche zwischen H90- und H10-Werten sind wiederholt zu groß, um im Einzelfall als Beurteilungsgrundlage, z.B. für das Erkennen von Grundwasserbeeinflussungen dienen zu können (z.B. bei der Elektr. Leitfähigkeit, Ca, Mg, Na, Ba, o-PO₄). Für Einzelfallbewertungen von Grundwässern sind darüberhinaus stets detaillierte Kenntnisse der geogen bedingten lokalen Grundwasserbeschaffenheit notwendig. Statistische Meßzahlen für großräumige Grundwasserlandschaften oder gar das gesamte Land können allenfalls zur groben Orientierung dienen.

Tab. 2: Statistische Übersicht für oberflächennahe Grundwässer im Basismeßnetz in Baden-Württemberg (Datenbasis 1985-1991)

Param.	Dim.	H10	H90
Temperatur	°C	6,6	9,9
Färbung	l/m	0,000	0,200
El. Leitf.	ms/m	4,7	62,3
pH-Wert	pH	5,81	7,70
KS _{4,3}	mmol/l	0,21	6,08
KB _{8,2}	mmol/l	0,11	0,63
Ges. Härte	mmol/l	0,14	3,50
O ₂	mg/l	5,0	11,8
SAK-254	l/m	0,1	1,7
Ox-MnVII-II	mg/l	< 0,20	0,80
DOC	mg/l	< 0,30	1,60
Ca	mg/l	3,7	104,0
Mg	mg/l	1,0	32,2
Na	mg/l	1,0	6,0
K	mg/l	< 0,50	2,10
Fe, ges.	mg/l	<0,001	0,020
Mn, ges.	mg/l	<0,001	0,017
Cl	mg/l	1,4	10,1

Param.	Dim.	H10	H90
SO ₄	mg/l	3,7	46,8
NO ₃	mg/l	2,4	14,6
NO ₂	mg/l	< 0,01	< 0,07
NH ₄	mg/l	< 0,039	<0,060
o-PO ₄	mg/l	< 0,030	0,156
SiO ₂	mg/l	3,6	11,6
B	mg/l	< 0,010	0,026
Al	mg/l	0,002	0,069
F	mg/l	0,050	0,320
Ba	mg/l	<0,010	0,530
As	mg/l	<0,0002	0,0026
Pb	mg/l	< 0,0005	<0,0005
Cd	mg/l	<0,00005	0,00016
Cr, ges.	mg/l	< 0,0002	0,0006
Ni	mg/l	< 0,0005	0,0019
Hg	mg/l	<0,00005	0,00006
Se	mg/l	< 0,0005	< 0,0030
Zn	mg/l	< 0,0100	0,0100

4 Geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit in den Grundwasserlandschaften

4.1 Temperatur

Allgemeines

Grundwassertemperaturen sind abhängig:

- von der Temperatur des versickernden Bodenwassers, welches tages- und jahreszeitliche Temperaturschwankungen aufweist
- von den biochemischen wärmeabgebenden (exothermen) Prozessen im Boden und im Aquifer
- von der mit zunehmender Tiefe steigenden Erdtemperatur.

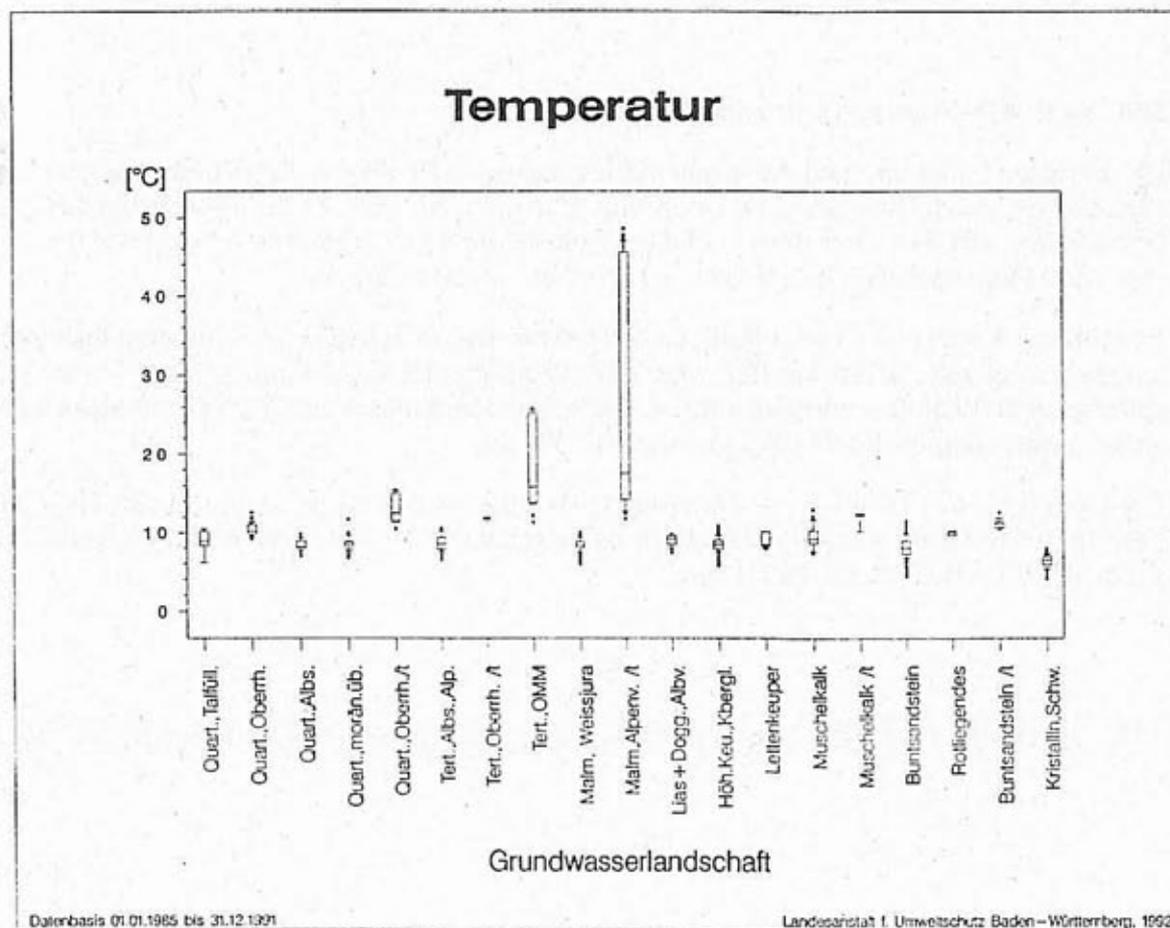
Oberflächennahes Grundwasser weist häufig eine Tagesperiodizität bis in eine Tiefe von 1-2 m auf, während sich jahreszeitliche Temperaturschwankungen bis in Tiefen von 10-20 m bemerkbar machen können. Oberflächennahes Grundwasser weist im Jahresmittel eine Temperatur auf, die weitgehend dem Jahresmittel der Lufttemperatur in der zu betrachtenden Region entspricht. Tiefe Grundwässer sind wärmer. Grundwässer, deren Temperaturen von Natur aus größer als 20 °C sind, bezeichnet man als Thermalwässer. Die mittlere geothermische Tiefenstufe beträgt in Mitteleuropa 33 m/1 °C, sie kann aber in Gebieten mit jüngerer vulkanischer Tätigkeit kleinere Werte annehmen. So liegt die geothermische Tiefenstufe in einem Bohrloch bei Dettingen am Neckar (Tiefe: 463 m) bei 18,5 m/1 °C, im Bohrloch Neuffen auf der Schwäbischen Alb (Tiefe: 337 m) bei 11,1 m/1 °C. Infiltrierende Oberflächengewässer beeinflussen auch die Grundwassertemperatur (LfU, 1989e).

Die Temperaturen im Basismessnetz

Die Temperaturen in den im Basismessnetz beprobten Grundwässern variieren zwischen 4,1 und 48,6 °C. Die Unterschiede zwischen den Grundwasserlandschaften sind einerseits auf die mit zunehmender Beprobungstiefe steigenden Erdtemperaturen (tiefe Aquifere) zurückzuführen, andererseits zeichnet sich eine Höhenabhängigkeit der Grundwassertemperaturen bei den oberflächennahen Grundwasserlandschaften ab. In den bis in die Höhenlagen des Schwarzwaldes reichenden Grundwasserlandschaften des Buntsandsteins und des Kristallins sind die Wassertemperaturen entsprechend den hier herrschenden Klimabedingungen am niedrigsten. Die Unterschiede zwischen den Extremwerten innerhalb einer oberflächennahen Grundwasserlandschaft sind - bis auf zwei Ausnahmen - auf das unterschiedliche thermische Verhalten von Grundwässern von mehreren einzelnen Basismessstellen zurückzuführen und nicht auf jahresperiodische Schwankungen an einer Messstelle. Die größte Jahresperiodizität (4,4 °C) weist die Basismessstelle in der quartären Talfüllung des Aitrachtals auf. In den tiefen Grundwasserlandschaften werden die höchsten Temperaturen registriert. Die sehr großen Streuungsbereiche im Grundwasser des tiefen Tertiärs (Obere Meeresmolasse) und des tiefen Malms sind durch einen bzw. drei Thermalwasserbrunnen bedingt.

Abb. 3: Statistische Kennzahlen - Temperatur

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talflüßungen	1	8	10.50	10.50	10.10	8.90	8.25	6.10	6.10
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	35	12.60	11.30	11.00	10.20	9.80	9.50	9.20
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	94	9.80	9.30	8.90	8.10	7.90	7.60	6.90
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	47	11.70	9.60	8.80	8.60	8.20	7.70	6.70
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	42	15.40	15.30	14.90	12.50	11.50	11.30	10.40
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	84	10.60	10.20	9.35	8.50	7.80	7.50	6.50
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	12.00	12.00	11.90	11.80	11.80	11.70	11.50
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	39	25.80	25.60	25.20	15.80	13.80	13.60	11.30
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	120	10.00	9.40	8.80	8.30	8.00	7.40	5.90
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	82	48.60	47.00	45.60	17.55	14.20	12.70	11.80
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	9.80	9.70	9.60	9.20	8.40	8.00	7.40
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	181	10.90	9.70	9.00	8.40	7.80	7.50	5.80
LETTENKEUPER	2	17	10.20	10.20	10.10	8.40	8.20	8.00	7.90
MUSCHELKALK	8	64	13.00	11.70	10.25	9.20	8.60	7.50	7.30
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	12.50	12.50	12.40	12.30	12.20	10.20	10.20
BUNTSANDSTEIN	17	203	11.50	9.80	8.90	8.00	7.20	6.70	4.40
ROTLIEGENDES	1	6	10.30	10.30	10.20	10.00	9.70	9.60	9.60
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	12.60	11.80	11.35	11.20	10.60	10.60	10.50
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	118	7.90	7.20	6.90	6.40	5.80	5.30	4.10



4.2 Färbung (SAK-436)

Allgemeines

Die Färbung eines filtrierten Wassers wird mit der Hilfe eines Spektralphotometers bei einer Wellenlänge von 436 nm gegen destilliertes Wasser gemessen (DEV C1-2, 1986). Dieser Meßwert wird als Spektraler Absorptionskoeffizient bei 436 nm (SAK-436) bezeichnet. Die in einer filtrierten Wasserprobe enthaltenen farbigen gelösten und ungelösten feindispersen Inhaltsstoffe verändern die spektrale Zusammensetzung des Lichtstrahls.

Im Grundwasser zeitweise auftretende Färbungen können auf eindringendes huminstoffhaltiges oder tontrübes Oberflächenwasser hindeuten (Höll, 1979).

Trinkwasser muß farblos und klar sein. Die Trinkwasserverordnung (1991) sieht für die Färbung einen Grenzwert von 0,5 [l/m] vor.

Die SAK-436-Werte im Basismeßnetz

Die höchsten Farbwerte und die größten Streubereiche zeigen die Grundwässer im Oberrheingraben. Auch bei SAK-254, Eisen und Mangan sind die oberrheinischen Grundwasserlandschaften auffällig. Dies deutet auf das Vorhandensein von Huminsäuren und von hohen Eisen- und Mangangehalten hin, welche hier das Grundwasser färben.

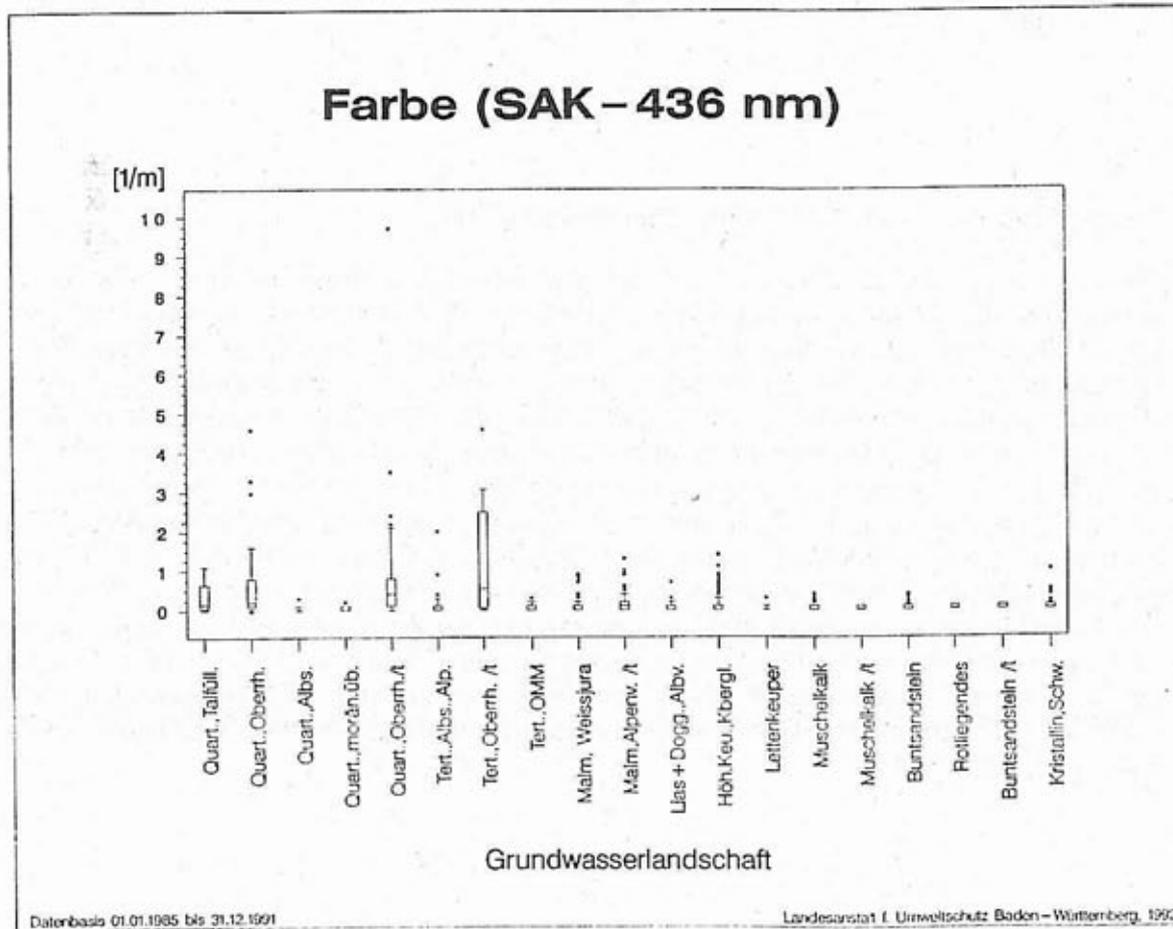
Im Höheren Keuper sind die auffälligen Maximalwerte auf zeitweise, bei höheren Quellschüttungen auftretende, verstärkte Färbungen durch erhöhte DOC-, (Huminsäure-,) Fe- und Mn-Gehalte an vier Quellen zurückzuführen. Diese Quellen schütten im Frühjahr offenbar schnell versickertes, huminstoffhaltiges und tontrübes Wasser.

Der Grenzwert der TrinkwV für die Färbung (0,5 l/m) wird wegen der o.g. natürlichen Ursachen in vielen Grundwasserlandschaften im Bereich der Maximalwerte und im Bereich der Werte des 90. Perzentils überschritten.

Abb. 4: Statistische Kennzahlen - Färbung (SAK-436)

FARBE (SAK 436-nm) [1/m] BG = 0.000 1/a

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	4	1.1000	1.1000	0.6500	0.1500	0.0500	0.0000	0.0000
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	31	4.6000	1.6000	0.8000	0.2000	0.1000	0.1000	0.0000
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	63	0.3000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	41	0.2000	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	43	9.7000	2.1000	0.8000	0.4000	0.1000	0.0000	0.0000
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	80	2.0000	0.3000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	4.6000	3.0800	2.5000	0.5500	0.0500	0.0000	0.0000
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	39	0.3000	0.2000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	114	0.9000	0.2000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	74	1.3000	0.4000	0.2000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	28	0.7000	0.2000	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	175	1.4000	0.3000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
LETTENKEUPER	2	13	0.3000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MUSCHELKALK	8	56	0.4000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	5	0.1000	0.1000	0.1000	0.0200	0.0000	0.0000	0.0000
BUNTSANDSTEIN	17	188	0.4000	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ROTLIEGENDES	1	6	0.1000	0.1000	0.1000	0.0200	0.0000	0.0000	0.0000
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	11	0.1000	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	115	1.0000	0.1000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



4.3 Elektrische Leitfähigkeit

Allgemeines

Die elektrische Leitfähigkeit (Lf) gibt als Summenparameter Aufschluß über die Menge der im Wasser vorhandenen Kationen und Anionen. Die Höhe des Gesamtelektrolytgehalts und dessen Zusammensetzung wird primär von den Eigenschaften der Gesteine und Böden des Einzugsgebietes bestimmt. In Abhängigkeit von der Löslichkeit der Minerale und der organischen Substanz, von der Kontaktzeit mit dem Wasser und von den physikalisch-chemischen Bedingungen in Boden und Grundwasserleiter entstehen Grundwässer mit höherem und niedrigerem Elektrolytgehalt. In den in Mitteleuropa verwitterungsbeständigeren geologischen Einheiten des Buntsandsteins und des Kristallins (z.B. Granit) sind die Grundwässer geringer mineralisiert als in salz- und kalkhaltigen, oft verkarsteten Gesteinen. Tiefe, ältere Grundwässer sind häufig stärker mineralisiert als oberflächennahe: in der Tiefe herrschen andere physikalisch-chemische Bedingungen (höhere Temperatur, höhere Kohlenstoffdioxidgehalte, Druck etc.) und längere Aufenthaltszeiten, was die Mineralisation verstärkt. In den gemäßigten Breiten bestimmen Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium den Hauptanteil an der Kationensumme, während Hydrogencarbonat, Chlorid und Sulfat die Anionensumme dominieren.

Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 200 mS/m, entsprechend 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vor.

Die elektrischen Leitfähigkeiten im Basismeßnetz

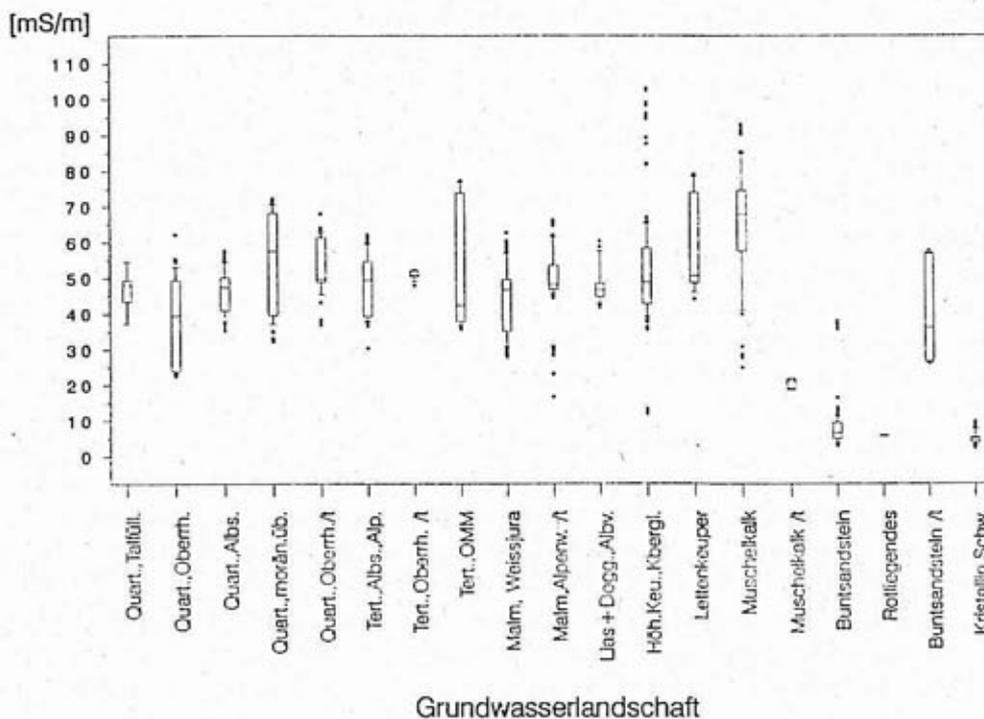
Die im Basismeßnetz gemessenen Werte der elektrischen Leitfähigkeit sind in temperaturkorrigierter Form (25 °C) in mS/m dargestellt. Die Mehrzahl der Grundwässer sind bei zum Teil sehr großen Streuungsbereichen als schwach bis gut mineralisiert zu bezeichnen. Auffallend sind das schwach mineralisierte Wasser im tiefen Muschelkalk und die sehr schwach mineralisierten oberflächennahen Grundwässer des Buntsandsteins, des Rotliegenden und des Kristallins. Die z.T. großen Streuungsbereiche innerhalb verschiedener Grundwasserlandschaften sind auf die mineralogische Heterogenität der geologischen Einheiten zurückzuführen. Der auffallende Unterschied zwischen dem oberflächennahen und tiefen Grundwasser des Buntsandsteins und die Maxima im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins sind durch den Einfluß des erdalkalireicheren oberen Buntsandsteins und durch den Einfluß des hangenden Muschelkalks an je einer Meßstelle verursacht. Ein ähnliches Muster wie die elektrische Leitfähigkeit zeigt die Verteilung der Gesamthärte (Summe Erdalkalien). Dies läßt den Schluß zu, daß der Kationengehalt der Grundwässer in den baden-württembergischen Grundwasserlandschaften mit Ausnahme des Tiefen Tertiärs (Obere Meeresmolasse) von den Calcium- und Magnesiumionen bestimmt wird.

Abb. 5: Statistische Kennzahlen - Elektrische Leitfähigkeit (bei 25 °C)

EL. LEITFÄHIGKEIT (bei 25 °C) [mS/m] BG = 0.1 mS/m

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	8	54.60	54.60	49.30	48.20	43.30	37.20	37.20
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u. Sande	4	35	62.20	53.10	49.40	39.50	23.90	23.40	22.60
QUARTÄR, Albsüdrand/ Kiese u. Sande	6	72	57.70	54.60	50.15	47.50	40.85	37.70	35.20
QUARTÄR, moränenüb./ Kiese u. Sande	5	46	72.10	70.50	68.10	57.50	39.50	37.10	32.20
QUARTÄR, Oberrhein/ tiefe Aquifere	4	42	68.00	62.70	61.40	49.70	48.90	45.40	37.00
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	82	62.10	59.70	54.70	49.50	39.30	37.90	30.40
TERTIÄR, Oberrhein/ tiefe Aquifere	1	12	52.30	52.10	51.80	50.85	50.35	49.10	48.00
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	38	77.30	76.90	73.80	42.25	37.70	36.70	35.70
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	118	62.70	56.90	49.60	46.65	35.10	30.70	28.00
MALM, Alpenvorland/ tiefe Aquifere	9	81	66.20	61.50	53.60	48.10	46.80	45.60	16.70
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	60.30	57.50	48.50	46.60	44.70	42.80	41.70
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	176	103.00	65.30	58.35	48.80	42.70	39.10	12.00
LETTENKEUPER	2	17	78.90	78.50	73.90	50.60	48.60	45.90	44.10
MUSCHELKALK	8	62	93.00	85.00	74.50	67.80	57.50	40.80	25.00
MUSCHELKALK / tiefe Aquifere	1	6	21.80	21.80	21.60	21.05	19.00	18.60	18.60
BUNTSANDSTEIN	17	201	37.80	11.40	9.50	6.50	4.90	3.60	3.00
ROTLIEGENDES	1	6	6.00	6.00	5.90	5.70	5.70	5.70	5.70
BUNTSANDSTEIN / tiefe Aquifere	2	11	57.50	57.10	56.60	36.10	26.70	26.30	26.10
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	118	9.60	7.80	5.30	4.90	4.00	3.10	2.30

El. Leitfähigkeit (bei 25°C)



4.4 pH-Wert

Allgemeines

Der pH-Wert (pH) ist ein logarithmisches Maß für die Wasserstoffionenkonzentration $[H^+]$ im Wasser. Er ist eine wichtige Größe für das Korrosionsverhalten von Wasserleitungen. pH-Änderungen beeinflussen u.a. das Kalkkohlenstoffgleichgewicht, die Intensität von Redoxprozessen, die Löslichkeit/Toxizität von Metallen, die Bildung von metallorganischen Komplexen etc.

Bei gut gepufferten Grundwässern von mittlerer Härte liegt der pH-Wert in der Nähe des Neutralpunktes (pH 6,5-7,5), in weichen kohlenstoffdioxidreichen Grundwässern etwa zwischen pH 5-6, in sehr kohlenstoffdioxidreichen Mineralwässern zwischen pH 4-4,5 (Hütter, 1984). Natriumhydrogencarbonatwässer können über pH 9,5 erreichen. Bei der Interpretation von pH-Werten ist zu beachten, daß sich die dem pH-Wert äquivalente Konzentration der H^+ -Ionen logarithmisch verändert. Eine pH-Abnahme von pH 7 auf pH 6 bedeutet eine Verzehnfachung der H^+ -Ionenkonzentration, und damit eine Verzehnfachung des Säurepotentials.

Naturräumliche Gegebenheiten und Nutzungsänderungen, wie etwa der Ersatz von Laubwald durch Nadelwald, wirken sich auf den Säuregehalt des Sicker- und Grundwassers aus. Saure Depositionen setzen die Pufferkapazität und den pH-Wert von Böden und Gewässern herab. Mit abnehmendem pH-Wert sinkt die Bedeutung des Carbonatpuffers und die Puffermechanismen der Metalle gewinnen an Bedeutung, wodurch Metalle (z.B. Aluminium) aus der Boden- und Aquifermatrix gelöst werden.

Die TrinkwV sieht als oberen Grenzwert pH 9,5, als unteren Grenzwert pH 6,5 vor.

Die pH-Werte im Basismeßnetz

Mit Ausnahme von vier Grundwasserlandschaften (Tiefes Tertiär (OMM), Buntsandstein, Rotliegendes, Kristallin) bewegen sich die pH-Werte zwischen pH 6,8 und 8,1. Dies ist auf die kalkhaltigen Bestandteile in der jeweiligen Aquifermatrix zurückzuführen.

In der Oberen Meeressmolasse (OMM) liegen die pH-Werte bei bis zu 9,3. Dies wird durch natürlich vorhandenes Natriumhydrogencarbonatwasser (Na-Ca-Mg-Austauschwasser) verursacht (s. Abschnitt Natrium). Im größten Teil der Analysen war freies Kohlenstoffdioxid nicht mehr vorhanden. Im Alpenvorland fließen z.T. stark natriumhydrogencarbonathaltige Wässer mit höherem pH-Wert aus der OMM dem tiefen Malm zu und beeinflussen dort den pH-Wert.

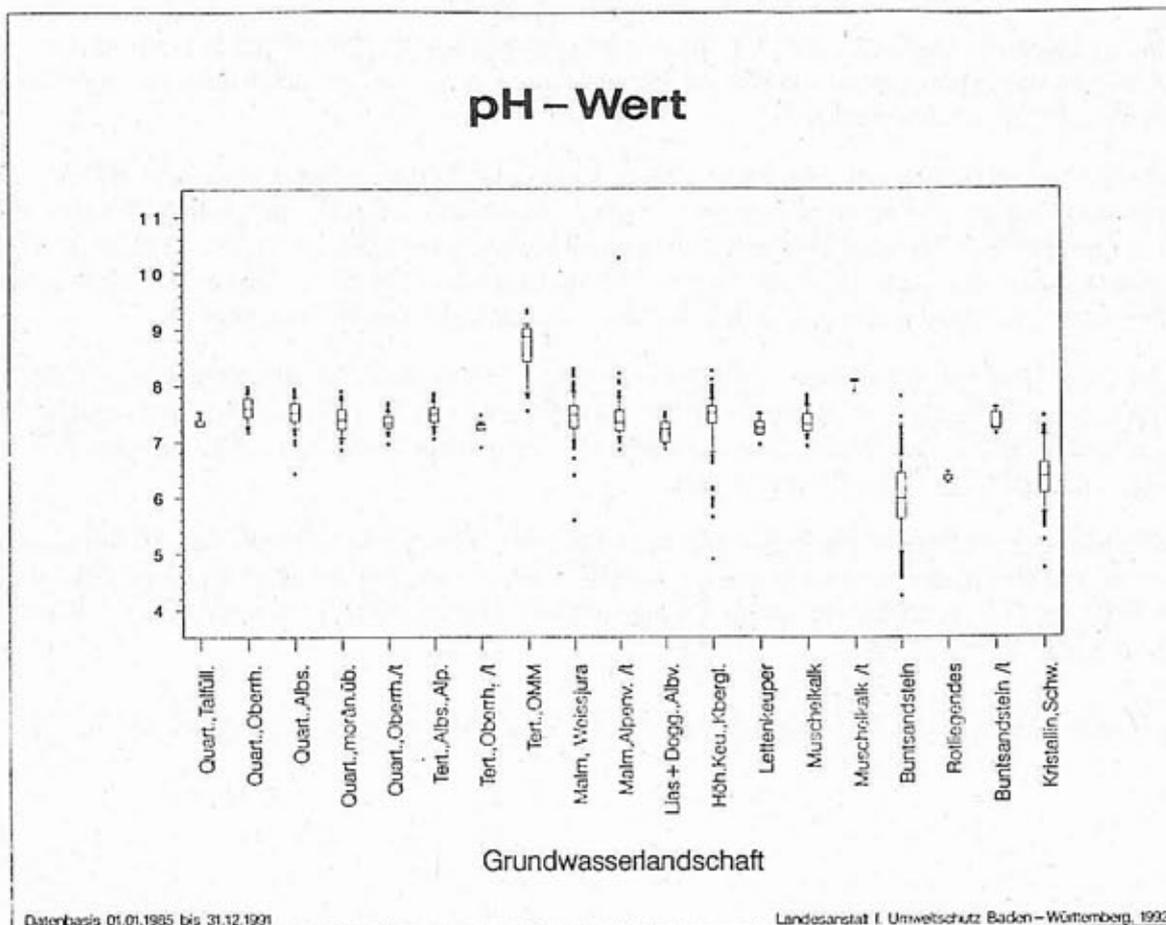
Auffällig sind die pH-Werte im Kristallin und im Buntsandstein, wo die P90- und die P10-Werte bei gleichzeitig großer Streubreite relativ niedrig sind. Die hier gemessenen Werte unterschreiten zu etwa 75 % den unteren Grenzwert der TrinkwV von pH 6,5, was auf die Carbonatarmut in den vorhandenen Böden und Gesteinen zurückzuführen ist. Von den im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins ermittelten pH-Werten liegen 25% unter pH 5,6 (P25-Wert). Wie es die Säurekapazitätswerte zeigen, besitzen die carbonatarmen Grundwässer in diesen beiden Grundwasserlandschaften das geringste Puffervermögen. Die große Streubreite im Buntsandstein ist u.a. auf die mineralogische Heterogenität des Buntsandsteins zurückzuführen: der obere Buntsandstein ist carbonatreicher als der mittlere und untere Buntsandstein. Extremwerte reichen bis zu pH 4,25. Auffällig ist, daß die niedrigen pH-Werte einzelner Basismeßstellen z.T. mit höheren Quellschüttungen, mit höheren SAK- und DOC-Werten und höheren Nitrat- und Sulfatgehalten korrelieren. Daraus kann abgeleitet werden, daß die betroffenen Basismeßstellen bei starken Niederschlägen Anteile schnell versickernder huminstoff- und säurehaltiger Wässer enthalten, die die pH-Werte erniedrigen. Hier äußern sich offenbar atmogene und pedogene Säureinträge, die den schon natürlicherweise niedrigen pH-Wert weiterhin reduzieren. Sich zeitweise äußernde Versauerungsmechanismen (periodische/ episodische Versauerung) sind bislang vorwiegend nur aus Studien zur Versauerung von Oberflächengewässern bekannt. Aufgrund ihrer Ereignisabhängigkeit sind Versauerungsschübe im allgemeinen nur schwer messbar.

Abb. 6: Statistische Kennzahlen - pH-Wert

pH-WERT

BG = 0.01 pH

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talgefüllungen	1	8	7.540	7.540	7.395	7.345	7.300	7.280	7.280
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	33	7.980	7.850	7.780	7.600	7.440	7.270	7.180
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	68	7.940	7.800	7.690	7.515	7.360	7.230	6.430
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	45	7.900	7.750	7.570	7.380	7.220	7.070	6.850
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	40	7.680	7.545	7.450	7.325	7.250	7.180	6.960
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	82	7.860	7.720	7.600	7.490	7.350	7.270	7.050
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	11	7.470	7.350	7.310	7.290	7.220	7.200	6.890
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	39	9.340	9.090	9.020	8.870	8.420	7.850	7.540
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	121	8.300	7.880	7.630	7.470	7.230	7.030	5.600
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	82	10.270	7.770	7.550	7.335	7.180	7.080	6.850
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	7.510	7.430	7.340	7.210	6.970	6.930	6.860
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	177	8.250	7.750	7.620	7.500	7.310	6.800	4.900
LETTENKEUPER	2	15	7.500	7.490	7.350	7.230	7.130	7.120	6.940
MUSCHELKALK	8	64	7.830	7.640	7.495	7.305	7.180	7.130	6.920
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	8.110	8.110	8.090	8.080	8.060	7.880	7.880
BUNTSANDSTEIN	17	196	7.800	6.750	6.430	5.975	5.615	5.030	4.250
ROTLIEGENDES	1	6	6.460	6.460	6.380	6.330	6.290	6.250	6.250
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	11	7.600	7.590	7.500	7.260	7.220	7.200	7.130
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	117	7.450	7.100	6.610	6.360	6.060	5.730	4.730



4.5 Säurekapazität bis pH 4,3

Allgemeines

Die Säurekapazität bis pH 4,3 ($K_{S4,3}$) (früher benutzte äquivalente Begriffe: Säurebindungsvermögen, Hydrogencarbonatgehalt, Carbonathärte) gibt überwiegend Aufschluß über die Menge der im Wasser vorhandenen Hydrogencarbonat-, Carbonat- und Hydroxylionen (HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^-).

Im Grundwasser carbonatreicher Aquifere sind (in Abhängigkeit vom pH-Wert) mehr Hydrogencarbonat- und Carbonationen gelöst als in carbonatarmer Aquifere. Anhand der Säurekapazität kann beurteilt werden inwieweit ein Wasser gegen chemische Einflüsse (z.B. Säureeinträge) gepuffert ist.

Bei der Bestimmung der Säurekapazität werden auch andere Wasserinhaltsstoffe wie Huminstoffe, Sulfide, Silikate, Phosphate, Borate und Metalloxide miteinfaßt (Matheß, 1990; Frimmel, 1978).

Die Werte der Säurekapazität im Basismeßnetz

In der Grundwasserlandschaft der Oberen Meeresmolasse tragen bei pH-Werten von über pH 8,2 nicht nur Hydrogencarbonationen, sondern auch vorhandene Carbonationen zu relativ hohen Säurekapazitätswerten bei.

Die Grundwässer in carbonatreichen Grundwasserlandschaften weisen höhere Säurekapazitätswerte auf als die Grundwässer mit carbonatarmem Gestein im Einzugsgebiet. Erstere enthalten also größere Mengen Hydrogencarbonat. Die Säurekapazitätswerte im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins liegen sehr niedrig, so daß in diese Wässer eingetragene Säuren natürlichen und anthropogenen Ursprungs nur schlecht abgepuffert werden.

An einer Basismeßstelle im oberflächennahen Grundwasser im Buntsandstein fallen die Maxima auf. Diese Maxima sind auf das carbonatreichere Wasser des oberen Buntsandsteins und auf zufließendes Wasser aus dem Muschelkalk zurückzuführen. Dies gilt auch für eine Basismeßstelle im tiefen Buntsandstein.

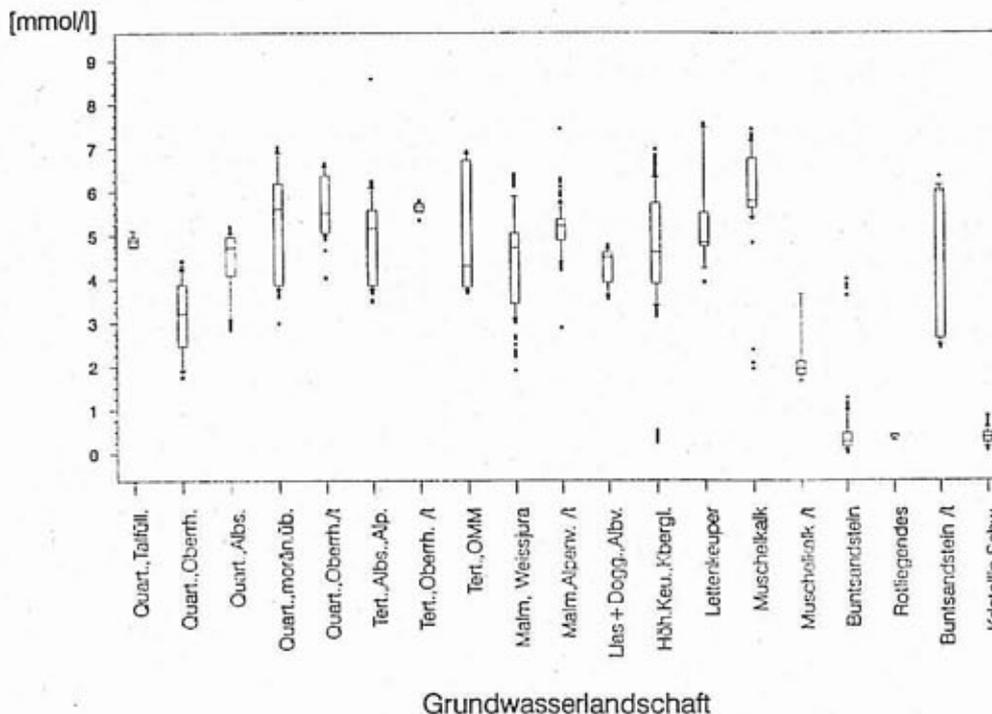
Die Minima der Säurekapazität im Höheren Keuper sind auf eine Meßstelle im Stubensandstein zurückzuführen, deren Grundwasser auch pH-Werte $< 6,0$, geringe elektrische Leitfähigkeiten und kleine Gesamthärten aufweist. An dieser Meßstelle werden gleichzeitig erhöhte Werte der Basekapazität beobachtet.

Abb. 7: Statistische Kennzahlen - Säurekapazität bis pH 4,3

SÄUREKAPAZITÄT bis pH 4,3 [mmol/l] BG = 0.01 mmol/l

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	7	5.120	5.120	4.970	4.880	4.760	4.740	4.740
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u. Sande	4	36	4.420	4.210	3.885	3.215	2.460	1.900	1.750
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u. Sande	6	76	5.210	5.060	4.965	4.725	4.070	3.090	2.850
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u. Sande	5	48	7.030	6.900	6.195	5.600	3.850	3.770	2.990
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	43	6.650	6.580	6.370	5.510	5.060	5.000	4.030
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	86	8.580	6.090	5.580	5.160	3.850	3.770	3.480
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	5.790	5.730	5.710	5.660	5.550	5.520	5.340
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	40	6.920	6.875	6.725	4.290	3.810	3.740	3.680
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	119	6.410	5.890	5.050	4.720	3.430	3.100	1.900
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	80	7.440	5.725	5.365	5.215	4.875	4.380	2.890
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	4.770	4.670	4.600	4.490	3.910	3.630	3.540
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	185	6.960	6.320	5.730	4.600	3.880	3.390	0.250
LEITENKEUPER	2	16	7.540	7.460	5.510	4.820	4.740	4.230	3.920
MUSCHELKALK	8	60	7.430	7.160	6.760	5.790	5.630	5.420	1.950
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	3.650	3.650	2.110	1.945	1.790	1.660	1.660
BUNTSANDSTEIN	17	192	4.000	0.990	0.455	0.270	0.160	0.080	<0.010
ROT Liegendes	1	6	0.430	0.430	0.430	0.405	0.350	0.290	0.290
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	6.350	6.140	6.035	5.980	2.625	2.500	2.430
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	117	0.850	0.590	0.460	0.360	0.240	0.140	0.060

Säurekapazität bis pH 4,3



Datenbasis 01.01.1995 bis 31.12.1991

Landesanstalt f. Umweltschutz Baden-Württemberg, 1992

4.6 Basekapazität bis pH 8,2

Allgemeines

Die Basekapazität bis pH 8,2 ($K_{B8.2}$) (früher benutzte äquivalente Begriffe: Basenbindungsvermögen, Gehalt an freier Kohlensäure) gibt überwiegend Aufschluß über die Menge des im Wasser vorhandenen freien Kohlenstoffdioxids. Freies Kohlenstoffdioxid, das insbesondere im Überschuß zur verstärkten Lösung von Mineralen beiträgt, wird über das Regen- und Sickerwasser und über die Diffusion aus der Grundluft der wasserungesättigten Zone in das Grundwasser eingebracht. Natürliche Eintragsprozesse im Grundwasser selbst sind: gesteinsumbildende Prozesse, CO_2 -Freisetzungen aus Magmen und aus der Oxidation feinverteilter oder lokal angereicherter organischer Substanz (auch fossile organische Substanzen).

Auch die Mischung von verschiedenen harten Grundwässern (z.B. im Karst) kann zu lokalen CO_2 -Anreicherungen führen (Mattheß, 1990). Bei pH-Werten über 8,2 ist der CO_2 -Gehalt vernachlässigbar gering.

In mit organischen Substanzen natürlich belasteten Wässern (z.B. Moore, Auenbereiche) sind die Werte der Basekapazität durch den mikrobiellen, CO_2 -produzierenden Abbau der organischen Substanz meist erhöht.

Mit der Bestimmung der Basekapazität werden auch andere Wasserinhaltsstoffe wie Huminstoffe, Sulfide, Silikate, Phosphate, Borate und Metalloxide miteinfaßt (Mattheß, 1990; Frimmel, 1978).

Die Werte der Basekapazität im Basismeßnetz

Nur geringe Basekapazitätswerte weisen die Obere Meeresmolasse und der tiefe Muschelkalk auf, da bei den dort gegebenen pH-Werten von z.T. über 8,0 kaum noch CO_2 vorhanden ist.

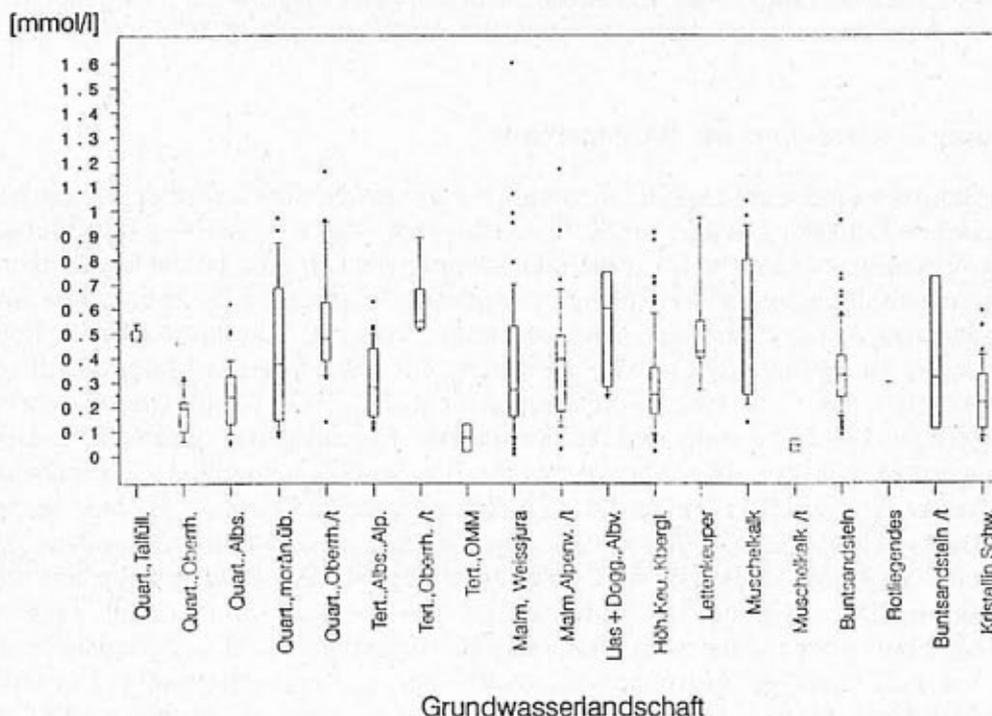
Es ist bemerkenswert, daß auch im Oberrheingraben nur niedrige Basekapazitäten gemessen wurden. Möglicherweise erfassen die vier Basismeßstellen im Oberrheingraben die sonst dort bekannten hohen organischen Anteile nicht ausreichend repräsentativ. Andererseits sind die Möglichkeiten, noch weitere unbelastete Basismeßstellen im Rheingraben auszuwählen, begrenzt.

Abb. 8: Statistische Kennzahlen - Basekapazität bis pH 8,2

BASEKAPAZITÄT bis pH 8,2 [mmol/l] BG = 0.01 mmol/l

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	NST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	4	0.540	0.540	0.515	0.480	0.470	0.470	0.470
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u. Sande	4	10	0.320	0.310	0.220	0.195	0.100	0.060	0.060
QUARTÄR, Albsüdrand/ Kiese u. Sande	6	35	0.620	0.390	0.330	0.240	0.130	0.090	0.050
QUARTÄR, moränenüb./ Kiese u. Sande	5	20	0.970	0.870	0.685	0.375	0.145	0.100	0.080
QUARTÄR, Oberrhein/ tiefe Aquifere	4	20	1.160	0.955	0.625	0.480	0.390	0.330	0.140
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	40	0.630	0.500	0.440	0.280	0.160	0.140	0.110
TERTIÄR, Oberrhein/ tiefe Aquifere	1	6	0.890	0.890	0.680	0.550	0.520	0.510	0.510
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	2	0.130	—	—	—	—	—	0.020
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	56	1.600	0.700	0.530	0.270	0.160	0.080	<0.010
MALM, Alpenvorland/ tiefe Aquifere	9	34	1.170	0.680	0.490	0.395	0.180	0.120	0.030
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	11	0.750	0.750	0.750	0.600	0.280	0.250	0.240
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	89	0.910	0.580	0.360	0.250	0.170	0.090	0.020
LETTENKEUPER	2	6	0.970	0.970	0.550	0.425	0.400	0.270	0.270
MUSCHELKALK	8	22	1.040	0.940	0.800	0.560	0.250	0.210	0.140
MUSCHELKALK / tiefe Aquifere	1	2	0.070	—	—	—	—	—	0.020
BUNTSANDSTEIN	17	87	0.960	0.570	0.410	0.330	0.240	0.160	0.090
ROTLIEGENDES	1	1	0.300	—	—	—	—	—	0.300
BUNTSANDSTEIN / tiefe Aquifere	2	3	0.730	—	—	0.320	—	—	0.110
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	50	0.590	0.410	0.330	0.215	0.110	0.080	0.060

Basekapazität bis pH 8,2



Datenbasis 01.01.1985 bis 31.12.1991

Landesanstalt f. Umweltschutz Baden-Württemberg, 1992

4.7 Summe Erdalkalien (Gesamthärte)

Allgemeines

Die Summe der Erdalkalimetalle (Gesamthärte) setzt sich zusammen aus dem Gehalt an Calcium- (Ca), Magnesium- (Mg), Strontium- (Sr) und Bariumionen (Ba) und kann als Summenparameter im Labor gemessen werden. Oft wird auch aus Einzelbestimmungen von Calcium und Magnesium die Gesamthärte errechnet, wobei der Gehalt der meist nur in Spuren vorkommenden Elemente Strontium und Barium vernachlässigt wird. Je nach Härte wird zwischen weichen und harten Wässern unterschieden. Gemäß dem Waschmittel- und Reinigungsmittelgesetz ist hartes Wasser definiert als 2,5 - 3,8 mmol/l, sehr hartes Wasser als > 3,8 mmol/l Gesamthärte. 1 mmol/l entspricht 2 mval/l Gesamthärte oder 5,6 °dH (°dH = Grad deutscher Härte)

Die natürlich verursachte Härte wird vom Kalkgehalt des geologischen Untergrund und dem jeweiligen Kalkkohensäuregleichgewicht bestimmt. Natürliche Aufhärten des Grundwassers werden u.a. durch die Zumischung von Grundwässern mit höheren Kalkgehalten und durch mikrobielle, CO₂-produzierende Vorgänge im Abstrombereich von Mooren verursacht. In den meisten Wässern ist der Gehalt der Erdalkalitionen (Gesamthärte) überwiegend dem über die Säurekapazität angezeigten Carbonat-, Hydrogencarbonat- und Hydroxylionengehalt (Carbonathärte) äquivalent oder größer (Gesamthärte größer/gleich Carbonathärte). Ist bei Analysen von anthropogen unbeeinflussten Grundwässern die Gesamthärte kleiner als die Carbonathärte, so kann ein natürliches Na-Ca-Mg-Austauschwasser vorliegen. Das sind Wässer, deren geringer Ca- und Mg-Gehalt und gleichzeitig hoher Natriumgehalt auf den Austausch von im Wasser enthaltenen Calcium- und Magnesiumionen gegen in der Aquifermatrix enthaltene Natriumionen zurückzuführen ist (Hölting, 1989).

Die Summe Erdalkalien im Basismeßnetz

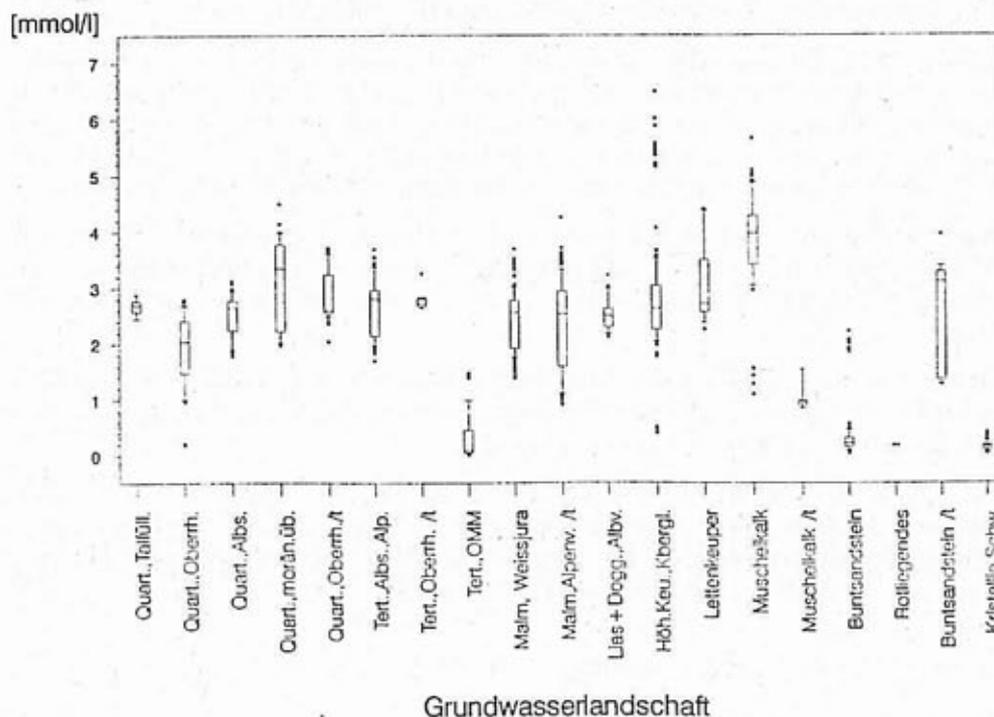
Die Verteilung der Gesamthärten (GH in mmol/l) weist ein ähnliches Muster wie die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit auf. Die Kalkgesteine bzw. kalkhaltige Kiese und Mergel durchfließenden Grundwässer haben die größten Gesamthärten. Dagegen ist die Gesamthärte in der Oberen Meeresmolasse wegen Na-Ca-Mg-Austauschprozesse auffällig gering. Die Grundwasserlandschaft des tiefen Malms des Alpenvorlandes wird z.T. vom Grundwasser der Oberen Meeresmolasse beeinflusst, dies ist eine Erklärung für den im tiefen Malm auffällig großen Streubereich. Die sehr kleinen Streubereiche der Gesamthärten im sehr weichen Grundwasser des Buntsandsteins und des Kristallins sind durch das durchweg erdalkaliarme Ausgangsgestein bedingt. Die Maximalwerte im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins sind auffällig erhöht. Dies ist darauf zurückzuführen, daß einer Meßstelle im mittleren Buntsandstein härteres Wasser aus dem oberen Buntsandstein und aus dem hangenden Muschelkalk zufließt. Dies gilt auch für eine der beiden Basismeßstellen im tiefen Buntsandstein. Die Minima im Höheren Keuper werden durch eine Meßstelle im Stubensandstein mit erdalkaliarmem Grundwasser verursacht. An dieser Meßstelle sind auch pH-Werte < 6,0, niedrige Säurekapazitätswerte und geringe elektrische Leitfähigkeiten gegeben. Die Maxima im Höheren Keuper sind offenbar durch Gipsauslaugungen (CaSO₄) bedingt.

Abb. 9: Statistische Kennzahlen - Summe Erdalkalien (Gesamthärte)

SUMME ERDALKALIEN (Gesamthärte) [mmol/l]

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	8	2.890	2.890	2.765	2.690	2.575	2.450	2.450
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	36	2.790	2.680	2.410	2.050	1.475	1.000	0.200
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	76	3.120	2.950	2.770	2.640	2.235	1.890	1.790
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	48	4.500	3.980	3.765	3.340	2.220	2.020	1.970
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	43	3.710	3.600	3.230	2.600	2.560	2.500	2.040
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	86	3.690	3.370	2.960	2.810	2.140	1.980	1.700
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	3.250	2.830	2.805	2.720	2.675	2.670	2.650
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	40	1.470	0.990	0.460	0.105	0.070	0.050	0.020
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	122	3.690	3.020	2.770	2.555	1.920	1.760	1.390
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	83	4.250	3.330	2.930	2.530	1.590	1.100	0.900
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	3.220	2.980	2.620	2.490	2.290	2.180	2.120
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	186	6.490	3.510	3.030	2.620	2.250	2.040	0.400
LETTENKEUPER	2	17	4.390	4.370	3.490	2.720	2.560	2.380	2.260
MUSCHELKALK	8	67	5.660	4.880	4.270	3.960	3.410	3.030	1.090
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	1.540	1.540	0.980	0.955	0.910	0.850	0.850
BUNTSANDSTEIN	17	203	2.220	0.470	0.320	0.220	0.160	0.100	0.050
ROTLIEGENDES	1	6	0.200	0.200	0.200	0.195	0.180	0.170	0.170
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	3.950	3.380	3.280	3.100	1.355	1.280	1.270
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	117	0.410	0.270	0.180	0.150	0.100	0.060	0.040

Summe Erdalkalien (Gesamthärte)



4.8 Sauerstoff

Allgemeines

Der Gehalt an Sauerstoff im Wasser besitzt grundlegende Bedeutung für die Löslichkeit und Erscheinungsform von vielen Wasserinhaltsstoffen. Sauerstoffmangel verringert die Redoxspannung, wodurch die Löslichkeit von redoxabhängigen Stoffen (z.B. von Metallen) erhöht wird. In stark sauerstoffarmen bzw. sauerstofffreien Grundwässern sind die reduzierten Spezies von redoxabhängigen Wasserinhaltsstoffen oft in größeren Mengen vorhanden als die oxidierten Spezies (Beispiele: reduzierte//oxidierte Spezies: Fe^{2+} // Fe^{3+} ; S^{2-} und H_2S // SO_4^{2-} ; NH_4^+ bzw. NH_3 // NO_2^- // NO_3^- . Nitrit (NO_2^-) kann auch durch Oxidation von Ammonium entstehen. Das den Metabolismus von Wasserinhaltsstoffen bestimmende Redoxpotential ist aber nicht nur vom O_2 -Gehalt sondern auch vom NO_3^- - und SO_4 -Gehalt abhängig.

Grundwässer weisen meist geringere Gehalte an Sauerstoff (O_2) auf als unbelastete Oberflächengewässer, können aber entsprechend den Gasgesetzen mitunter Sauerstoffsättigung erreichen. Über die Grundwasserneubildung wird atmosphärischer Sauerstoff in das Grundwasser eingetragen. Auch aus der Porenluft kann an der Grundwasseroberfläche Sauerstoff in das Grundwasser diffundieren.

Der Sauerstoffgehalt des Grundwassers ist abhängig von der Zusickerungsmenge von sauerstoffreichem Wasser und vom O_2 -Verbrauch der geochemischen und mikrobiellen, sauerstoffzehrenden Umsetzungen während der Sickerbewegung durch Boden und Gestein und während des Aufenthalts im Grundwasserleiter (Kontakt des Wassers mit der Aquifermatrix).

Beim Fehlen von Sauerstoff im Grundwasser ist nicht gleich auf eine anthropogene Belastung zu schließen, da die natürliche Sauerstoffzehrung beachtlich sein kann. Die natürliche O_2 -Zehrung wird hauptsächlich von dem Vorhandensein an oxidierbaren organischen und anorganischen Stoffen - z.B. von Humus und von Mineralien wie Pyrit - und von der Verweilzeit des Wassers bestimmt.

Beim Abbau von organischen Substanzen in Boden und Aquifer verbrauchen Mikroorganismen Sauerstoff, daher haben Grundwässer, die Meßstellen aus anmoorigem Gelände (z.B. in Talauen) zufließen, meist nur geringe Sauerstoffgehalte.

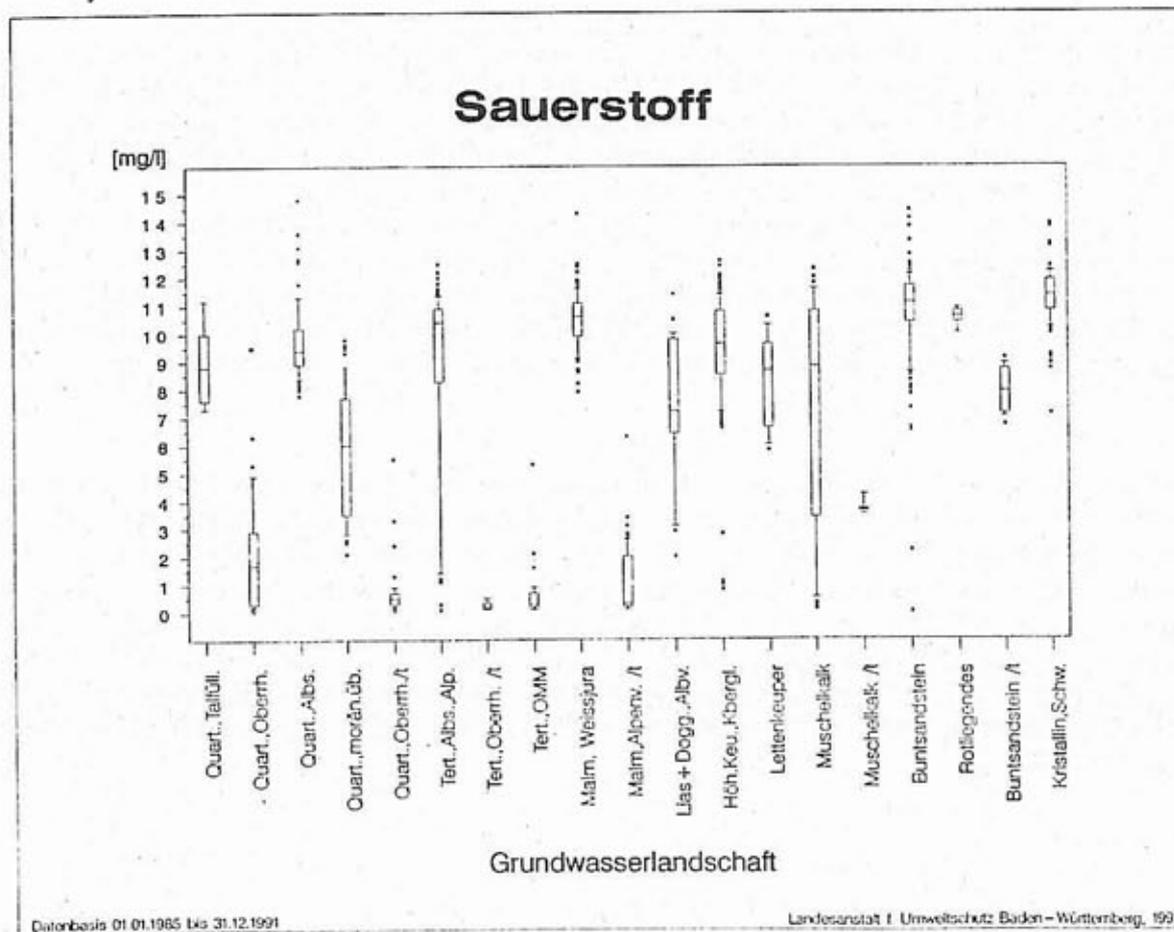
Tiefe Grundwässer weisen aufgrund ihrer größeren Verweilzeiten und der reduzierten Zufuhr von O_2 -reichem Sickerwasser in der Regel nur sehr geringe O_2 -Konzentrationen auf bzw. sind sauerstofffrei.

Ein geringer O_2 -Gehalt beeinträchtigt den Geschmack des Trinkwassers, da viele Inhaltsstoffe dann nur unzureichend oxidiert vorliegen, deshalb wird sauerstoffarmes Grundwasser aufbereitet. Sowohl ein hoher wie auch ein geringer O_2 -Gehalt beeinflusst im Zusammenspiel mit dem pH-Wert die Korrosion von Wasserleitungen.

In der TrinkwV ist kein Grenzwert für Sauerstoff vorgesehen.

Abb. 10: Statistische Kennzahlen - Sauerstoff

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	MST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	7	11.20	11.20	10.00	8.80	7.60	7.30	7.30
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u. Sande	4	33	9.50	4.90	2.90	1.70	0.30	0.20	0.10
QUARTÄR, Albsüdrand/ Kiese u. Sande	6	70	14.80	11.30	10.20	9.40	8.90	8.40	7.80
QUARTÄR, moränenüb./ Kiese u. Sande	5	46	9.80	8.80	7.70	6.00	3.50	2.80	2.10
QUARTÄR, Oberrhein/ tiefe Aquifere	4	41	5.50	0.90	0.70	0.50	0.30	0.20	0.10
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	80	12.50	11.35	10.90	10.40	8.25	1.40	0.10
TERTIÄR, Oberrhein/ tiefe Aquifere	1	8	0.50	0.50	0.35	0.25	0.15	0.10	0.10
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	39	5.30	0.90	0.70	0.30	0.20	0.10	0.10
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	101	14.30	11.60	11.10	10.60	9.90	9.10	7.90
MALM, Alpenvorland/ tiefe Aquifere	9	71	6.30	2.60	2.00	0.30	0.20	0.10	0.10
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	27	11.40	10.00	9.80	7.20	6.40	3.10	2.00
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	168	12.60	11.40	10.80	9.60	8.50	7.20	0.80
LETTENKEUPER	2	14	10.60	10.30	9.60	8.65	6.60	6.00	5.80
MUSCHELKALK	8	59	12.30	11.60	10.80	8.80	3.40	0.50	0.10
MUSCHELKALK / tiefe Aquifere	1	6	4.20	4.20	3.70	3.65	3.60	3.50	3.50
BUNTSANDSTEIN	17	155	14.40	12.10	11.70	11.10	10.40	8.60	<0.10
ROTLIEGENDES	1	5	10.90	10.90	10.80	10.60	10.40	10.00	10.00
BUNTSANDSTEIN / tiefe Aquifere	2	11	9.10	8.90	8.70	7.90	7.10	7.00	6.70
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	110	13.90	12.20	11.90	11.35	10.80	10.20	7.10

BG = 0.1 mg/l O₂

Die Sauerstoffgehalte im Basismeßnetz

In den Grundwässern des Basismeßnetzes variieren die Sauerstoffgehalte stark. Mit Ausnahme des Grundwassers im tiefen Buntsandstein sind die Konzentrationen in den tiefen Grundwasserlandschaften geringer als in den oberflächennahen. Ein Grund dafür liegt in der längeren Verweilzeit des Grundwassers in tiefen Aquiferen. Das höhere Alter der tiefen Grundwässer wurde durch Isotopenuntersuchungen belegt (LfU & GLA, 1987).

Durch längere Kontaktzeiten mit oxidierbaren organischen und anorganischen Substanzen im Boden und im Aquifer wird Sauerstoff gezehrt, wie im oberflächennahen und tiefen Quartär sowie im tiefen Tertiär des Oberrheingrabens. Auf diesen Zusammenhang verweisen die dort z.T. auch die höheren Werte der Oxidierbarkeit (MnVII-MnII) und des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC).

Die kürzeren Sickerwege und Verweilzeiten in den oberflächennahen klutfreien und/oder verkarsteten Aquiferen bedingen in den meisten der oberflächennahen Grundwasserlandschaften einen höheren Sauerstoffgehalt.

Die Streuungsbereiche in den Grundwasserlandschaften mit tiefen Aquiferen sind enger als in den Landschaften mit oberflächennahem Grundwasser.

Auffällig sind die hohen Sauerstoffgehalte in den oberflächennahen Grundwässern des Quartärs (Albsüdrand und Alpenvorland), des Tertiärs (Albsüdrand, Alpenvorland), des Malms (Weißjura), des Höheren Keupers, des Muschelkalks, des Buntsandsteins und des Kristallins. Dort liegen die maximalen Sauerstoffgehalte z.T. über der maximal möglichen Sättigung. Ein großer Teil dieser Basismeßstellen sind Quellen. Quellwässer mit zeitweisen Sauerstoffübersättigungen zeigen nach Fast & Sauer (1958) einen kurzen Sickerweg an. Die hohen Sauerstoffgehalte sind für das Grundwasser im Festgesteinsbereich offenbar charakteristisch, da z.B. die Grundwässer des Buntsandsteins und des Kristallins durchweg hohe Sauerstoffgehalte - im Bereich der Sättigung und darüber - zeigen. Die in den weiteren o.g. Grundwasserlandschaften gegebenen hohen Sauerstoffkonzentrationen werden z.T. in Karstquellen gemessen.

Die nur wenigen im Oberrheingraben vorhandenen Basismeßstellen geben die Vielfalt der im Oberrheingraben vorhandenen Grundwässer derzeit offenbar nur in unzureichender Weise wieder. Mit den dort vorhandenen Basismeßstellen werden nur Grundwässer mit geringen bis mittleren Sauerstoffgehalten erfaßt. Der niedrige Medianwert zeigt an, daß die Hälfte aller erfaßten O₂-Konzentrationen unter 1,7 mg/l O₂ liegen. Die an diesen Basismeßstellen gemessenen niedrigen Sauerstoffgehalte bei gleichzeitig relativ hohen DOC-, SAK-254 und NH₄-Werten deuten eine natürliche Sauerstoffzehrung durch den Abbau von organischer Substanz an. Weiterhin verstärkt die Sauerstoffarmut die Lösung von Eisen- und Manganionen (s. Abschnitte Eisen und Mangan).

Die fluvioglazialen Schotter der Rheinebene enthalten insbesondere im Bereich ehemaliger alter Flußläufe des Rheins (Auenbereich) und seiner Nebengewässer (z.B. Kinzig-Murg-Rinne) organische Substanzen (torfige Einlagerungen), die die Durchlässigkeit vermindern und den Sauerstoff zehren. Oberrheinische Grundwässer mit höheren Sauerstoffgehalten (z.B. südbadische Oberrheinebene) werden derzeit durch das Basismeßnetz nicht erfaßt.

In der südbadischen Oberrheinebene werden meist wesentlich höhere O_2 -Konzentrationen gemessen, die z.T. im Bereich der Sättigung liegen (GLA & LfU, 1977). Dies ist auf die hier höheren Durchlässigkeiten bei gleichzeitig großen Grundwasserflurabständen und auf die hier regional bedeutsame Grundwasserneubildung durch Infiltration von sauerstoffreichem Oberflächenwasser (Rheinnebenflüsse) zurückzuführen (GLA & LfU, 1977; Regionalverband südlicher Oberrhein, 1988; Geiger, 1988; Zehner, 1990). Für die Beurteilung des natürlichen Sauerstoffgehaltes des oberflächennahen Grundwassers im südbadischen Oberrheingraben sind daher ein höherer Maximalwert, ein höherer Medianwert und größere Streuungsbereiche zu Grunde zu legen, als es die derzeitigen Analysenwerte des Basismeßnetzes zulassen.

4.9 Spektraler Absorptionskoeffizient bei 254 nm (SAK-254)

Allgemeines

Die Messung des SAK-254 erfolgt im unsichtbaren, ultravioletten Licht bei einer Wellenlänge von 254 nm. Der SAK-254 beschreibt das Vorhandensein von gelösten organischen Stoffen (z.B. Lignin und Fulvosäuren), die im UV-Licht stärker absorbieren als im sichtbaren Licht. In den meisten Gewässern besteht ein Zusammenhang zwischen einem erhöhten SAK-254-Wert und einem erhöhten Gehalt an gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC).

Hohe SAK-254-Werte im anthropogen unbeeinflussten Grundwasser geben einen Hinweis auf eine natürliche organische Belastung des Gewässers mit gelösten organischen und ungelösten feindispersen Stoffen (z.B. Huminstoffe aus anmoorigen und moorigen Gebieten).

Die SAK-254-Werte im Basismeßnetz

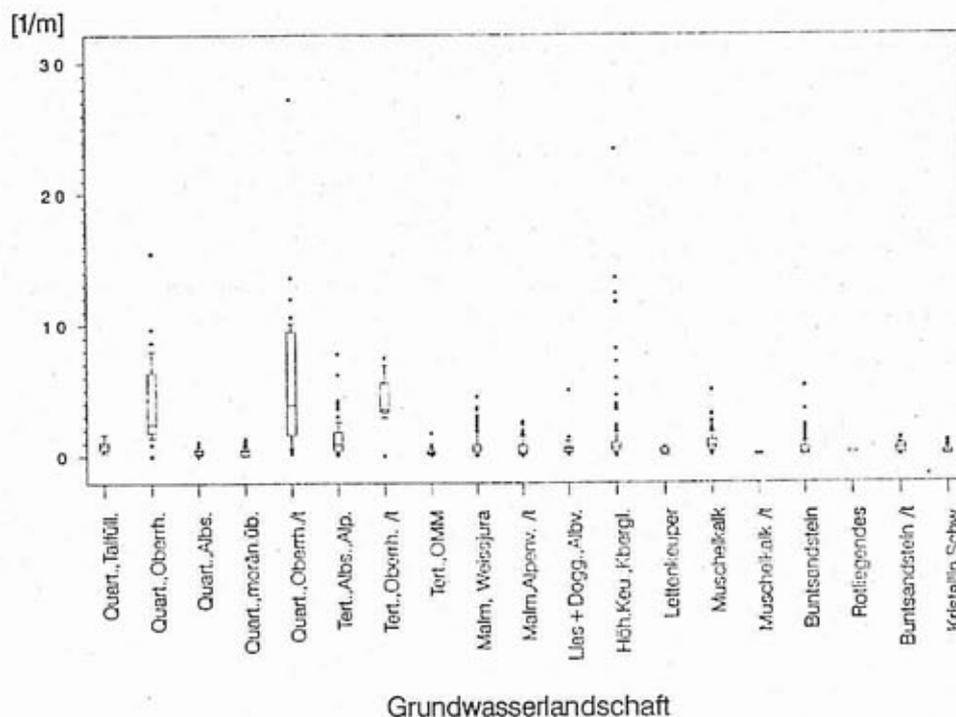
Die höchste Absorption und die größten Streubereiche zeigen die Grundwässer im Oberrheingraben. Die dort hohen SAK-254-Werte werden offenbar durch die hier vorliegenden hohen Huminsäuregehalte verursacht, was die auch hier höheren Gehalte an gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) belegen. Auch beim DOC sind diese Grundwasserlandschaften in den Boxplotdarstellungen auffällig. Auch die weitaus geringeren SAK-Werte in den anderen Grundwasserlandschaften korrelieren zum überwiegenden Teil mit den DOC-Gehalten. Die auffälligen Maximalwerte im Höheren Keuper sind auf zeitweise, bei höheren Quellschüttungen auftretende, verstärkte Färbungen durch erhöhte DOC-Gehalte an vier Quellen zurückzuführen. Diesen Quellen geben im Frühjahr schnell versickertes huminstoffhaltiges tontrübes Wasser ab.

Abb. 11: Statistische Kennzahlen - Spektraler Absorptionskoeffizient-254

SPEKTR. ABSORP. KOEFF. (SAK-254 nm) [1/m] BG = 0.0 1/m

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	5	1.70	1.70	1.10	0.90	0.50	0.30	0.30
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u. Sande	4	30	15.50	8.00	6.40	2.45	1.80	1.40	0.00
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u. Sande	6	69	1.10	0.70	0.50	0.40	0.20	0.10	0.00
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u. Sande	5	45	1.30	0.70	0.50	0.40	0.10	0.00	0.00
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	43	27.20	10.10	9.50	3.90	1.60	0.60	0.20
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	83	7.80	2.60	1.80	0.90	0.40	0.20	0.10
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	7.50	6.90	5.55	3.55	3.35	2.90	0.00
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	40	1.70	0.50	0.35	0.20	0.10	0.05	0.00
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	120	4.50	1.85	0.80	0.50	0.30	0.10	0.00
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	76	2.60	1.50	0.80	0.30	0.15	0.10	0.00
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	28	5.00	1.10	0.65	0.50	0.30	0.20	0.10
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	183	23.40	1.80	1.00	0.60	0.40	0.20	0.00
LETTENKEUPER	2	16	0.70	0.70	0.50	0.35	0.15	0.00	0.00
MUSCHELKALK	8	62	5.00	1.80	1.20	0.70	0.50	0.30	0.10
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	5	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10	0.00	0.00
BUNTSANDSTEIN	17	192	5.30	1.00	0.60	0.25	0.10	0.00	0.00
ROTLIEGENDES	1	6	0.30	0.30	0.30	0.10	0.10	0.10	0.10
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	1.30	1.00	0.80	0.50	0.10	0.10	0.00
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	115	1.10	0.60	0.30	0.10	0.00	0.00	0.00

Spektr. Absorp.koeff. (SAK - 254 nm)



Datenbasis 01.01.1985 bis 31.12.1991

Landesanstalt f. Umweltschutz Baden-Württemberg, 1992

4.10 Oxidierbarkeit (MnVII-MnII)

Allgemeines

Die Verwendung des Oxidationsmittels Kaliumpermanganat (KMnO_4) bei der Bestimmung der Oxidierbarkeit (Angabe in mg/l O_2) gibt Aufschluß über den Sauerstoffverbrauch von im Wasser enthaltenen verhältnismäßig leicht oxidierbaren organischen und anorganischen Substanzen (z.B. Bakterien, Huminstoffe und Fe^{2-} , NH_4^+ , NO_2^- , S^{2-} -Verbindungen).

Nicht verunreinigte Grund- und Quellwässer sind meist durch Oxidierbarkeitswerte bis zu 2 mg/l O_2 charakterisiert. Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 5 mg/l O_2 vor. Höhere Werte der Oxidierbarkeit sind jedoch nicht immer Indizien für eine anthropogene Verunreinigung. Natürliche huminstoffhaltige Wässer aus Mooren weisen Werte bis zu etwa 85 mg/l O_2 auf (Hütter, 1984).

Im Vergleich zum gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) gibt die Oxidierbarkeit Aufschluß über die natürlichen Ursachen von Sauerstoffdefiziten. Gleichzeitig erhöhte Werte von DOC und Oxidierbarkeit lassen den Schluß auf einen Sauerstoffverbrauch von organischen Verbindungen zu. Ist der DOC nicht gleichzeitig erhöht, so müssen die Gründe im Sauerstoffverbrauch von oxidierbaren anorganischen Stoffen gesucht werden.

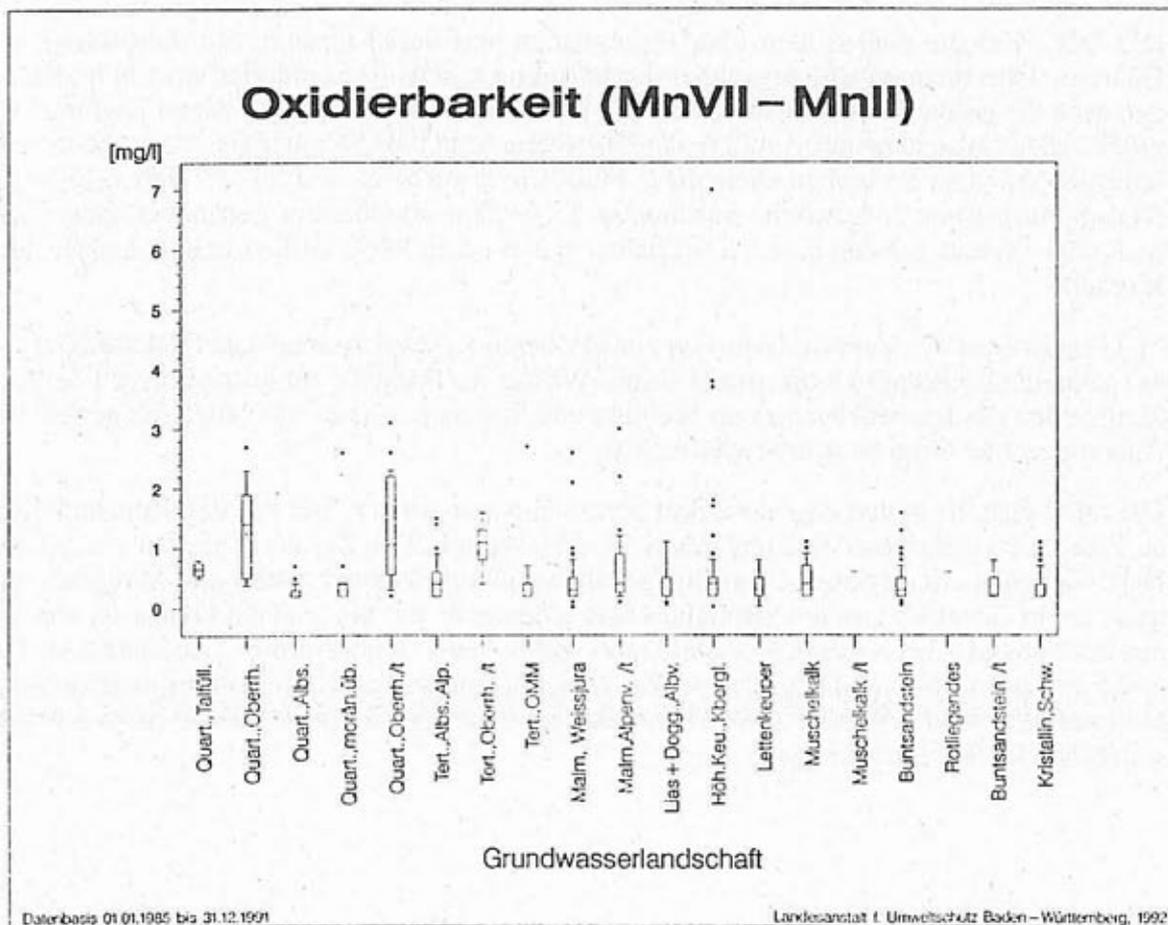
Die Werte der Oxidierbarkeit (Mn VII-MnII) im Basismeßnetz

In den Grundwässern des Basismeßnetzes liegen die Werte der Oxidierbarkeit bis auf eine Ausnahme ($7,0 \text{ mg/l O}_2$) unterhalb des Grenzwertes der TrinkwV. Die Werte des 90. Perzentils liegen bis auf zwei Ausnahmen unterhalb von 2 mg/l O_2 , was üblicherweise dem Bereich für unbeeinflusste Grund- und Quellwässer entspricht (n. Hütter, 1984). Die Oxidierbarkeit korreliert in vielen Fällen mit den Gehalten an gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) und mit den Sauerstoff- und Eisen- und Mangangehalten. In den Grundwasserlandschaften mit natürlich erhöhten DOC-Gehalten - wie in den quartären Ablagerungen des Oberrheingrabens zehrt offenbar die Oxidation der vorhandenen organischen Substanz in der Aquifermatrix und im Grundwasser den Sauerstoff. Durch die O_2 -Armut gehen Mangan und Eisen in Lösung.

Abb. 12: Statistische Kennzahlen - Oxidierbarkeit (MnVII-MnII)

OXIDIERBARKEIT (MnVII-MnII) [mg/l] BG = 0.2 (0.1/0.06/0.02) mg/l 02

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	NST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	4	0.800	0.800	0.750	0.650	0.550	0.500	0.500
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u. Sande	4	15	2.700	2.300	1.900	1.400	0.500	0.380	0.380
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u. Sande	6	45	0.700	0.410	0.300	0.200	<0.200	<0.200	<0.200
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u. Sande	5	24	2.600	0.410	0.400	0.200	<0.200	<0.200	<0.200
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	24	3.100	2.300	2.200	1.050	0.550	0.300	0.200
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	45	1.500	0.900	0.600	0.400	0.200	<0.200	<0.200
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	7	1.600	1.600	1.300	1.100	0.800	0.400	0.400
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	19	2.700	0.700	0.410	0.400	<0.200	<0.200	<0.200
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	64	2.600	0.800	0.500	0.300	<0.200	<0.200	<0.020
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	39	3.000	1.200	0.900	0.400	0.260	<0.200	<0.100
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	15	1.100	1.100	0.500	0.200	<0.200	<0.100	<0.060
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	97	7.000	0.800	0.500	0.400	0.200	<0.200	<0.020
LETTENKEUPER	2	9	0.800	0.800	0.500	0.300	<0.200	<0.020	<0.020
MUSCHELKALK	8	27	1.100	0.900	0.700	0.400	<0.200	<0.200	<0.200
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	1	0.600	—	—	—	—	—	0.600
BUNTSANDSTEIN	17	114	1.600	0.700	0.500	0.300	<0.200	<0.200	<0.060
ROTLIEGENDES	1	1	0.600	—	—	—	—	—	0.600
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	4	0.800	0.800	0.510	0.210	<0.200	<0.200	<0.200
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	67	1.100	0.700	0.400	0.200	<0.200	<0.200	<0.200



4.11 Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)

Allgemeines

Der DOC („Dissolved Organic Carbon“) gibt Aufschluß über die Menge des im Wasser gelöst vorliegenden organischen Kohlenstoffs.

Organische Substanzen sind auch in Grundwässern natürlicherweise enthalten. Einerseits können sie dem Grundwasser über das Sickerwasser zugeführt werden. Andererseits sind sie je nach den Entstehungsbedingungen des Gesteins, welches heute den Aquifer bildet, auch in mehr oder weniger großen Mengen natürlicher Bestandteil des Grundwasserleiters (z.B. organische Ablagerungen in fluvialen Lockergesteinen). Sedimentgesteine enthalten zumindest Spuren von organischem Kohlenstoff. Die am Abbau der organischen Substanz und an Redoxreaktionen beteiligten Mikroorganismen (DVWK, 1988) können durch die produzierten Zersetzungsprodukte und durch ihre Körpermasse zum gelösten organischen Kohlenstoff im Grundwasser beitragen.

Die DOC-Gehalte im Basismeßnetz

Die DOC-Gehalte sind in den oberflächennahen und tiefen Grundwasserlandschaften des Quartärs (Oberrheingraben) gegenüber den anderen Grundwasserlandschaften erhöht. Hier liegen auch die größten Streuungsbereiche vor. Der Grund für die erhöhten Werte liegt in der fluvioglazialen Entstehung der Aquifere der Oberrheinebene. Die Schotter der Rheinebene enthalten insbesondere in Bereichen ehemaliger Flußläufe des Rheins und seiner Nebenflüsse (z.B. Kinzig-Murg-Rinne) organische Substanzen. Es besteht offenbar ein Zusammenhang mit den SAK-254-Werten, mit den Sauerstoffgehalten und mit dem Stickstoffhaushalt (s. entsprechende Kapitel).

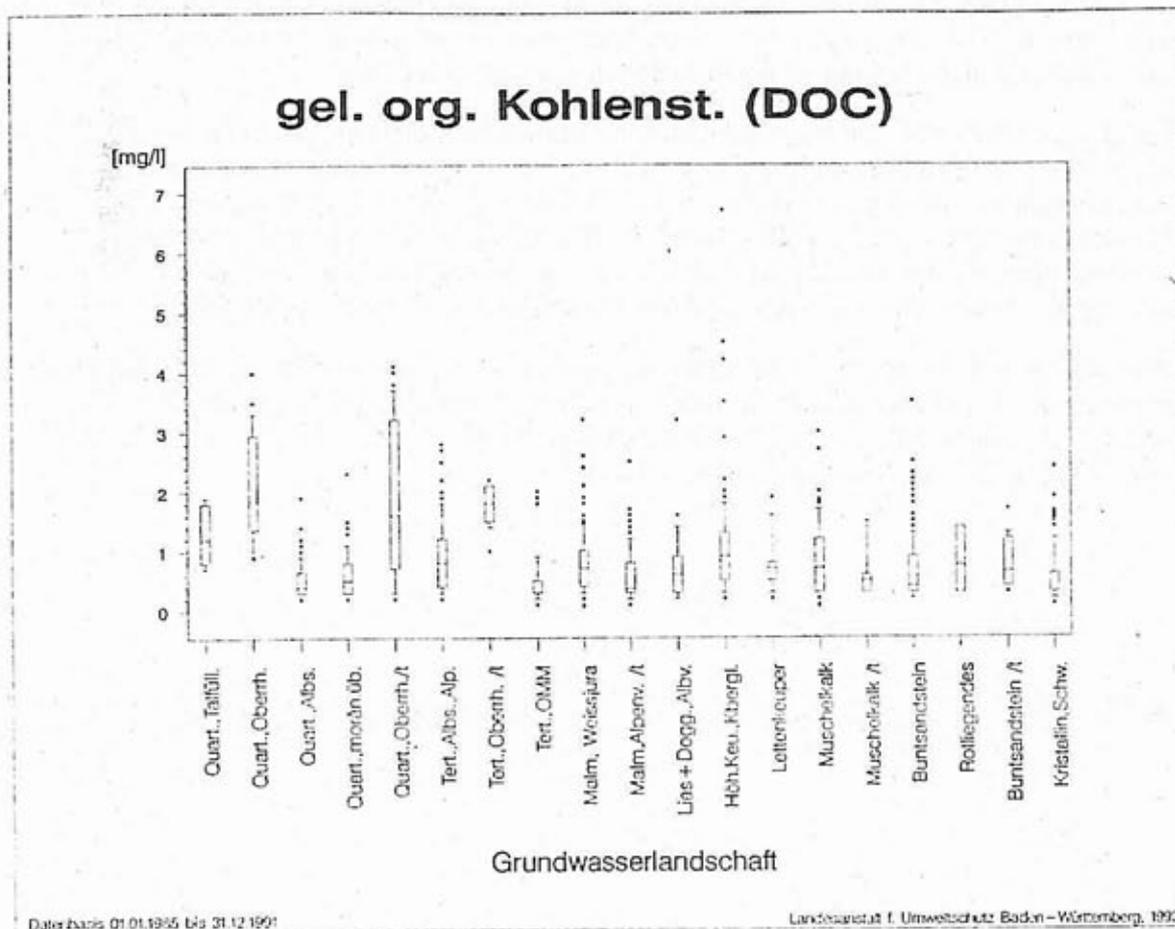
Im Grundwasser des Buntsandsteins und des Höheren Keupers beobachtete DOC-Maxima sind auf schnell zusickerndes huminstoffhaltiges Wasser im Frühjahr zurückzuführen. Die Beprobungszeiten des Basismeßnetzes im Frühjahr und Sommer erfassen also auch die periodischen Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit.

Die DOC-Gehalte in den Grundwässern korrelieren zum großen Teil mit den Konzentrationen an Eisen, Mangan, Sauerstoff und den SAK-254-Werten. Das Zusammenfallen von erhöhten DOC-Gehalten mit niedrigen Sauerstoffgehalten und mit erhöhten Eisen- und Mangankonzentrationen in einzelnen Grundwasserlandschaften deutet darauf hin, daß die Oxidation von organischer Substanz den Sauerstoff aktuell zehrt und in den sauerstoffarmen Grundwässern Eisen und Mangan in Lösung gehen. Da nicht auszuschließen ist, daß Eisenlösungsprozesse mikrobiell verstärkt sind (DVWK, 1988), kann hier auch die Existenz von Bakterien zum Kohlenstoffgehalt im Wasser beitragen.

Abb. 13: Statistische Kennzahlen - Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)

gel. org. KOHLENSTOFF (DOC) [mg/l] BG = 0.30 (0.20/0.07) mg/l C

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	5	1.900	1.900	1.800	1.200	0.800	0.700	0.700
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u. Sande	4	32	4.000	3.300	2.950	1.850	1.350	1.000	0.900
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u. Sande	6	72	1.900	0.900	0.650	0.400	<0.300	<0.300	<0.200
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u. Sande	5	47	2.300	1.100	0.800	0.500	0.300	<0.300	<0.200
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	43	4.100	3.700	3.200	1.600	0.700	<0.300	<0.200
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	83	2.800	1.800	1.200	0.800	0.400	<0.300	<0.200
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	2.200	2.100	2.100	1.800	1.500	1.400	1.000
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	39	2.000	0.900	0.500	0.300	<0.300	<0.200	<0.100
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	120	3.200	1.450	1.000	0.700	0.400	<0.300	<0.070
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	78	2.500	1.200	0.800	0.365	<0.300	<0.200	<0.100
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	3.190	1.400	0.900	0.600	<0.300	<0.200	<0.200
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	179	6.700	1.800	1.300	0.900	0.500	0.300	<0.200
LETTENKEUPER	2	17	1.900	1.600	0.800	0.700	0.500	<0.300	<0.200
MUSCHELKALK	8	62	3.000	1.700	1.200	0.700	0.300	<0.300	<0.070
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	1.500	1.500	0.600	0.500	0.300	<0.300	<0.300
BUNTSANDSTEIN	17	195	3.500	1.300	0.900	0.400	<0.300	<0.200	<0.200
ROTLIEGENDES	1	6	1.400	1.400	1.400	0.750	0.300	<0.300	<0.300
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	1.700	1.300	1.200	0.650	0.400	0.400	<0.300
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	113	2.400	1.200	0.600	<0.300	<0.300	<0.200	<0.100



4.12 Calcium

Allgemeines

Das Erdalkalimetall Calcium (Ca) kommt in der Natur als Kalk (CaCO_3), Gips ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$), Anhydrit (CaCO_3), Apatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) und Flußspat (CaF_2) vor. Calcium ist das häufigste Kation in nicht marin beeinflussten Grundwässern. In kohlenstoffdioxidhaltigem Wasser geht Calcium als Dihydrogencarbonat in Lösung.

Calcium ist an der Ausbildung der Kalkrostschuttschicht in den Rohrleitungen beteiligt, weshalb im Trinkwasser eine Mindestkonzentration von 20 mg/l Ca eingehalten werden sollte. Mit der Neufassung der TrinkwV wurde erstmals ein Grenzwert für Calcium von 400 mg/l Ca eingeführt.

Die Calciumkonzentrationen im Basismeßnetz

In den Grundwässern des Basismeßnetzes zeigt Calcium eine ähnliche Verteilung wie die Gesamthärte, da Calcium wesentlicher Bestandteil der Gesamthärte ist. Die Gründe für das Verteilungsmuster wurden bei der Diskussion der Gesamthärte dargelegt.

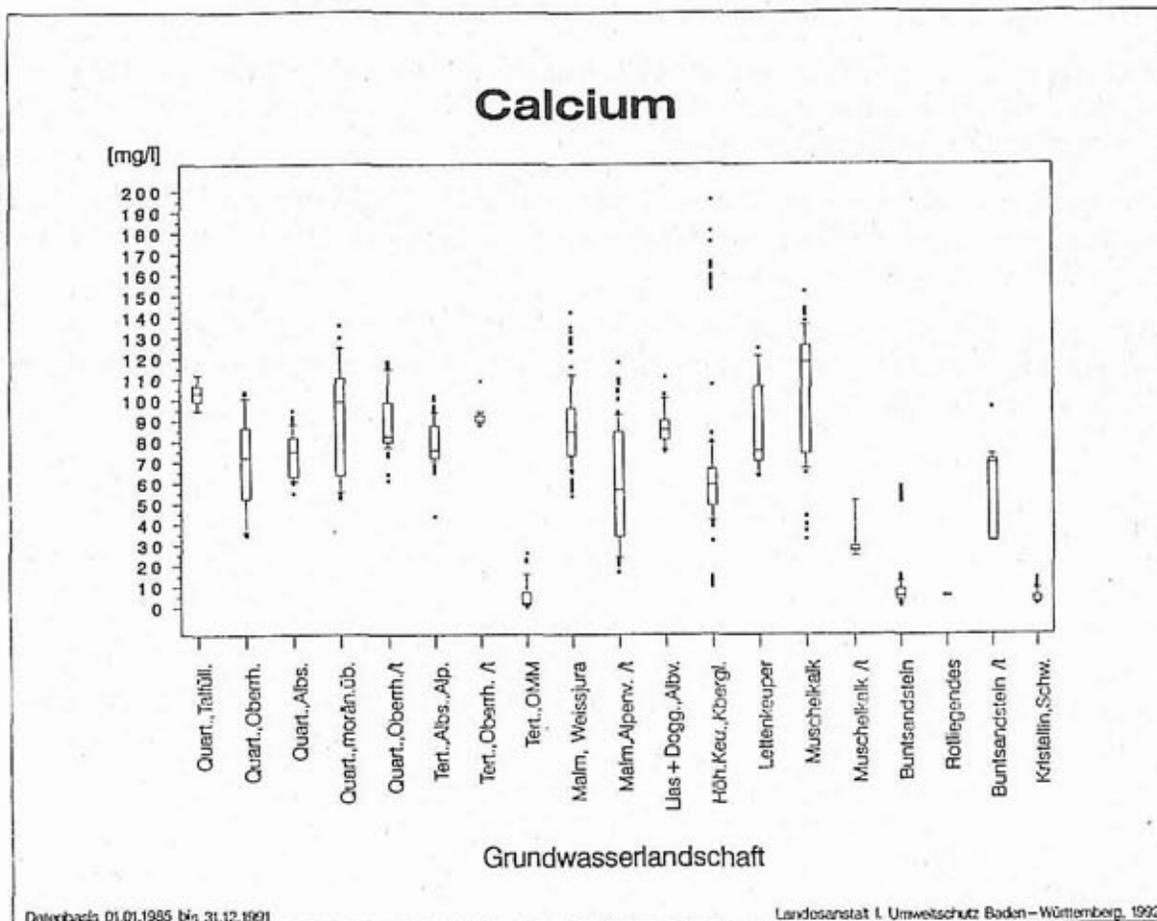
An einigen Meßstellen im oberflächennahen Grundwasser des unteren und mittleren Buntsandsteins werden zeitweise erhöhte Ca-Konzentrationen (höhere Einzelwerte) gemessen, die im Zusammenhang mit den dort niedrigen pH-Werten offenbar auf einen versauerungsbedingten Erdalkalienaustrag zurückzuführen sind. In einem Fall werden die Ca-Konzentrationen durch aus dem oberen Buntsandstein und dem hangenden Muschelkalk zufließendes calciumhaltiges Wasser verursacht. Dies gilt auch für eine Basismeßstelle im tiefen Buntsandstein.

Die niedrigen Einzelwerte im Höheren Keuper sind durch eine Meßstelle im Stubensandstein bedingt, deren erdalkaliarmes Grundwasser auch pH-Werte $< 6,0$, geringe Säurekapazitätswerte und geringe elektrische Leitfähigkeiten aufweist. Die Ca-Maxima im Höheren Keuper sind offenbar durch Gipsauslaugungen verursacht.

Abb. 14: Statistische Kennzahlen - Calcium

CALCIUM [mg/l] BG = 1,0 (0.1) mg/l Ca

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	8	112.20	112.20	107.05	103.50	99.50	95.00	95.00
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	36	104.00	100.80	86.75	72.35	52.50	36.50	35.00
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	76	95.00	88.20	81.95	75.05	62.80	61.00	55.00
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	48	136.00	125.00	110.50	99.00	63.75	55.80	52.80
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	43	118.50	114.80	98.90	82.50	79.70	77.30	61.20
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	85	102.00	94.00	87.70	75.80	72.10	70.60	44.00
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	109.00	94.10	92.80	92.15	89.50	88.00	87.50
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	40	26.00	15.85	7.05	2.00	1.25	0.85	0.20
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	123	142.00	112.00	96.00	84.60	73.00	66.00	53.50
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	83	118.00	92.60	84.60	56.80	34.00	24.20	17.00
LIAS und DOGGER, Altvorland	3	29	111.00	100.60	90.00	85.50	80.70	76.10	75.00
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	185	196.00	79.00	66.70	59.00	49.00	41.90	10.00
LETTENKEUPER	2	17	124.80	121.00	106.40	75.50	70.40	64.00	63.50
MUSCHELKALK	8	63	152.00	136.00	126.00	118.00	74.00	67.00	32.90
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	51.60	51.60	29.30	27.65	27.10	24.70	24.70
BUNTSANDSTEIN	17	201	58.40	12.80	8.90	5.50	3.90	2.40	1.20
ROTLIEGENDES	1	6	6.20	6.20	6.00	5.85	5.60	4.90	4.90
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	96.30	73.80	71.20	69.40	31.90	31.70	31.70
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	116	13.80	8.90	5.20	3.90	2.50	1.70	1.30



4.13 Magnesium

Allgemeines

Das Erdalkalimetall Magnesium (Mg) kommt im Gestein z.B. als Silikat (Olivin, Talk oder Serpentin), als Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) oder als Magnesit (MgCO_3) vor. In kohlenstoffdioxidhaltigem Wasser geht Magnesium als Dihydrogencarbonat in Lösung.

Der Grenzwert der TrinkwV beträgt 50 mg/l Mg.

Die Magnesiumkonzentrationen im Basismeßnetz

In den beobachteten Grundwässern zeigt Magnesium ein ähnliches Verteilungsmuster wie die Gesamthärte, da Magnesium wesentlicher Bestandteil der Gesamthärte ist.

Die großen Streuungsbereiche und großen Spannweiten zwischen Mg-Minima und Mg-Maxima im Höheren Keuper und im Muschelkalk resultieren aus dem unterschiedlichen Dolomitanteil in den Muschelkalk- und Keuperschichten.

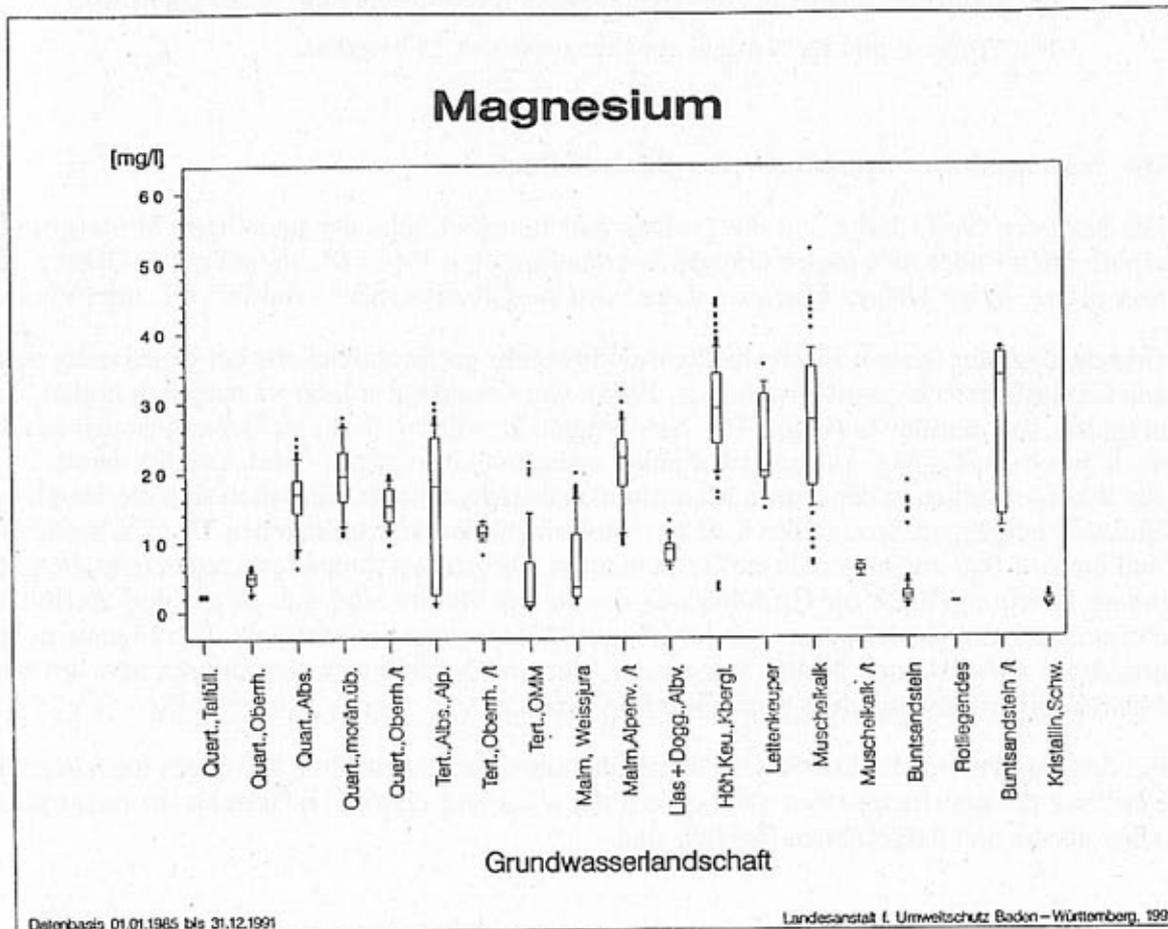
Die niedrigen Einzelwerte im Höheren Keuper sind auf eine Meßstelle im Stubensandstein zurückzuführen, deren erdalkaliarmes Grundwasser auch pH-Werte $< 6,0$, geringe Säurekapazitätswerte und geringe elektrische Leitfähigkeiten aufweist.

An einigen Meßstellen im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins werden zeitweise erhöhte Mg-Konzentrationen (höhere Boxploteinzelwerte) gemessen. Hier gelten dieselben Ursachen wie bei Calcium (Kap. 4.12).

Abb. 15: Statistische Kennzahlen - Magnesium

MAGNESIUM [mg/l] BG = 0.5 (0.3/0.1) mg/l Mg

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	8	2.60	2.60	2.40	2.20	2.10	1.90	1.90
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	34	6.60	6.00	5.60	4.90	4.00	2.60	2.30
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	76	25.00	22.00	18.90	16.95	14.15	9.00	6.30
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	48	28.00	26.60	22.95	19.50	15.85	12.30	11.00
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	43	19.70	19.00	17.70	15.30	13.00	11.60	9.60
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	82	30.00	26.90	25.00	18.00	2.40	1.20	0.80
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	13.00	12.90	12.30	11.20	10.60	10.00	8.10
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	40	21.40	14.10	7.00	1.30	0.80	0.60	0.30
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	117	19.90	16.20	11.00	3.40	2.10	1.90	1.00
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	83	31.80	27.50	24.60	22.00	17.90	11.10	9.60
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	13.00	11.20	9.60	8.80	7.00	6.50	6.00
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	186	44.70	37.80	34.00	29.05	24.00	20.00	3.00
LETTENKEUPER	2	17	35.30	32.80	31.00	20.00	19.10	16.00	14.70
MUSCHELKALK	8	64	51.80	37.60	34.95	27.35	17.90	15.00	6.60
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	6.90	6.90	6.40	5.90	5.60	4.80	4.80
BUNTSANDSTEIN	17	194	18.50	3.90	2.70	2.00	1.50	0.90	0.40
ROTLIEGENDES	1	6	1.30	1.30	1.20	1.15	1.00	1.00	1.00
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	37.70	37.50	36.85	33.55	13.60	12.00	11.00
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	115	2.70	1.90	1.40	1.00	0.70	0.40	0.20



4.14 Natrium

Allgemeines

Natrium (Na) ist das häufigste Alkalimetall. Es ist wichtiger Bestandteil von Mineralen (Kalk-Natronfeldspäte, Salze). Durch die Verwitterung von alkalihaltigen Silikatgesteinen wie z.B. von Feldspäten (Plagioklase, Albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), Nephelin $\text{Na}(\text{AlSiO}_4)$, Zeolithe) entstehen unter Wasseraufnahme Tone und lösliche Alkaliverbindungen, deren Akkumulation in der Erdgeschichte zur Entstehung von NaCl-Salzlagerstätten beitrug. In Baden-Württemberg kommen Salzlagerstätten im Neckartal und im südlichen wie im nördlichen Oberrheingraben vor. In Sandsteinen ist Na in Konzentrationen von ca. 3900 mg/kg, in Tongesteinen von ca. 4900 mg/kg vertreten. Da Natriumsalze gut löslich sind und im Boden und Gestein nur wenig an Tonmineralen, Oxiden und organischen Substanzen adsorbiert werden, ist aus der Verwitterung freigesetztes Natrium mit dem Sickerwasser leicht verlagerbar. Es kann sich im Grundwasser anreichern. Im Meerwasser stellt es mit einer mittleren Konzentration von 10.800 mg/l das wichtigste Kation dar. Vom Meer kann Natrium mit den Niederschlägen bis weit in die Kontinente gelangen. Nach Höll (1979) haben "normale" Grundwässer einen Na-Gehalt von einigen mg/l bis zu 50 mg/l. In der Regel treten hohe Na-Konzentrationen in Verbindung mit Chloridionen auf. In sogenannten Austauschwässern ist aber der Na-Gehalt zu einem großen Teil nicht dem Chloridionengehalt äquivalent, sondern dem Gehalt an Hydrogenkarbonat- oder Sulfationen. Da Na_2CO_3 - und Na_2SO_4 -Salzlagerstätten in der Bundesrepublik Deutschland nicht häufig sind, sind hohe Na-Gehalte in solchen Wässern auf den Austausch von im Wasser enthaltenen Ca- und Mg-Ionen gegen in der Aquifermatrix enthaltenen Na-Ionen zurückzuführen (Höltling, 1989; Mattheß, 1990). In Natriumhydrogenkarbonatwässern ist die Summe der Erdalkalien (Gesamthärte) kleiner als die Hydrogenkarbonatkonzentration (Karbonathärte).

Die TrinkwV gibt für Natrium ein Grenzwert von 150 mg/l an.

Die Natriumkonzentrationen im Basismeßnetz

Die höchsten Na-Gehalte und die größten Streuungsbereiche der jeweiligen Hintergrundbeschaffenheit finden sich in den Grundwasserlandschaften Tiefer Malm und in der Oberen Meeresmolasse. In der Oberen Meeresmolasse wird der Grenzwert der TrinkwV z.T. überschritten.

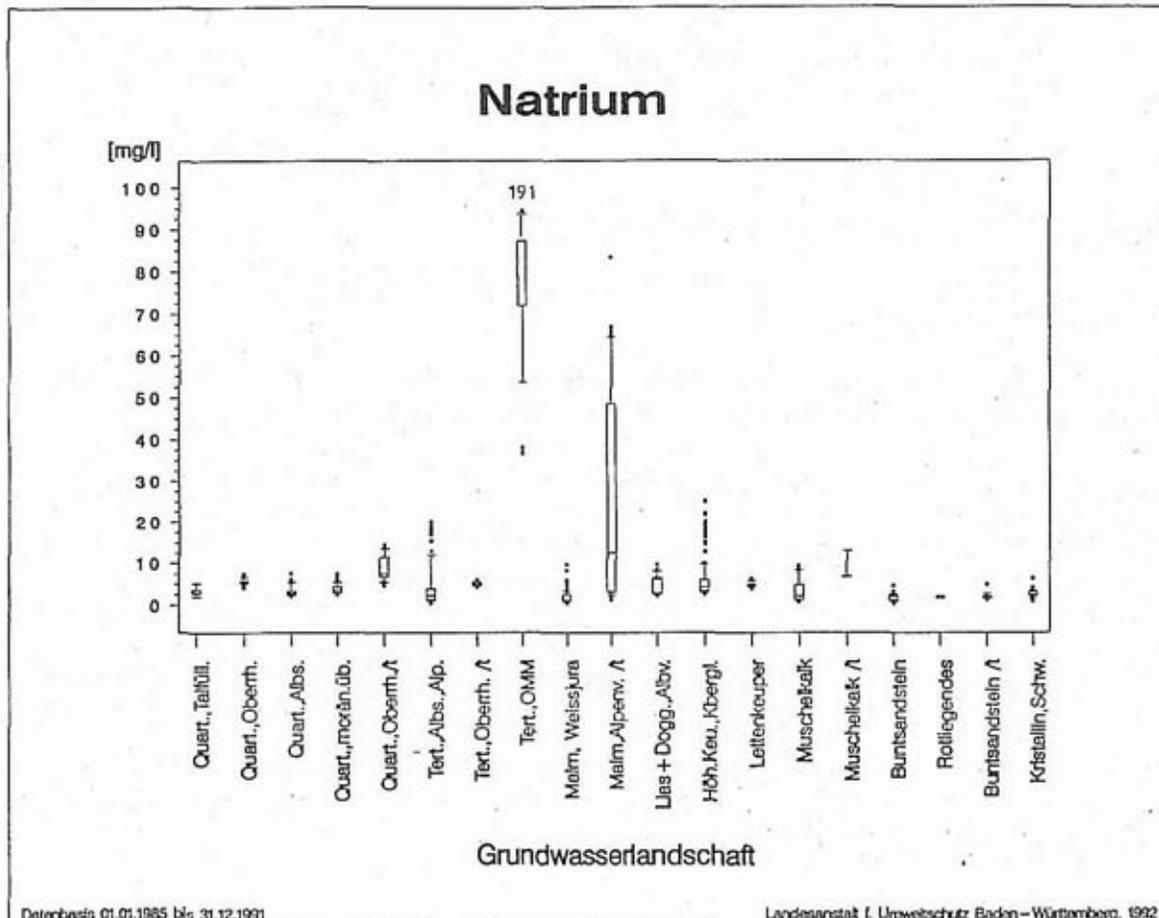
Grundwässer der Oberen Meeresmolasse sind für sehr große Na-Gehalte bei gleichzeitig niedrigen Gesamthärten bekannt (Grahmann, 1958). Der Grund dafür liegt im natürlich hohen Natriumgehalt des marinen Gesteins. Die Natriumgehalte werden in dieser Grundwasserlandschaft noch durch Na-Ca-Mg-Austauschvorgänge zwischen Grundwasser und Aquifer verstärkt. An den vier Meßstellen in der oberen Meeresmolasse (tiefes Tertiär) verhalten sich die Na-Gehalte eindeutig entgegengesetzt zu den Calcium- und Magnesiumkonzentrationen. Die Karbonathärten sind bis zu 7.000 mal höher als die Gesamthärten. Die großen Streuungsbereiche und die relativ hohen Natriumgehalte im Grundwasser des tiefen Malms sind u.a. durch den Zufluß von natriumhaltigem Grundwasser aus der Oberen Meeresmolasse verursacht. Die Meeresmolasse überdeckt teilweise den Malm. Wie es der Medianwert andeutet, dominieren aber im tiefen Malm Wässer mit wesentlich geringeren Na-Gehalten.

Bei den Na-Werten im Quartär des Oberrheingrabens ist zu beachten, daß durch die natürlichen Einflüsse der oberrheinischen Salzlagerstätten lokal und regional höhere Na-Konzentrationswerte als die hier aufgeführten möglich sind.

Abb. 16: Statistische Kennzahlen - Natrium

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	NST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	5	5.20	5.20	3.60	3.10	2.90	2.00	2.00
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	34	7.50	6.60	5.80	5.50	5.30	5.10	4.20
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	73	7.60	5.40	4.90	2.90	2.60	2.40	2.10
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	47	7.40	5.40	4.40	3.80	3.30	2.90	2.60
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	42	14.50	13.60	11.50	7.55	6.90	5.50	4.80
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	84	20.10	12.00	3.85	2.30	1.30	<1.00	<0.50
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	6.00	5.50	5.45	4.90	4.70	4.50	4.30
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	40	191.40	186.60	180.55	99.85	71.90	53.50	36.60
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	119	9.70	3.30	2.50	1.20	<1.00	<1.00	<0.50
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	83	83.40	64.50	48.40	12.50	3.20	2.40	1.30
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	9.80	8.10	6.60	6.20	2.90	2.60	2.30
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	184	25.00	9.70	6.00	4.20	3.30	3.00	2.60
LETTENKEUPER	2	17	6.40	5.90	5.00	4.60	4.50	4.40	4.00
MUSCHELKALK	8	65	9.50	8.40	4.80	2.20	1.40	1.20	0.80
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	13.10	13.10	7.00	6.70	6.70	6.70	6.70
BUNTSANDSTEIN	17	199	4.70	2.60	2.10	1.40	1.00	<1.00	<0.50
ROTLIEGENDES	1	6	2.30	2.30	2.00	1.85	1.70	1.60	1.60
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	11	5.00	2.80	2.20	1.90	1.70	1.60	1.30
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	116	6.40	3.50	3.10	2.50	2.20	1.70	1.00

BG = 1.0 (0.5) mg/l Na



4.15 Kalium

Allgemeines

Kalium (K) kommt chemisch gebunden in Mineralen und in Organismen vor. Kaliumhaltige Minerale sind z.B. Sylvit (KCl), Karnallit ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) und die weitverbreiteten Kalifeldspäte ($\text{KAl Si}_3\text{O}_8$) und Kaliglimmer (Muskovit, $\text{KAl}_2 (\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$). Nach Hem (1970) enthalten Magmatite etwa 26.000 mg/kg K, Sandsteine etwa 13.000 mg/kg.

Durch Verwitterung freigesetzte K-Ionen werden im Gegensatz zu Na-Ionen an Tonmineralen stark adsorbiert und von Pflanzen bevorzugt aufgenommen (Kalium = al kalja (arab. Pflanzenasche)). Deshalb sind die Kaliumkonzentrationen im Sicker- und Grundwasser meist geringer als die Natriumgehalte. Tongesteine erfahren eine sekundäre, relative Anreicherung, sie enthalten etwa 25.000 mg/kg K. Im Bereich von Torfvorkommen und anderen Lagerstätten (Salz, Kohle, Bitumen, Erdöl, Ölwässer) kann der natürliche Kaliumgehalt im Grundwasser erhöht sein. Tertiäre Salz- und Öllagerstätten finden sich in der Oberrheinebene z.B. im südlichen Oberrheingraben bei Müllheim (Kalibecken Buggingen), in der nördlichen Oberrheinebene bei Karlsruhe und Bruchsal und am Schwarzwaldrand im Ortenaukreis (Keller u. a., 1979). Salzlagerstätten erhöhen zumindest den Salzgehalt des tiefen Grundwassers. Durch aufsteigende Tiefenwässer kann der Kaliumgehalt des oberflächennahen Grundwassers erhöht werden.

Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 12 mg/l K vor. Geologisch bedingte höhere Konzentrationen bleiben bis zu einem Grenzwert von 50 mg/l K unberücksichtigt.

Die Kaliumkonzentrationen im Basismeßnetz

In den Grundwässern des Basismeßnetzes liegen die Kaliumkonzentrationen unterhalb des Grenzwertes der TrinkwV.

Die höchsten Konzentrationen und größten Streubereiche der geogen geprägten Hintergrundbeschaffenheit sind im Grundwasser des tiefen Malms (Alpenvorland) gegeben.

Die im Grundwasser der Ton- und Sandsteinlandschaften des Höheren Keupers, des Buntsandsteins und des tiefen Buntsandsteins erhöhten Konzentrationen sind aufgrund des höheren K-Gehaltes der dort vorhandenen Tongesteine verständlich. Das oberflächennahe Grundwasser an einer der Meßstellen im mittleren Buntsandstein ist vom oberen Buntsandstein und vom Muschelkalk beeinflusst, was die höheren Einzelwerte im oberflächennahen Buntsandstein erklärt.

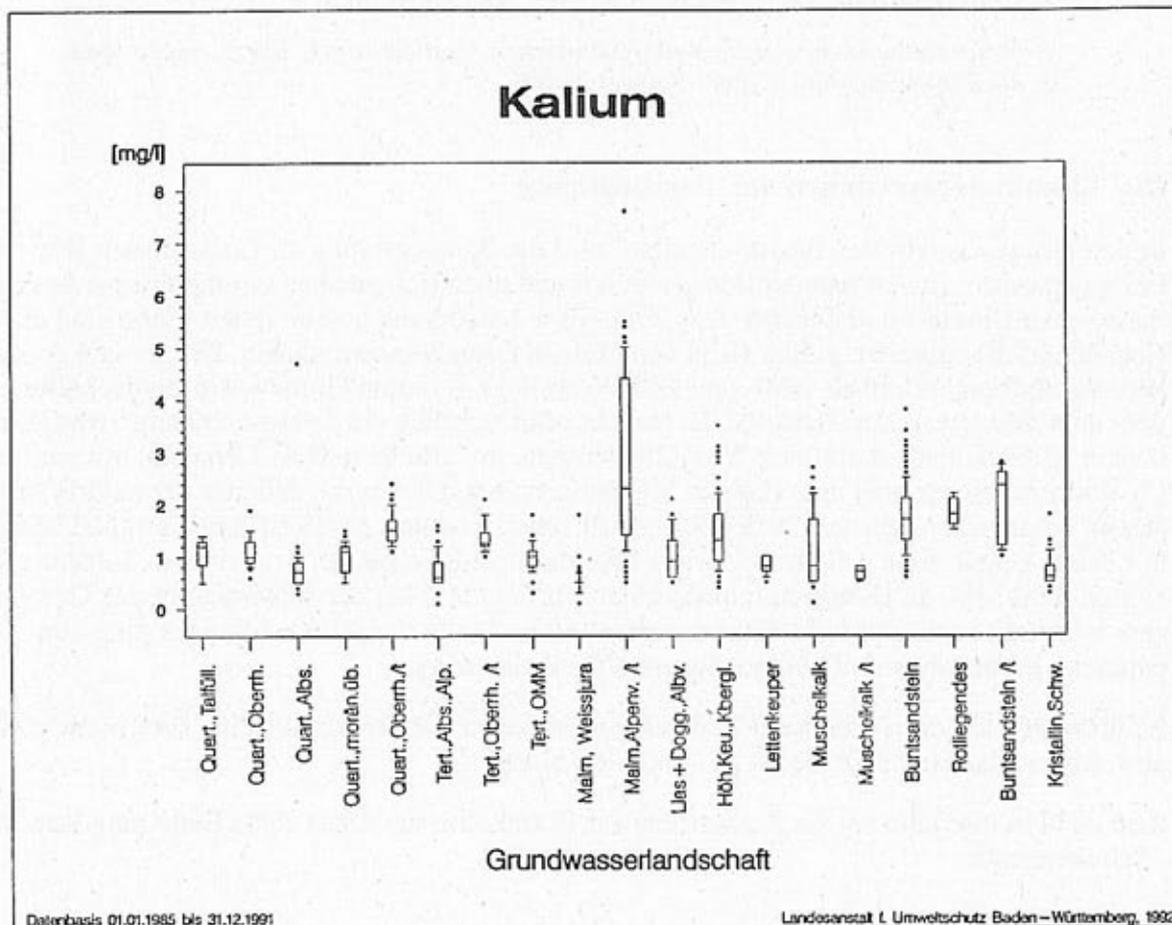
Der Muschelkalk besitzt z.T. tonige, mergelige und salzhaltige Horizonte mit hohem Kaliumgehalt.

Bei den Kaliumwerten im Quartär des Oberrheingrabens ist zu beachten, daß durch die natürlichen Einflüsse der oberrheinischen Salzlagerstätten lokal und regional höhere Konzentrationswerte als die hier aufgeführten möglich sind.

Abb. 17: Statistische Kennzahlen - Kalium

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	4	1.400	1.400	1.300	1.200	0.850	0.500	0.500
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	32	1.900	1.500	1.300	1.000	0.900	0.800	0.600
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	65	4.700	1.000	0.900	0.700	0.500	<0.500	<0.300
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	43	1.500	1.300	1.200	1.100	0.700	0.500	<0.500
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	42	2.400	2.000	1.700	1.500	1.300	1.200	1.100
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	70	1.600	1.200	0.900	0.600	<0.500	<0.500	<0.100
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	2.100	1.800	1.450	1.250	1.200	1.100	1.000
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	37	1.800	1.300	1.100	1.000	0.800	0.700	0.300
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	90	1.800	0.690	0.500	<0.500	<0.500	<0.300	<0.100
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	83	7.600	5.000	4.400	2.300	1.400	1.100	<0.500
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	25	2.100	1.700	1.300	0.900	0.600	0.600	<0.500
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	167	3.500	2.200	1.800	1.300	0.900	0.700	<0.500
LETTENKEUPER	2	13	1.000	1.000	1.000	0.800	0.700	0.600	<0.500
MUSCHELKALK	8	51	2.700	2.200	1.700	0.800	0.500	<0.500	<0.100
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	4	0.800	0.800	0.800	0.700	0.550	0.500	0.500
BUNTSANDSTEIN	17	195	3.800	2.500	2.100	1.700	1.300	1.000	0.600
ROTLIEGENDES	1	6	2.200	2.200	2.100	1.800	1.600	1.500	1.500
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	10	2.800	2.750	2.600	2.350	1.200	1.100	1.000
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	95	1.800	1.100	0.800	0.600	<0.500	<0.500	<0.300

BG = 0.5 (0.3/0.1) mg/l K



4.16 Eisen, gesamt

Allgemeines

Eisen (Fe) ist nach Aluminium das häufigste Metall in der Umwelt. Minerale mit hohen Eisenanteilen sind: Magnetit (Fe_3O_4), Hämatit (Fe_2O_3), Siderit (FeCO_3), Pyrit (FeS_2 und FeS), Olivin (Fe_2SiO_4). Bei der Verwitterung wird Eisen in wenig lösliche Eisenoxide und Eisenoxidhydrate umgewandelt, die den Böden die gelbe, braune oder rote Farbe geben. Im Grundwasser kommt gelöstes Eisen meist als zweiwertiges Fe(II) aber auch als dreiwertiges Fe(III) vor. In Grundwässern mit mehr als 4 mg/l O_2 ist gelöstes Eisen allenfalls in Spuren vorhanden, weil das gelöste Eisen zu Eisenoxiden/-oxidhydraten oxidiert werden kann und im Aquifer ausfällt. Dagegen wird bei Sauerstoffmangel die Löslichkeit von Fe verstärkt, weshalb sauerstoffarme Grundwässer meist eisenhaltiger sind als sauerstoffreiche. In sauerstoffarmen bis sauerstofffreien Grundwässern liegt der Fe-Gehalt meist zwischen 1 und 10 mg/l (Mattheß, 1973). Niedrige pH-Werte tragen zu einer weiteren Erhöhung der Löslichkeit bei. Mikroorganismen können an der Oxidation und Reduktion von Eisenverbindungen beteiligt sein (Mattheß, 1973; DVWK, 1988).

Natürlich erhöhte Fe-Gehalte in Grundwässern lassen indirekt auf eine organische natürliche Beeinflussung (anmoorige Böden, Moore) schließen. Die biochemische Oxidation der organischen Substanz zehrt den Sauerstoff, wodurch das Redoxpotential sinkt und Fe^{2+} verstärkt in Lösung gehen kann, was die Fe-Konzentration im Wasser erhöht. Insbesondere das zweiwertige Eisen bildet mit organischen Substanzen (z.B. Huminsäuren) Komplexe.

Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 0,2 mg/l Fe-gesamt vor.

Weitere Anmerkungen zum hydrochemischen Verhalten von Eisen finden sich in der Einleitung zum Kapitel Schwermetalle.

Die Eisenkonzentrationen im Basismeßnetz

In den Grundwässern des Basismeßnetzes wird die Konzentration an Gesamteisen [Fe^{2+} und Fe^{3+}] gemessen. In den sauerstoffarmen tiefen und oberflächennahen Grundwässern des ober-rheinischen Quartärs und Tertiärs, des Tertiärs am Albsüdrand und im tiefen Malm sind die Fe-Gehalte und Bandbreiten größer als in den übrigen Grundwasserregionen. Die geogen geprägte Hintergrundbeschaffenheit (P90- und P10-Wert) liegt in diesen Grundwasserlandschaften z.T. über dem Grenzwert der TrinkwV. Es besteht offensichtlich ein Zusammenhang zwischen erhöhten Fe-Gehalten mit erhöhten SAK-254-Werten, mit erhöhten DOC-Gehalten, mit niedrigen O_2 -Konzentrationen und mit erhöhten Mangangehalten. Dies zeigt, daß hier der natürliche Gehalt an organischen Substanzen den Sauerstoff zehrt, wodurch zweiwertiges Eisen und Mangan in Lösung gehen. Eine weitere Erklärung liegt darin, daß Fe aus der organischen Substanz freigesetzt wird bzw. an Huminsäuren adsorbiert vorliegt und bei der Bestimmung des Gesamteisens miterfaßt wird. Der hohe Extremwert im tiefen Malm des Alpenvorlandes ging zum Zeitpunkt der Probenahme mit völliger Sauerstofffreiheit einher.

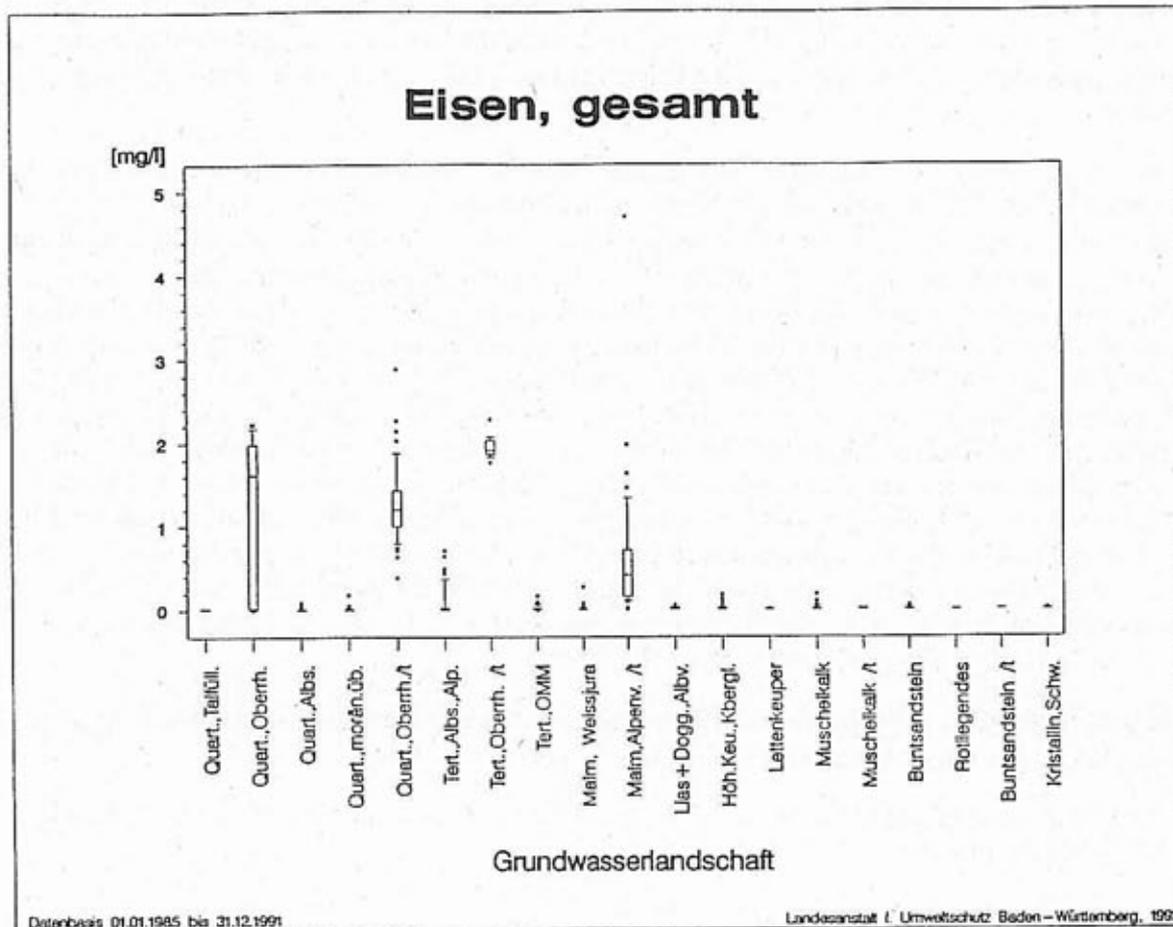
Es fällt auf, daß die Fe-Gehalte in den Grundwässern des Buntsandsteins sehr niedrig sind, obwohl der Mangangehalt erhöht ist (s. Kapitel Mangan).

Zum Analysenumfang bei der Auswertung der Eisenkonzentrationen siehe Einleitung Kap. 4.26 - Schwermetalle.

Abb. 18: Statistische Kennzahlen - Eisen, gesamt

EISEN, gesamt [mg/l] BG = 0.001 mg/l Fe

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	MST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	2	0.0200	—	—	—	—	—	0.0080
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	2	14	2.229	2.1780	1.9880	1.6195	0.0200	0.0060	0.0040
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	61	0.0880	0.0080	0.0030	0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	37	0.1820	0.0100	0.0040	0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	43	2.8070	1.8790	1.4300	1.2050	1.0000	0.7920	0.3840
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	71	0.7080	0.3670	0.0230	0.0040	<0.0010	<0.0010	<0.0010
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	2.2820	2.0720	2.0295	1.9115	1.8605	1.8300	1.7640
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	34	0.1670	0.0660	0.0180	0.0080	0.0040	0.0020	<0.0010
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	91	0.2750	0.0220	0.0070	0.0030	0.0010	<0.0010	<0.0010
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	5	42	4.7000	1.338	0.7100	0.4145	0.1580	0.1100	0.0080
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	23	0.0550	0.0270	0.0200	0.0030	0.0010	<0.0010	<0.0010
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	15	139	0.1800	0.0210	0.0050	0.0030	0.0010	<0.0010	<0.0010
LETTENKEUPER	2	11	0.0100	0.0040	0.0030	0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
MUSCHELKALK	6	39	0.1850	0.0400	0.0110	0.0040	0.0020	<0.0010	<0.0010
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	2	0.0200	—	—	—	—	—	<0.0010
BUNTSANDSTEIN	17	158	0.0500	0.0060	0.0020	0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
ROTLIEGENDES	1	2	0.0030	—	—	—	—	—	<0.0010
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	1	2	0.0100	—	—	—	—	—	0.006
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	92	0.0230	0.0040	0.0020	0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010



4.17 Mangan, gesamt

Allgemeines

Mangan (Mn) ist ein ubiquitäres und essentielles Metall. Es begleitet Eisenerze. Manganhaltige Minerale sind z.B. Braunstein (MnO_2), Braunmanganerz ($MnO(OH)$), Braunit ($3 Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$), Hausmannit (Mn_3O_4), Manganspat ($MnCO_3$). Die Verwitterung und die redoxchemischen Reaktionen des Mangans verlaufen ähnlich wie beim Eisen. Gewöhnlich ist der Mangangehalt in Grundwässern geringer als der Eisengehalt (Mattheß, 1973). Mangan wird aber in sauerstoffarmen Gewässern schon bei noch weit höheren Sauerstoffgehalten bzw. höheren Redoxpotentialen gelöst als Eisen (Hem, 1970; Schröter, Lautenschläger & Bibrack, 1978; Merian u.a., 1984; Schwoerbel, 1985).

Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 0,05 mg/l Mn vor, der in den Grundwässern des Basismeßnetzes teilweise überschritten wurde.

Weitere Anmerkungen zum hydrochemischen Verhalten von Mangan finden sich in der Einleitung zum Kapitel Schwermetalle.

Die Mangankonzentrationen im Basismeßnetz

In den Grundwässern des Basismeßnetzes sind die größtenteils redoxbedingten Tendenzen der Konzentrationen und der Streuungsbereiche ähnlich wie beim Eisen. Auffällig sind die gegenüber den erhöhten Eisenkonzentrationen geringen Mn-Gehalte im tiefen Malm des Alpenvorlandes und die gegenüber geringen Fe-Gehalten hohen Mn-Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins. Buntsandstein ist reich an eisen- und manganhaltigen Mineralen.

An einigen Meßstellen im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins korrelieren die höchsten Mn-Gehalte nicht mit niedrigen O_2 -Konzentrationen, sondern mit hohen O_2 -Gehalten im Sättigungsbereich und mit niedrigeren pH-Werten. Die Mn-Gehalte können also nicht auf die Sauerstoffarmut zurückgeführt werden. Die hohen Einzelwerte im Buntsandstein finden sich an Basismeßstellen (Quellen im unteren/mittleren Buntsandstein), die insbesondere nach Frühjahrsniederschlägen Versauerungsmerkmale aufweisen. Schnell versickertes Wasser (Indizien: hohe O_2 -Gehalte, erhöhte DOC-Gehalte) erreicht das Grundwasser, das bei zeitweilig hohen Quellschüttungen Versauerungsindizien zeigt (erhöhte SO_4^- , NO_3^- , F- und Al-Gehalte, pH-Werte von 4,25-5,1). Für diese Meßstellen kann ein atmogener und pedogener Säureeintrag angenommen werden. Der Säureeintrag führt auch zur Lösung von Aluminium, organischer Substanz und von Metallen (z.B. Mn). Bei unter pH 5 sinkenden pH-Werten wird zunächst Mn und Al ausgetauscht, erst bei extrem sauren Verhältnissen steigt die Fe-Konzentration (Scheffer u. a., 1982). Die im Buntsandstein in Baden-Württemberg vorhandenen sauren Böden sind offenbar von diesen Prozessen betroffen, woraus die hier gegenüber den Eisengehalten auffällig erhöhten Mn-Gehalte im Grundwasser resultieren.

Die im tiefen Grundwasser des oberrheinischen Quartärs gemessenen erhöhten Mangangehalte sind bei gleichzeitig geringen Sauerstoffgehalten geogen bedingt.

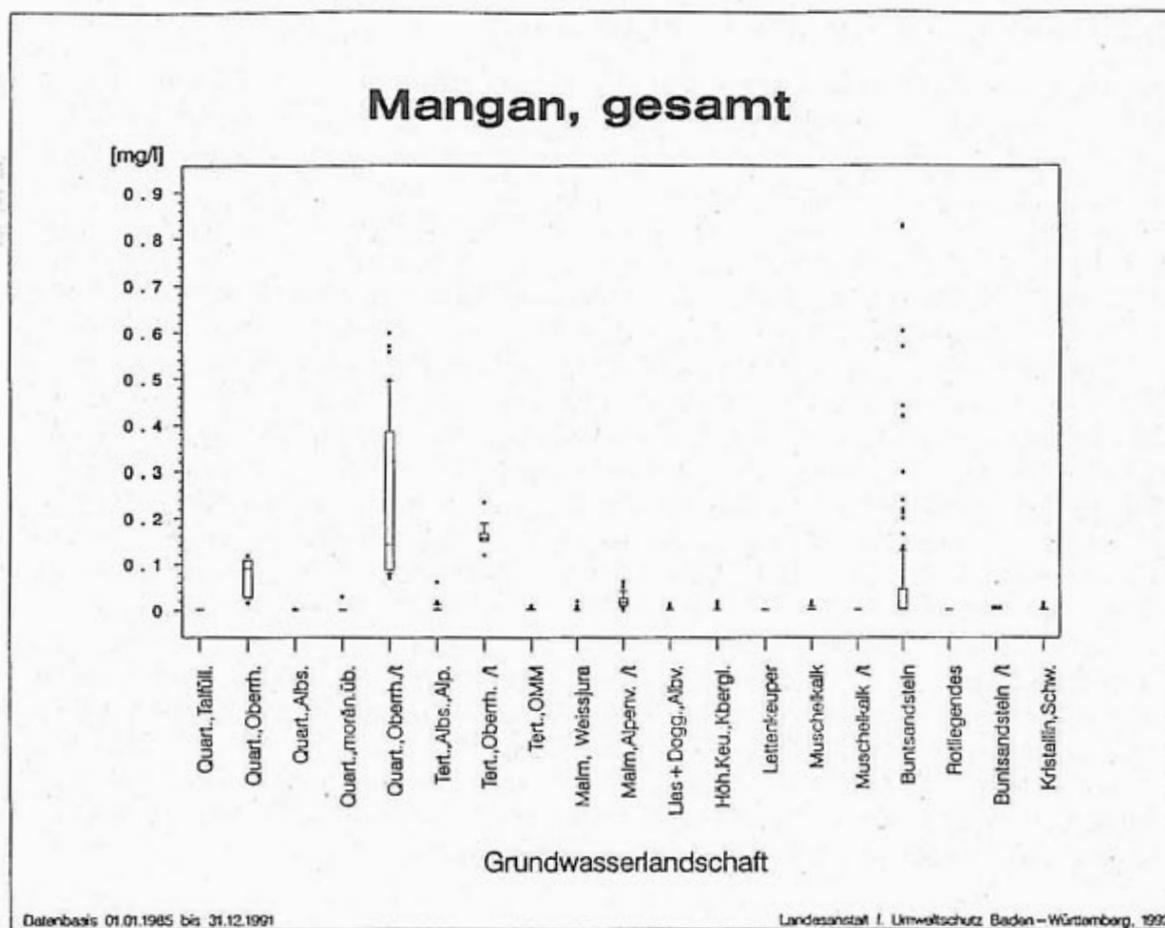
Zum Analysenumfang bei der Auswertung der Mangankonzentrationen siehe Einleitung Kap. 4.26 - Schwermetalle.

Abb. 19: Statistische Kennzahlen - Mangan, gesamt

MANGAN, gesamt [µg/l]

BG = 0.001 µg/l Mn

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	1	<0.0010	—	—	—	—	—	<0.0010
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u. Sande	2	14	0.1180	0.1100	0.1090	0.0900	0.0290	0.0260	0.0170
QUARTÄR, Albsüdrand/ Kiese u. Sande	6	62	0.0030	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
QUARTÄR, moränenüb./ Kiese u. Sande	5	36	0.0300	0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
QUARTÄR, Oberrhein/ tiefe Aquifere	4	42	0.6000	0.4950	0.3860	0.1425	0.0880	0.0800	0.0700
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	68	0.0620	0.0140	0.0020	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
TERTIÄR, Oberrhein/ tiefe Aquifere	1	12	0.2350	0.1890	0.1665	0.1560	0.1510	0.1500	0.1200
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	32	0.0100	0.0040	0.0015	0.0010	0.0010	0.0010	<0.0010
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	89	0.0200	0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
MALM, Alpenvorland/ tiefe Aquifere	5	33	0.0630	0.0420	0.0260	0.0170	0.0110	0.0070	<0.0010
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	22	0.0150	0.0070	0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	15	143	0.0200	0.0020	0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
LETTENKEUPER	2	10	0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
MUSCHELKALK	6	35	0.0200	0.0100	0.0030	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
MUSCHELKALK / tiefe Aquifere	1	1	<0.0010	—	—	—	—	—	<0.0010
BUNTSANDSTEIN	17	162	0.8300	0.1300	0.0460	0.0040	<0.0010	<0.0010	<0.0010
ROTLIEGENDES	1	3	<0.0010	—	—	0.0010	—	—	0.0010
BUNTSANDSTEIN / tiefe Aquifere	1	2	0.0100	—	—	—	—	—	<0.0010
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	90	0.0160	0.0030	0.0020	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010



4.18 Chlorid

Allgemeines

Chloride sind in der Natur als Natriumchlorid (Kochsalz (NaCl)), Kaliumchlorid (Sylvin (KCl)) und Calciumchlorid weit verbreitet. Die Chloridverbindungen zählen zu den sehr leicht löslichen Verbindungen. Magmatite und Karbonatgesteine enthalten mehr Chlorid als Tongesteine und Sandsteine (Mattheß, 1990). Tieferliegende Tongesteine enthalten meist mehr Chlorid (etwa 1500 mg/kg) als oberflächennahe. Auch Feldspäte enthalten Chloride. Salzlagerstätten sind hochkonzentrierte Akkumulationen von Natrium- und/oder Kaliumchloriden. Grundwasser enthält meist 10-30 mg/l Cl. In Grundwasserlandschaften mit Urgesteinen liegen die Cl-Konzentrationen meist unter 10 mg/l Cl (Mattheß, 1990). Über den atmosphärischen Transport erhalten Küstengebiete mehr Chlorid aus dem Meer als küstenferne Regionen. Grundwässer in Küstennähe und in der Nähe von Salzlagerstätten können etwa bis zu 100 mg/l enthalten (DVGW, 1985). Nach Aurand u.a. (1980) dominieren im Trinkwasser Baden-Württembergs Cl-Gehalte von 10 bis 25 mg/l. In der Nähe von in Verwerfungen aufsteigendem salzhaltigem Tiefenwasser und im Abstrombereich von Salz- und Öllagerstätten in der Oberrheinebene sind die Chloridgehalte erhöht. Nach Angaben des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg (1989) lag der 1985 in Trinkwasseranalysen festgestellte Höchstwert bei 120 mg/l Cl (Muschelkalklandschaft). Konzentrationen von > 100 mg/l Cl im Trinkwasser verstärken die Korrosion und gelten als geschmacksbeeinträchtigend. Die Grenze der Genießbarkeit wird zwischen 250 und 400 mg/l Cl erreicht, weshalb die Neufassung der TrinkwV (05.12.1990) einen Grenzwert von 250 mg/l Cl vorsieht.

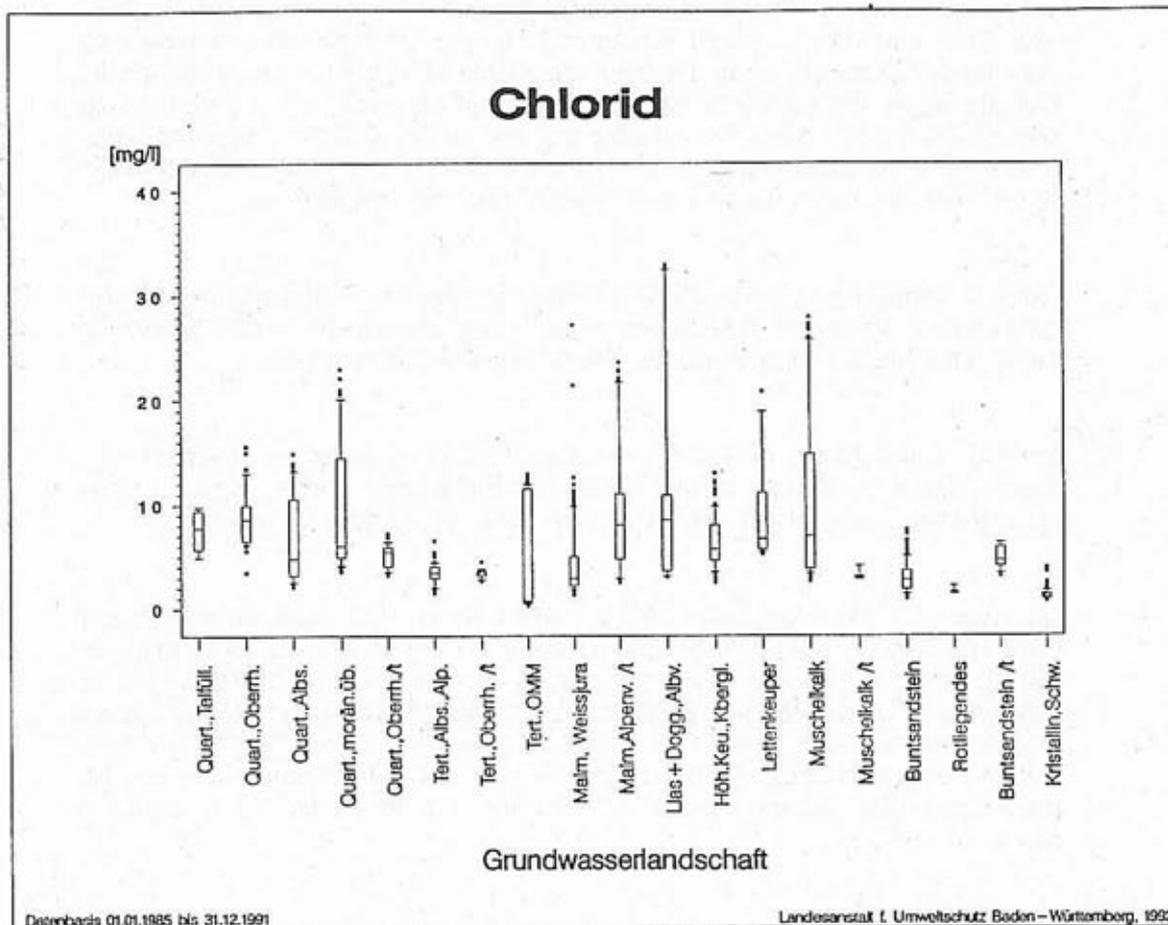
Die Chloridkonzentrationen im Basismeßnetz

Die geringsten Konzentrationen und kleinsten Streuungsbereiche liegen im Kristallin, im oberflächennahen und tiefen Buntsandstein, im Rotliegenden, im tiefen Muschelkalk, im Tertiär des Oberrheingrabens und des Albsüdrandes/Alpenvorlandes und im tiefen Quartär des Oberrheingrabens vor. In den anderen Grundwasserlandschaften werden größere Konzentrationen und Streuungsbereiche beobachtet. Aus dem Vergleich mit Niederschlagsanalysen ergibt sich (durchschnittliche Jahreswerte je nach Höhenlage und Waldbedeckung etwa 1-3 mg/l Cl, Evers & Krebs, 1990; Meesenburg & Müller, 1990), daß die im gering mineralisierten Grundwasser des Buntsandsteins und des Kristallins vorhandenen Chloridgehalte einen atmogenen Anteil beinhalten. Die im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins gefundenen höheren Einzelwerte, die den P90-Wert erhöhen, sind durch eine Basismeßstelle bedingt, in deren Einzugsgebiet der untere und mittlere Buntsandstein von den chloridhaltigeren Schichten des oberen Buntsandsteins und des Muschelkalks überdeckt ist. Die im Lias und Dogger und im Muschelkalk auffällig erhöhten P90-Werte sind auf Salzeinlagerungen in diesen Gesteinen zurückzuführen. In der Oberen Meeresmolasse liegen sowohl auffällig erhöhte wie auch niedrige Konzentrationen vor. Die erhöhten Gehalte sind durch Meßstellen verursacht, an denen das Grundwasser unter dem Einfluß von salzhaltigen Porenlösungen im Molassegestein steht. Die niedrigeren Konzentrationen in anderen Teilbereichen der Oberen Meeresmolasse lassen auf Bereiche schließen, in denen die chloridreiche Restlösung der Porenräume schon ausgewaschen ist. Die überwiegende Anzahl niedriger Chloridkonzentrationen führt hier bei der statistischen Analyse zu einem vergleichsweise niedrigen Medianwert. Die aus der Oberen Meeresmolasse ausgewaschene chloridhaltige Restlösung kann in tiefere Grundwasserstockwerke (tiefer Malm) wandern, worauf die Konzentrationsunterschiede zwischen tiefem und oberflächennahem Malm beruhen. Der Grenzwert der TrinkwV wird in keiner Analyse erreicht.

Abb. 20: Statistische Kennzahlen - Chlorid

CHLORID [mg/l] BG = 0.5 (0.3/0.1) mg/l Cl

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	8	9.80	9.80	9.45	7.75	5.70	4.90	4.90
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	36	15.60	13.00	9.95	8.60	6.50	6.20	3.50
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	76	14.90	13.20	10.55	4.80	3.15	2.50	2.10
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	48	23.00	20.10	14.50	6.00	4.90	4.10	3.60
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	43	7.20	6.40	5.90	5.40	4.00	3.50	3.20
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	84	6.50	4.40	4.00	3.40	2.90	2.00	1.50
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	4.50	3.80	3.60	3.40	3.15	2.80	2.60
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	40	12.90	11.90	11.50	0.75	0.60	0.50	<0.30
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	117	27.20	9.80	5.00	2.90	2.20	1.90	1.30
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	79	23.60	21.70	11.00	8.00	4.70	2.90	2.50
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	32.90	32.40	10.90	8.50	3.60	3.10	3.00
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	185	13.00	9.80	8.00	5.70	4.60	3.50	2.50
LETTENKEUPER	2	16	20.80	18.90	11.10	6.65	5.65	5.40	5.20
MUSCHELKALK	8	64	27.90	25.80	14.85	6.95	3.80	3.40	2.60
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	4.10	4.10	3.10	3.00	2.90	2.80	2.80
BUNTSANDSTEIN	17	191	7.50	5.00	3.60	2.70	1.80	1.40	0.90
ROTLIEGENDES	1	5	2.20	2.20	1.60	1.60	1.60	1.40	1.40
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	6.30	6.30	5.90	4.60	4.05	3.40	3.10
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	108	3.90	1.70	1.40	1.20	1.00	0.90	0.70



4.19 Sulfat

Allgemeines

Sulfat (SO_4) ist Bestandteil des leicht löslichen Gipses ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) und des Anhydrits (CaSO_4), von Natrium- und Kalisalzlagern, von Bindemitteln in Sedimentgesteinen und auch von Feldspäten. Weitere Sulfate sind: Glaubersalz ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), Bittersalz ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), Ammonsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), Kieserit ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Schwerspat (BaSO_4) und Alaune. Vitriole sind kristallwasserhaltige Sulfate zweiwertiger Metalle (Fe, Cu, Ni, Co, Zn). Karbonatgesteine enthalten mehr Schwefel als Tongesteine, Sandsteine und Magmatite. In Erzkommen begleitet Sulfat oder die reduzierte Form des Schwefels, das Sulfid (S^{2-}), die Schwermetalle. Sulfidhaltige Minerale sind z.B. Minerale mit den Namenendungen -kies, -glanz, -blende: Pyrit (Schwefelkies, Eisenkies, FeS_2), Kupferkies (CuFeS_2), Arsenkies (FeAsS), Bleiglanz (PbS), Kupferglanz (Cu_2S), Silberglanz (Ag_2S), Zinkblende (ZnS).

Schwefel ist elementarer Bestandteil des Eiweißes, von Pflanzen und Tieren, deshalb sind organische Substanzen wie Humus, Kohle, Bitumen und Öl schwefelhaltig (Schröter, Lautenschläger & Bibrack, 1978; Mattheß, 1990).

Im allgemeinen findet man in Grundwässern 10-30 mg/l SO_4 . Aufgrund der guten Löslichkeit von Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sind auch Grundwässer mit bis zu 100 mg/l SO_4 anzutreffen (Hütter, 1984). In Baden-Württemberg sind aus Trinkwasseranalysen im Bereich der Muschelkalk- und Keuperlandschaften Konzentrationswerte von über 120 mg/l bekannt (Aurand u.a., 1980, Statistisches Landesamt, 1989). Im Bereich aufsteigender Tiefenwässer und in Nähe von Salz- und Öllagerstätten werden z.T. höhere Konzentrationen gemessen. Aus Trinkwasseranalysen in der nördlichen Oberrheinebene ergeben sich örtlich Gehalte bis zu 150 mg/l SO_4 ; dies kann auch auf die dortigen Öllagerstätten zurückzuführen sein. Auch die Auslaugung von in der Schwarzwaldvorbergzone anstehenden mesozoischen und tertiären Gesteinen kann über Randzufluß den SO_4 -Gehalt des Grundwassers in der Oberrheinebene beeinflussen.

Auch in anthropogen unbeeinflussten Wässern laufen in Abhängigkeit vom Redoxpotential komplexe Reaktionen ab, die den SO_4 -Gehalt erhöhen oder erniedrigen können und auch in den Stickstoffkreislauf eingreifen.

Im sauerstoffhaltigen Milieu können sulfidhaltige Substanzen (Pyrit (FeS_2), Schwefelkies) zu Sulfat oxidiert werden (Sulfurikation). Dabei werden die ursprünglichen Sulfatgehalte erhöht und die Sauerstoffgehalte reduziert.

Im sauerstoff- und nitratfreien Milieu dominiert der SO_4 -reduzierende Prozeß (Desulfurikation), wodurch die Sulfatgehalte verringert werden. Dies kann die Sulfidgehalte im Wasser erhöhen. Ist das Grundwasser sauerstofffrei aber nitratfrei, so können bestimmte Bakterien - unter gleichzeitiger Reduktion des Nitrats - vorhandene sulfidische Verbindungen (z.B. Schwefelkies) oxidieren, was zu einer Erhöhung des Sulfatgehaltes und zu einer Verringerung des Nitratgehaltes führt (Koelle u.a., 1983; Rohmann & Sontheimer, 1985; Rheinheimer u.a., 1988).

Änderungen des Grundwasserstandes führen im Schwankungsbereich zu einem Wechsel bzw. Nebeneinander von schwefeloxidierenden und -reduzierenden Prozessen. Durch diese Prozesse und durch die jahreszeitlich unterschiedlich starke Aufnahme von SO_4 durch Pflanzen kann es im oberflächennahen Grundwasser zu natürlichen jahreszeitlichen Schwankungen kommen (Mattheß & Hamann, 1966).

Sulfat kann durch Abbau von organischer Substanz (z.B. in anmoorigen Gebieten) und über Rauchgasimmissionen, Niederschläge, Düngung und Fungizide in das Grundwasser eingebracht werden. Schwefelimmissionen können bei nicht ausreichender Pufferung von Böden und Wasser eine Versauerung verursachen, die die Freisetzung von Kationen (z.B. auch Aluminium, Schwermetalle) bewirkt. Höhere Sulfatgehalte (ab etwa 25 mg/l) fördern die Korrosion, ab 200 mg/l SO_4 kann Schwefelsäure Beton nachhaltig angreifen.

Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 240 mg/l SO_4 vor. Geologisch bedingte Überschreitungen bis zu einem Grenzwert von 500 mg/l bleiben unberücksichtigt.

Die Sulfatkonzentrationen im Basismeßnetz

Im Basismeßnetze werden die höchsten Konzentrationen im Höheren Keuper gemessen. Dort verursachen offenbar leichtlösliche Gipseinlagerungen die Maxima. Die hohen Konzentrationen im Grundwasser des Muschelkalks sind durch Gips- und Anhydritlagen verursacht. Auch sind im Muschelkalk steinsalz- und vitriolhaltige Schichten bekannt, deren Sulfatgehalte die relativ großen Streuungsbereiche im Muschelkalk mitbestimmen könnten.

Die höheren Konzentrationen im Grundwasser der Oberen Meeresmolasse sind durch eine Meßstelle verursacht, die offenbar im Bereich der noch salzhaltigen Gesteinsporen liegt. Salzhaltiges Grundwasser aus der Oberen Meeresmolasse beeinflusst auch das Grundwasser des tiefen Malms (s. Abschnitt Chlorid).

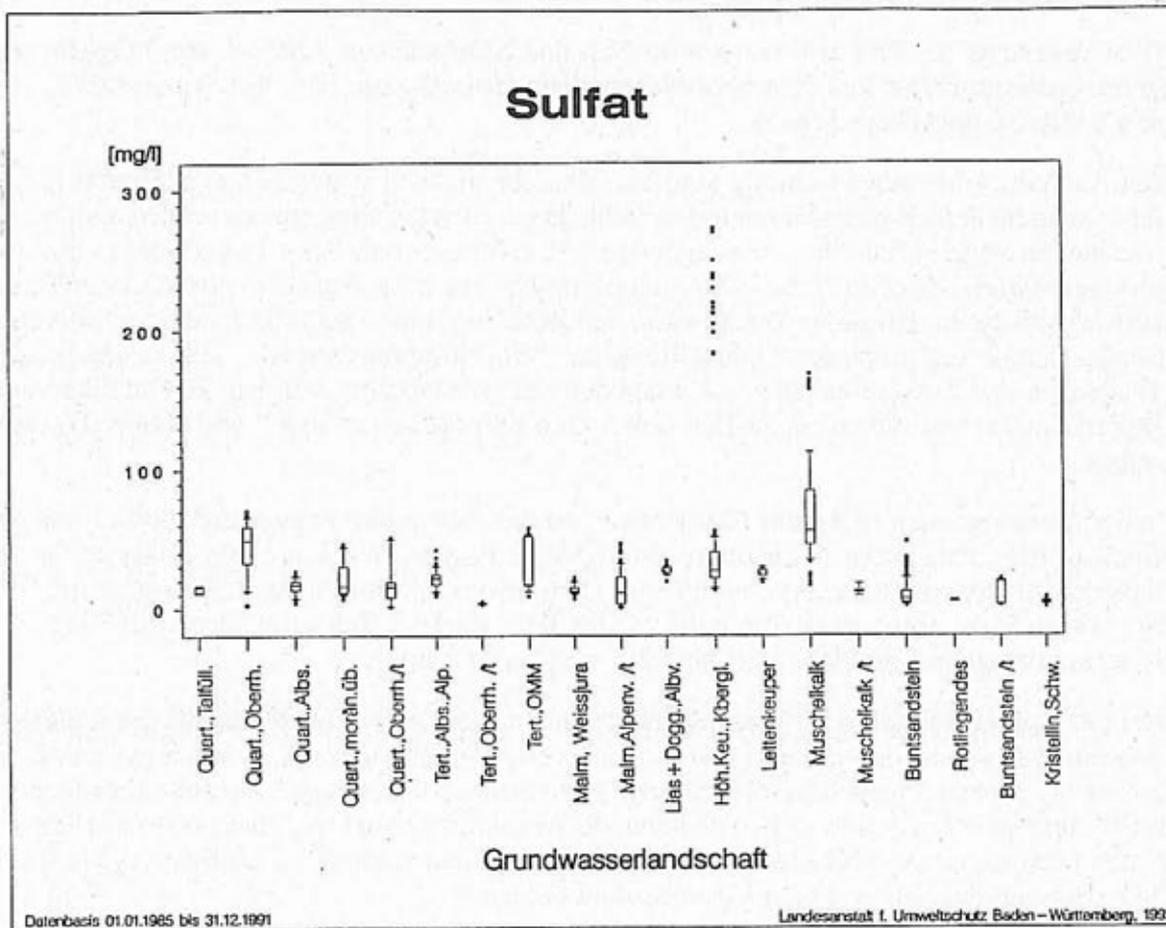
Im Grundwasser des oberrheinischen Quartärs sind die Sulfatgehalte u. a. auf den Schwefelgehalt der Kiese und Sande (Schwefelkies, Pyrit) und auf die Oxidation von eingelagerter schwefelhaltiger organischer Substanz zurückzuführen. Die oxidativen Prozesse dürften hier zu den geringen Sauerstoffgehalten beitragen. Hier ist eine Beteiligung des Nitrats an den Oxidationsprozessen wahrscheinlich. Auch aus dem Lias und dem Dogger sind Pyriteinlagerungen bekannt (Geyer & Gwinner, 1986).

Durch den Vergleich mit Depositionsanalysen (etwa 2-8 mg/l SO_4 , durchschnittliche Jahreswerte je nach Höhenlage und Waldbedeckung, Evers & Krebs, 1990; Meesenburg & Müller, 1990) ergibt sich, daß die im gering mineralisierten Grundwasser des Buntsandsteins und des Kristallins vorhandenen SO_4 -Gehalte z.T. atmogen sein dürften. Im oberflächennahen Grundwasser an Quellen des Buntsandsteins wird Sulfat bis maximal 48 mg/l SO_4 gemessen. Diese Sulfatgehalte der Quellwässer sind nach Köhler (1992) sowohl geogen wie auch atmogen bedingt. Auch die Schwefelfreisetzung aus eingeschwemmter organischer Substanz dürfte dazu beitragen. Nach Köhler (1992) sind die an einer Quelle vorliegenden sehr hohen Sulfatgehalte wahrscheinlich auf den Kontakt mit sulfathaltigen Gesteinen (Arkosen) des Rotliegenden zurückzuführen. An einigen Basismeßstellen im Buntsandstein zeichnen sich atmogene Versauerungstendenzen im gering mineralisierten Grundwasser ab (Köhler, 1992). Insbesondere im Frühjahr schütten die Quellen saures huminstoffhaltiges Wasser, dessen relativ hoher Schwefelsäuregehalt und Gehalt an organischen Säuren offenbar die pH-Werte erniedrigt (s. Abschnitte SAK-254, DOC, pH). Bei relativ niedrigem Medianwert von 6,65 mg/l SO_4 erreicht der Wert des 90. Perzentils mit 21,9 mg/l SO_4 eine Größenordnung, die bereits die Säureschübe indiziert. Zur Grundwasserversauerungsproblematik sind weitere detaillierte Untersuchungen mit einer größeren zeitlichen Auflösung notwendig.

Die im Grundwasser des tiefen Tertiärs des Oberrheingrabens auffällig niedrigen SO_4 -Konzentrationen werden bei gleichzeitig sauerstoffarmen Verhältnissen offenbar durch sulfatreduzierende Prozesse verursacht.

Abb. 21: Statistische Kennzahlen - Sulfat

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	SULFAT [mg/l]								
	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	8	17.20	17.20	15.70	12.40	11.70	11.00	11.00
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u. Sande	4	36	70.60	66.30	59.00	49.10	32.85	13.00	2.90
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u. Sande	6	76	27.20	23.30	19.60	17.25	13.20	7.10	4.40
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u. Sande	5	48	46.20	44.30	30.10	15.95	11.50	10.10	6.80
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	40	51.00	49.35	18.85	15.40	7.75	1.20	1.00
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	84	42.00	30.20	24.20	21.30	16.90	12.00	9.00
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	4.60	4.00	3.75	3.45	3.30	2.80	2.60
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	40	57.70	52.80	51.30	17.20	16.10	12.15	9.00
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	122	22.40	19.20	14.80	12.50	11.40	10.00	6.70
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	79	46.60	32.30	22.10	11.30	3.20	1.00	<0.50
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	34.00	30.00	28.70	27.00	25.50	24.20	19.40
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	187	272.90	51.00	40.10	27.00	21.60	14.60	12.90
LETTENKEUPER	2	16	29.30	29.10	27.20	25.10	23.05	20.40	18.70
MUSCHELKALK	8	64	168.10	112.00	84.45	55.25	45.55	34.40	16.20
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	5	18.00	18.00	12.80	11.60	11.10	8.90	8.90
BUNTSANDSTEIN	17	198	48.00	21.90	12.00	6.65	4.20	2.60	1.60
ROTLIEGENDES	1	6	6.30	6.30	5.50	5.20	4.50	4.30	4.30
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	21.30	20.00	19.90	19.00	2.50	2.20	2.00
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	112	8.00	5.50	4.55	3.70	2.75	2.10	<0.50

BG = 1.0 (0.5) mg/l SO₄

4.20 Anorganische Stickstoffverbindungen: Ammonium, Nitrit, Nitrat

Allgemeines

Stickstoff (N) kommt in der Natur anorganisch gebunden im Natronsalpeter (NaNO_3), Kalisalpeter (KNO_3), Ammonsalpeter (NH_4NO_3) und im Kalksalpeter ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) vor. Organisch gebunden liegt Stickstoff in allen Organismen vor (z.B. Eiweiß), so daß beim Abbau von organischen Substanzen Stickstoff in organischer und anorganischer Form frei wird. Humus ist stark stickstoffhaltig.

Der organisch gebundene Stickstoff wird bei der mikrobiellen Mineralisation zunächst in Ammonium (NH_4) überführt (Ammonifikation), bei Vorhandensein von Sauerstoff und von nitrifizierenden Bakterien kann NH_4 zu Nitrit (NO_2) und zu Nitrat (NO_3) oxidiert werden (Nitrifikation). Im sauerstoffreichen unbeeinflussten Milieu dominiert Nitrat, schon bei Sauerstoffarmut (etwa ab 3-4 mg/l O_2) kann Nitrat zu gasförmigem Stickstoff (N_2) reduziert werden (Denitrifizierung), bei sauerstofffreien Verhältnissen kann NO_3 auch zu NH_4 reduziert werden (Nitratammonifikation). Nitrit ist ein Zwischenprodukt der oxidierenden wie auch der reduzierenden Prozesse im Stickstoffkreislauf. Einlagerungen von Bitumen, Kohle und Öl in die Gesteine erhöhen den Stickstoffgehalt des Grundwassers.

Die TrinkwV sieht folgende Grenzwerte vor:

0,5 mg/l NH_4 , 0,1 mg/l NO_2 , 50 mg/l NO_3 .

Die Stickstoffkonzentrationen im Basismeßnetz

Die Grenzwerte der TrinkwV wurden für NH_4 und NO_3 in keiner Analyse, der NO_2 -Grenzwert in nur wenigen Fällen aus dem oberflächennahen Grundwasser des oberrheinischen Quartärs und des Kristallins überschritten.

Bei der **Ammonium**bestimmung sind von den chemischen Untersuchungslaboren über die Jahre verschiedene Meßverfahren mit verschiedenen Bestimmungsgrenzen angewandt worden, was die Aussagekraft der hier vorliegenden NH_4 -Werte einschränkt. In mehreren Grundwasserlandschaften bewegen sich die Streuungsbereiche nur zwischen den verschiedenen Bestimmungsgrenzen. In den tiefen Grundwasserlandschaften finden sich die meisten positiven Befunde. Gerade die graphische Darstellung der NH_4 -Streuungsgebiete läßt es aber z.T. zu, Tendenzen und Zusammenhänge zwischen den Stickstoffspezies und den die Nitrifikation und Denitrifikation bestimmenden Stoffen (z.B. organische Substanz, DOC) und Gasen (O_2) aufzuzeigen.

In der überwiegenden Mehrzahl aller Basismeßstellen war erwartungsgemäß **Nitrit** nicht nachweisbar. Eine statistische Betrachtung erübrigt sich. Positive Werte wurden gemessen im oberrheinischen Quartär (max. 0,140 mg/l), im Quartär des Albsüdrandes (0,13 mg/l), im Tertiär der oberen Meeresmolasse (0,09 mg/l) und im Kristallin des Schwarzwaldes (0,33 mg/l). Die Bestimmungsgrenze für Nitrit liegt bei 0,07 mg/l bis 0,01 mg/l.

Bei den Auswertungen der **Nitrat**konzentrationen bleiben je eine Meßstelle im Quartär am Albsüdrand/Alpensüdrand und im moränenüberdeckten Quartär unberücksichtigt, da hier z.T. höhere als die hier angegebenen Nitratwerte gemessen werden. Chemische Folgereaktionen von nitrifizierenden Prozessen (z.B. zunehmende Aufhärtung) sind aus den bisher vorliegenden Daten nicht schlüssig erkennbar. Diese beiden Meßstellen werden hinsichtlich eines möglichen NO_3^- Eintrags aus dem weiteren Einzugsgebiet überprüft.

Abb. 22: Statistische Kennzahlen - Ammonium

AMMONIUM [mg/l] BG = 0.06 (0.05/0.04/0.03/0.02/0.01/0.008/0.005/0.001) mg/l NB4

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	NST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	8	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0450	<0.0150	<0.0100	<0.0100
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	34	0.2200	0.1900	0.1440	0.0870	<0.0600	<0.0500	<0.0100
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	76	0.1000	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0400	<0.0050
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	47	0.1300	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0400	<0.0050
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	42	0.4500	0.3000	0.2700	0.2005	0.0900	<0.0600	<0.0400
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	85	0.1300	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0400	<0.0010
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	11	0.2300	0.2040	0.1930	0.1700	0.1170	<0.0600	<0.0600
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	40	0.3000	0.2550	0.2155	0.1580	0.0750	<0.0600	<0.0100
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	121	0.1320	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0200	<0.0050
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	78	0.3300	0.2700	0.1700	0.0600	<0.0600	<0.0400	<0.0010
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	0.0600	0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0120	<0.0100
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	186	0.2400	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0400	<0.0080
LETTENKEUPER	2	17	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0100	<0.0100
MUSCHELKALK	8	63	0.1200	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0100	<0.0050
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0500	<0.0100	<0.0100
BUNTSANDSTEIN	17	199	0.4000	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0400	<0.0050
ROTLIEGENDES	1	6	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0500	<0.0500
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0550	<0.0500	<0.0400
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	117	0.0720	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0600	<0.0100	<0.0100

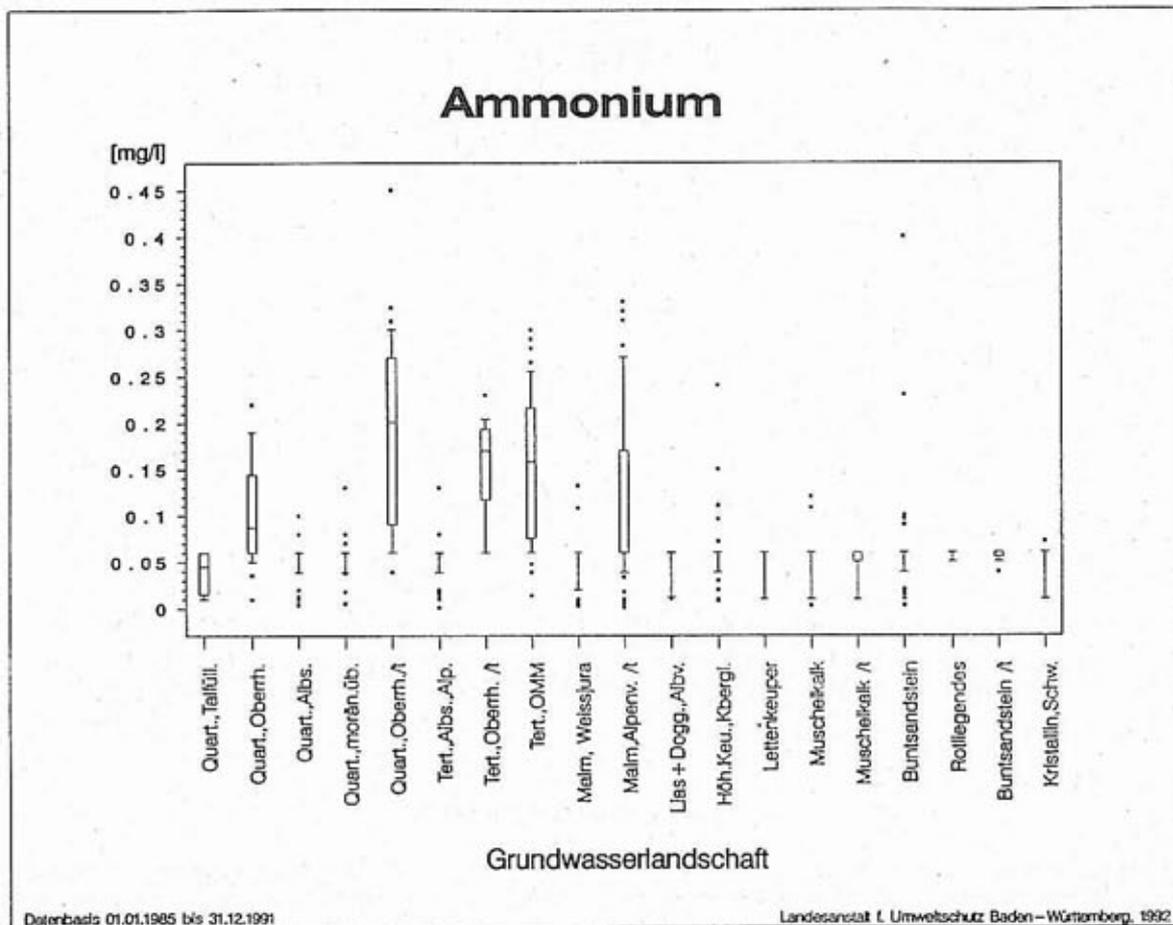
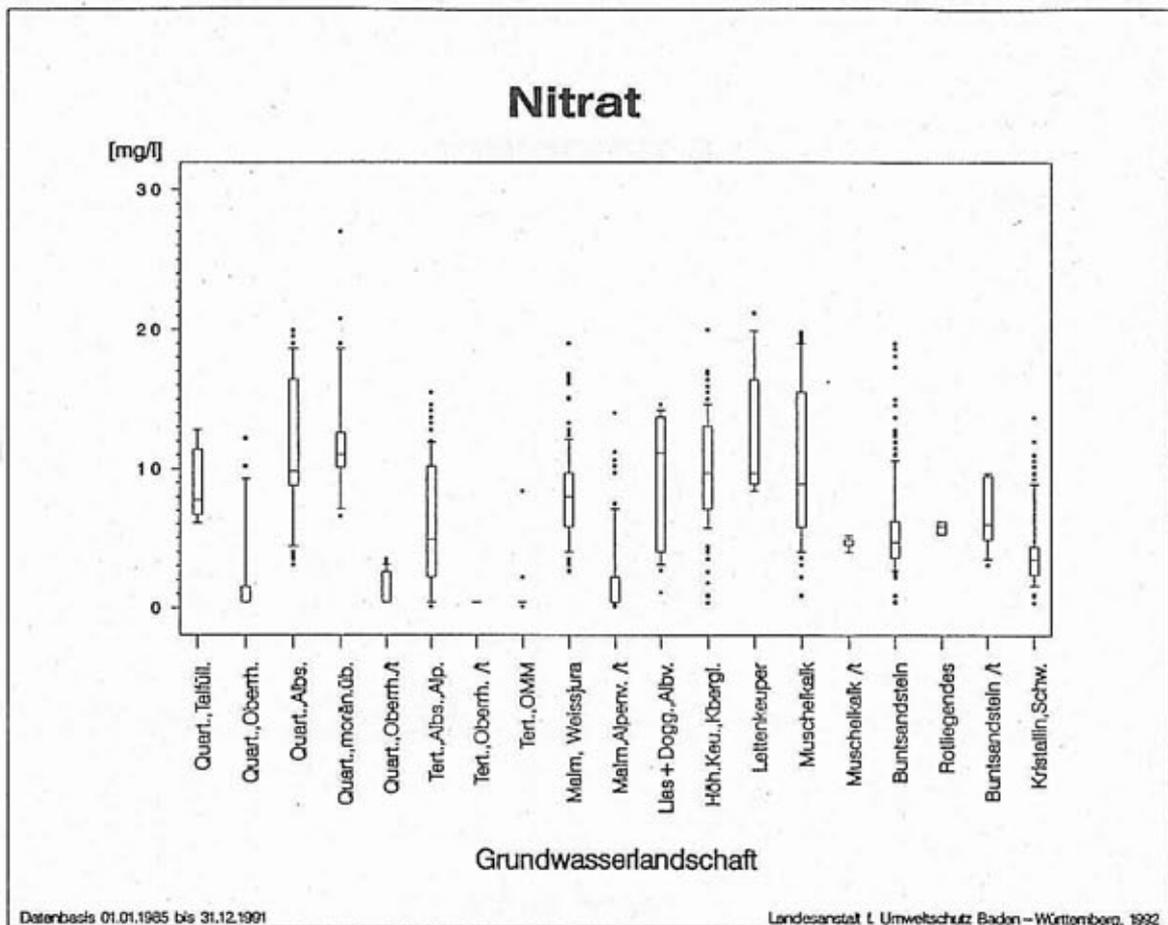


Abb. 23: Statistische Kennzahlen - Nitrat

NITRAT [mg/l] BG = 0.4 (0.1) mg/l NO3

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	8	12.80	12.80	11.40	7.75	6.70	6.10	6.10
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	31	12.20	9.30	1.50	0.40	<0.40	<0.40	<0.40
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	5	62	20.00	18.60	16.40	9.80	8.80	4.40	3.10
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	4	36	27.00	18.60	12.60	11.05	10.10	7.10	6.60
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	33	3.50	3.10	2.60	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	85	15.50	11.90	10.20	4.90	2.20	<0.40	<0.10
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	11	0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	34	8.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.10
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	122	19.00	12.10	9.70	8.00	5.80	4.00	2.60
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	71	14.00	7.10	2.20	<0.40	<0.40	<0.40	<0.10
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	14.60	14.20	13.70	11.10	4.00	3.10	1.10
BÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	184	20.00	14.60	13.05	9.70	7.10	5.70	<0.40
LETTENKEUPER	2	17	21.20	19.90	16.40	9.70	8.90	8.40	8.40
MUSCHELKALK	8	73	19.80	19.00	15.50	8.90	5.80	4.00	0.90
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	5.20	5.20	4.90	4.90	4.50	4.00	4.00
BUNTSANDSTEIN	17	202	19.00	10.60	6.20	4.70	3.60	2.70	<0.40
ROTLIEGENDES	1	6	6.20	6.20	6.20	5.85	5.30	5.30	5.30
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	9.70	9.70	9.50	6.00	4.90	3.50	3.10
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	117	13.70	8.90	4.40	3.50	2.40	1.60	<0.40



Die Unterschiede der NH_4 - und NO_3 -Konzentrationen zwischen den einzelnen Grundwasserlandschaften und innerhalb der Grundwasserlandschaften ist in den unterschiedlichen Sauerstoffgehalten der Grundwässer begründet. Da der Sauerstoffgehalt das mikrobielle Oxidationsvermögen von aus der organischen Substanz stammenden Stickstoffverbindungen (Nitrifikation) bestimmt, sind in den sauerstoffarmen Grundwasserlandschaften die NH_4 -Konzentrationen meist höher und die NO_3 -Konzentrationen meist niedriger als in den sauerstoffreichen Grundwasserlandschaften. Das Vorhandensein von organischen Substanzen in den Grundwasserlandschaften ist durch die DOC-Gehalte belegt (s. Kap. 4.11 - DOC).

In sauerstoffarmen Grundwässern (oberflächennahes und tiefes Quartär des Oberrheingrabens, oberrheinisches Tertiär, tiefes Tertiär (Obere Meeressmolasse), tiefer Malm des Alpenvorlandes) sind NH_4 -Anreicherungen bei gleichzeitig geringen NO_3 -Konzentrationen gegeben, da offenbar die Oxidation des aus der organischen Substanz freigesetzten NH_4 zu NO_3 durch den geringen Sauerstoffgehalt eingeschränkt wird. Der aus der Mineralisation der organischen Substanz freigesetzte Stickstoff reichert sich als NH_4 im Grundwasser an. In diesen Grundwasserlandschaften sind auch denitrifizierende und z.T. nitratammonifizierende Prozesse möglich, die den NO_3 -Gehalt verringern.

In Grundwasserlandschaften mit hohen und mittleren Sauerstoffgehalten von meist größer 4 mg/l O_2 finden keine größeren NH_4 -Anreicherungen statt (Quartär der Talfüllungen, Quartär am Albsüdrand, moränenüberdecktes Quartär, Malm (Weißjura), Lias und Dogger, höherer Keuper, Lettenkeuper, Muschelkalk, tiefer Muschelkalk, Rotliegendes, Buntsandstein, Kristallin). Hier kann das aus der vorliegenden organischen Substanz freigesetzte NH_4 zu NO_3 oxidiert werden. Aufgrund der durch die höheren Sauerstoffgehalte eingeschränkten Denitrifizierung kann sich hier NO_3 auch anreichern. Die hohen NH_4 -Einzelwerte im Grundwasser des Tertiärs am Albsüdrand, des Höheren Keupers und des Buntsandsteins sind an einzelnen Basismessstellen beobachtet worden, wo Sauerstoffarmut offenbar die Nitrifikation einschränkt und gleichzeitig geringere NO_3 -Konzentrationen verursacht.

Im Vergleich mit Depositionsanalysen ergibt sich, daß die im gering mineralisierten oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins und des Kristallins vorhandenen Stickstoffgehalte z.T. atmogen sein dürften.

Im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins zeichnet sich an einigen Meßstellen ein Zusammenhang zwischen zeitweise erhöhten NO_3 -Konzentrationen und pH-Wert-Absenkungen ab, der sich besonders bei höheren Quellschüttungen bemerkbar macht. Die Erhöhung der NO_3 -Konzentrationen bei höheren Quellschüttungen erfolgt allerdings nicht in dem Ausmaß wie beim SO_4 . In diesen Grundwasserlandschaften erreicht das in den Klüften versickernde Wasser schneller das Grundwasser als in reinen Porengrundwasserleitern, so daß sich der atmogene Eintrag und die aus den Humusaufgaben ausgewaschenen mineralisierten Stickstoffverbindungen im Grundwasser schneller bemerkbar machen als in Porengrundwasserleitern mit großen Flurabständen.

4.21 ortho-Phosphat

Allgemeines

Als Mineral kommt Phosphat hauptsächlich als Apatit (z.B. Calciumphosphat: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$; Fluorapatit: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) vor. Apatit ist Bestandteil der Sklette und Zähne von Tieren. Unter anaeroben Verhältnissen ist Phosphat als Vivianit ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) beständig. Erzvorkommen enthalten Phosphate. Magmatite und Tongesteine enthalten mehr Phosphat als Sand- und Carbonatgesteine.

Die Wasserlöslichkeit von Apatiten steigt mit abnehmendem pH-Wert und abnehmender Calciumkonzentration (Scheffer u. a., 1982). Phosphate werden im Boden gut absorbiert. Adsorbentien sind organische Substanze, Tonminerale und Eisen-, Mangan- und Aluminiumoxide. Unter sauerstoffarmen Bedingungen können an Eisenoxiden gebundene Phosphationen in Lösung gehen (Brümmer, 1975). Hohe Ca-Konzentrationen in der Bodenlösung vermindern die Phosphatverlagerung ins Grundwasser.

Organisch gebundener bzw. komplexierter Phosphor ist mit dem Bodensickerwasser leichter verlagerbar als anorganisches Phosphat, da organische Anionen die Sorption des Phosphors blockieren ("Humatwirkung", n. Flieg, 1935, zit. in Vetter & Steffens, 1981).

In Grundwässern fand man bis zu Beginn der siebziger Jahre nur geringe P-Gehalte von unter 0,010 mg/l PO_4 (Mattheß, 1973). Obwohl Phosphat stark adsorbiert wird, werden bei intensiver landwirtschaftlicher Nutzung z.T. sehr hohe Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser gemessen (Fürst & Meerheim, 1983; Baumann & Bramm, 1976; Schulz, 1974)

Die TrinkwV sieht für Phosphat nur einen Grenzwert für aufbereitetes Wasser vor (6,7 mg/l PO_4).

Die ortho-Phosphatkonzentrationen im Basismeßnetz

Im Basismeßnetz wurde der ortho-Phosphatgehalt bestimmt. Die höchsten Einzelwerte weist das Grundwasser des tiefen Tertiärs (Obere Meeresmolasse) auf, hervorgerufen durch nur eine Meßstelle mit stark erhöhten PO_4 -Gehalten. Hier tragen die geringen Calciumgehalte (s. Kap. 4.12 - Calcium) trotz der hohen pH-Werte offenbar zu einer Erhöhung der Apatitlöslichkeit bei. Die Phosphate in der Oberen Meeresmolasse dürften hauptsächlich auf die Lösung von Fluorapatiten zurückzuführen sein, da hier auch die Fluoridgehalte erhöht sind (s. Kap. 4.24 - Fluorid).

Die Gesteine des Weißjuras, des Höheren Keupers und des Lias und Doggers enthalten pflanzliche und tierische Anreicherungen, Apatit, eisenoolithische Sandkalke, phosphorreiche Tone und z.T. auch phosphorhaltige Kalkbänke und Knollen (Geyer & Gwinner, 1986), was die Phosphatgehalte in diesen Grundwässern erklärt.

Die hohen Einzelwerte im tiefen Malm sind auf die Beeinflussung einer Meßstelle durch die Obere Meeresmolasse zurückzuführen.

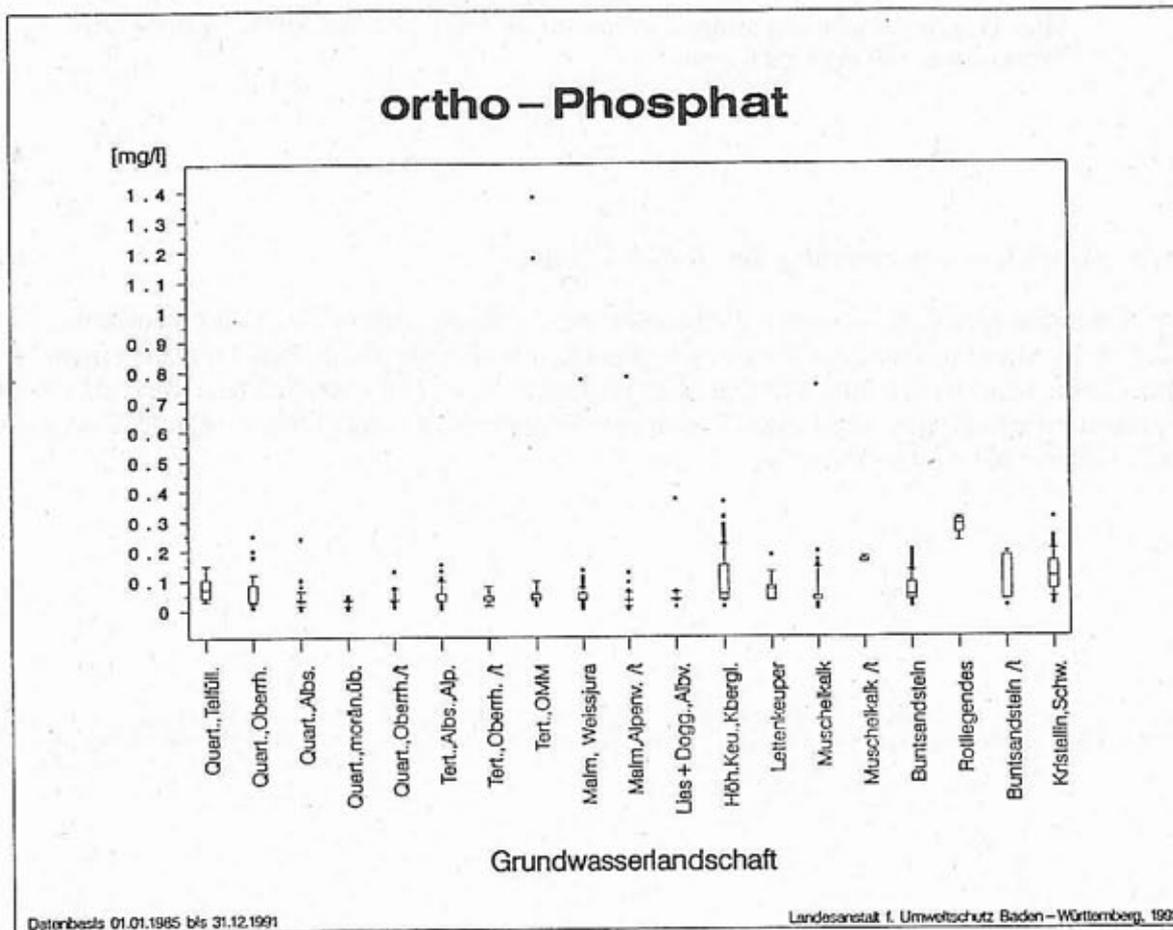
Abb. 24: Statistische Kennzahlen - ortho-Phosphat

ORTHO-PHOSPHAT

[mg/l]

BG = 0.031 (0.030/0.010/0.005/0.003/0.001) mg/l o-P04

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	8	0.1500	0.1500	0.1040	0.0720	0.0415	<0.0300	<0.0300
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	31	0.2500	0.1200	0.0860	<0.0310	<0.0310	<0.0300	<0.0100
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	56	0.2400	0.0640	0.0340	<0.0310	<0.0310	<0.0100	<0.0030
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	38	0.0460	0.0340	<0.0310	<0.0310	<0.0310	<0.0100	<0.0030
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	33	0.1300	0.0710	0.0340	<0.0310	<0.0310	<0.0310	<0.0100
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	59	0.1530	0.0980	0.0550	<0.0310	<0.0310	<0.0300	<0.0050
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	9	0.0800	0.0800	0.0460	<0.0310	<0.0310	<0.0100	<0.0100
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	28	1.3800	0.0950	0.0535	0.0385	<0.0310	<0.0310	<0.0100
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	91	0.7700	0.0740	0.0550	0.0340	<0.0310	<0.0300	<0.0030
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	65	0.7790	0.0580	<0.0310	<0.0310	<0.0310	<0.0100	<0.0010
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	23	0.3700	0.0600	0.0370	<0.0310	<0.0310	<0.0310	<0.0100
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	130	0.3620	0.2165	0.1470	0.0520	<0.0310	<0.0310	<0.0100
LETTENKEUPER	2	13	0.1810	0.1260	0.0770	0.0670	<0.0310	<0.0300	<0.0300
MUSCHELKALK	8	53	0.7500	0.1400	0.0430	<0.0310	<0.0310	<0.0300	<0.0030
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	0.1780	0.1780	0.1700	0.1675	0.1600	0.1560	0.1560
BUNTSANDSTEIN	17	140	0.1990	0.1275	0.0890	0.0475	<0.0310	<0.0310	<0.0100
ROTLIEGENDES	1	6	0.3070	0.3070	0.3000	0.2850	0.2540	0.2270	0.2270
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	0.1900	0.1780	0.1780	<0.0310	<0.0310	<0.0310	<0.0100
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	85	0.3070	0.1990	0.1590	0.1070	0.0640	0.0400	<0.0100



4.22 Silikat

Allgemeines

Silizium kommt in Gesteinen in Verbindungen mit den Elementen Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium, Aluminium und Eisen als Oxid und Silikat vor. Diese Verbindungen bilden die mineralogische Hauptmasse der Gesteine und deren Verwitterungsprodukte. Die Erdkruste besteht zu 90% aus Silikatverbindungen. Freies Silizium kommt in der Natur nicht vor. Siliziumdioxid (SiO_2) kommt in seiner kristallinen Form als Quarz vor, der den Hauptbestandteil des Granits, der Gneise und des Sandsteins bildet.

Weitere wichtige natürliche Silikatminerale und -gesteine sind Basalte, Porphyre, Feldspäte, Tone, Lehme, Mergel, Glimmer, Talk, Asbest (Schröter, Lautenschläger & Bibrack, 1978; DVGW, 1988).

In Organismen kommt SiO_2 als Stützsubstanz vor, z.B. in Gräsern, Getreide, Röhricht, Kieselschwämmen und Kieselalgen, deren Ablagerungen die Kieselgur lagerstätten ausmachen.

Silikat im Wasser ist vorwiegend geogen. Natürliche Wässer enthalten meist zwischen 1 und 30 mg/l SiO_2 (Mattheß, 1973), aber auch Werte bis zu 123 mg/l SiO_2 sind möglich (DVGW, 1988). Höhere Silikatgehalte werden in Thermalwässern und in Grundwässern mit hohen pH-Werten gemessen.

Die TrinkwV sieht nur einen Grenzwert für mit Natriumsilikat aufbereitete Trinkwässer (40 mg/l SiO_2) vor.

Die Silikatkonzentrationen im Basismeßnetz

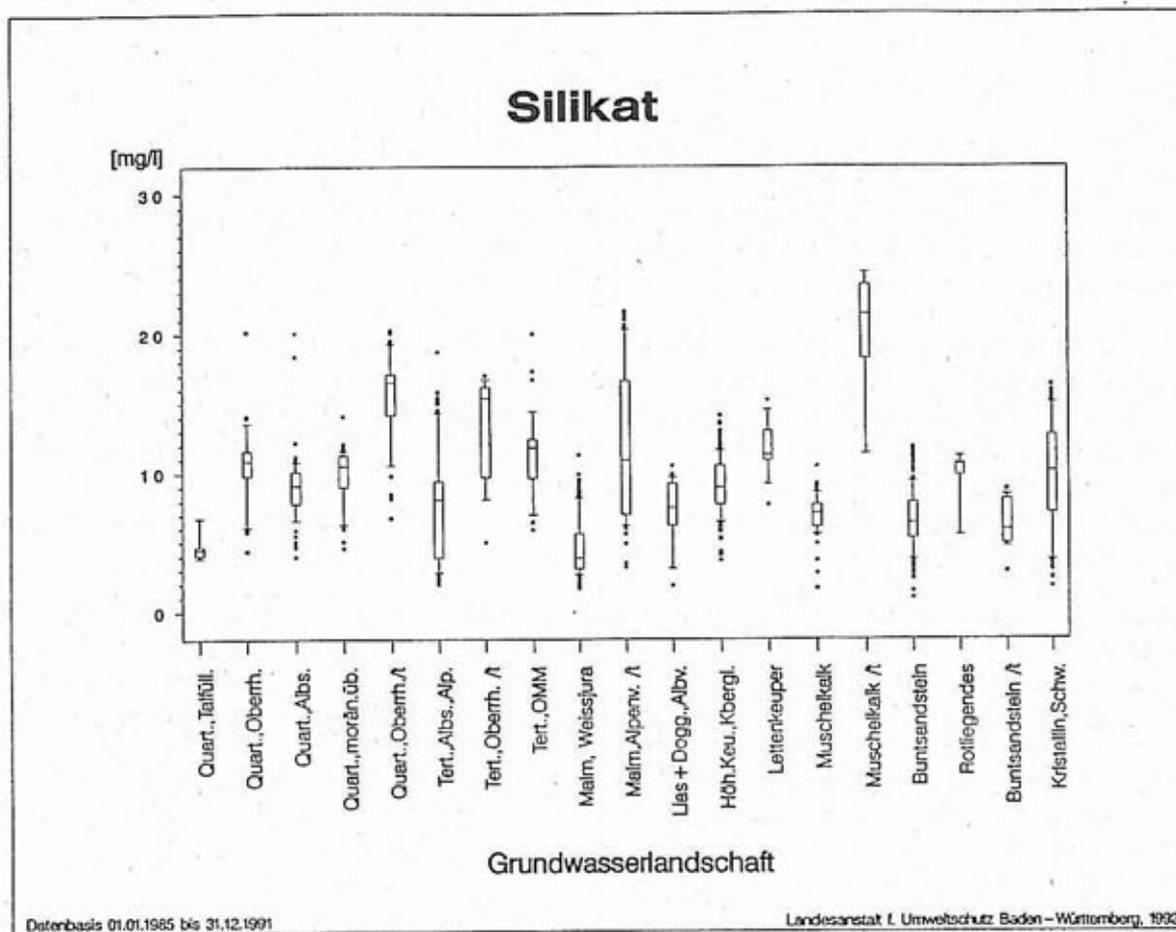
In den tiefen Grundwässern des Basismeßnetzes - mit Ausnahme des tiefen Buntsandsteins - liegen die Streuungsbereiche der geogen geprägten Hintergrundbeschaffenheit auf einem höheren Konzentrationsniveau als in den oberflächennahen Grundwasserlandschaften, da die Löslichkeit durch die hier gegebenen Lösungsbedingungen (höherer Druck, höhere Temperatur, z.T. höherer pH-Wert) erhöht ist.

Abb. 25: Statistische Kennzahlen - Silikat

SILIKAT [mg/l]

BG = 0.2 mg/l SiO₂

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	MST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	7	6.80000	6.80000	4.70000	4.50000	4.10000	3.90000	3.90000
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	33	20.20000	13.60000	11.60000	10.90000	9.80000	6.10000	4.40000
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	74	20.10000	10.80000	10.10000	9.10000	7.80000	6.60000	4.00000
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	48	14.10000	11.60000	11.30000	10.50000	9.00000	6.30000	4.60000
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	40	20.30000	19.25000	17.10000	16.50000	14.15000	10.55000	6.80000
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	83	18.70000	14.30000	9.40000	8.10000	3.90000	2.80000	2.00000
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	12	17.00000	16.70000	16.15000	15.35000	9.70000	8.10000	5.00000
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	39	20.00000	14.40000	12.40000	11.80000	9.60000	7.00000	5.90000
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	118	11.30000	8.20000	5.60000	3.85000	3.10000	2.70000	1.70000
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	81	21.60000	20.30000	16.60000	10.90000	7.00000	6.20000	3.20000
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	29	10.50000	9.70000	9.20000	7.50000	6.20000	3.10000	1.90000
BÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	184	14.10000	11.60000	10.50000	8.95000	7.70000	6.50000	3.70000
LEITENKEUPER	2	17	15.20000	14.50000	13.00000	11.30000	10.90000	9.20000	7.70000
MUSCHELKALK	8	62	10.50000	8.60000	7.70000	7.10000	6.10000	5.60000	1.70000
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	5	24.40000	24.40000	23.50000	21.40000	18.20000	11.40000	11.40000
BUNTSANDSTEIN	17	201	11.80000	9.40000	7.90000	6.40000	5.30000	3.80000	1.00000
ROTLIEGENDES	1	6	11.20000	11.20000	10.70000	10.60000	9.80000	5.50000	5.50000
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	12	8.80000	8.40000	8.10000	5.90000	4.90000	4.70000	2.90000
KRISTALLIN, Schwarzvald	10	115	16.30000	15.00000	12.70000	10.10000	7.10000	3.70000	1.80000



4.23 Bor

Allgemeines

Bor (B) ist in der Natur ein Spurenstoff. Borhaltige Minerale sind: Borazit ($\text{MgCl}_2 \cdot 5\text{MgO} \cdot 7\text{B}_2\text{O}_3$), Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) und Kernit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), die nur in Borlagerstätten und Boraxseen vorkommen. In unseren Breiten ist Bor in sogenannten Pegmatiten (Erstarrungs-, Gang- und Tiefengesteine) angereichert, die aus gasreichen (Wasser, Fluor, Bor) Restschmelzen in Gang- und Tiefengesteinen auskristallisierten (Jubelt & Schreiter, 1980). Ein Pegmatittyp ist Turmalin, welches häufig auch in baden-württembergischen Tongesteinen vorkommt (Geyer & Gwinner, 1986). Aufgrund seines relativ hohen Borgehaltes (10%) kann die Verwitterung von Turmalin erhöhte Borkonzentrationen hervorrufen. Die höchsten Borgehalte werden in Tongesteinen gemessen. Weniger Bor enthalten Sandsteine. Kleine Bormengen finden sich in Glimmern und Hornblenden (Mattheß, 1973).

Meerwasser enthält viel Bor (etwa 4,6 mg/l B). Meerwasserbürtiges Bor kann mit den Niederschlägen weit in die Kontinente hinein verfrachtet werden. In Bodensickerwässern und Grundwässern liegen die Gehalte meist unter 1 mg/l. Natürlich bedingte hohe Borgehalte sind in Ölfeldwässern, in vulkanogenen Thermalwässern und in der Nähe von Salzlagerstätten anzutreffen.

Die Neufassung der TrinkwV (05.12.90) sieht für Bor erstmals einen Grenzwert (1 mg/l B) vor. Nach einem Vorschlag des Bundesgesundheitsamtes ist eine Borkonzentration von über 0,05 mg/l B im Wasser als Hinweis auf eine direkte anthropogene Beeinflussung zu betrachten.

Die Borkonzentrationen im Basismeßnetz

In den Grundwässern des Basismeßnetzes liegen die Borkonzentrationen weit unter dem Grenzwert der TrinkwV. In den Grundwasserlandschaften des tiefen Tertiärs (Obere Meeresmolasse), des tiefen Malms und des Höheren Keupers liegen die P90 - Werte über der vom Bundesgesundheitsamt vorgeschlagenen Konzentration von 0,05 mg/l B. Dagegen liegen die Medianwerte aller Grundwasserlandschaften unter 0,05 mg/l B.

In der Grundwasserlandschaft des Höheren Keupers finden sich hohe Einzelwerte. Mögliche Ursachen sind der höhere Borgehalt der Tongesteine und das von Geyer & Gwinner (1986) angeführte Vorhandensein des borhaltigen Turmalinminerals. Der im Vergleich sehr niedrige Medianwert läßt den Schluß zu, daß dieser geogene Zusammenhang offenbar nur an wenigen Meßstellen zum Tragen kommt. Die an diesen Meßstellen gleichzeitig höheren Aluminiumkonzentrationen unterstützen diese Annahme. Turmalin ist ein borhaltiges Alumosilikat, bei dessen Verwitterung Bor und Aluminium gelöst werden.

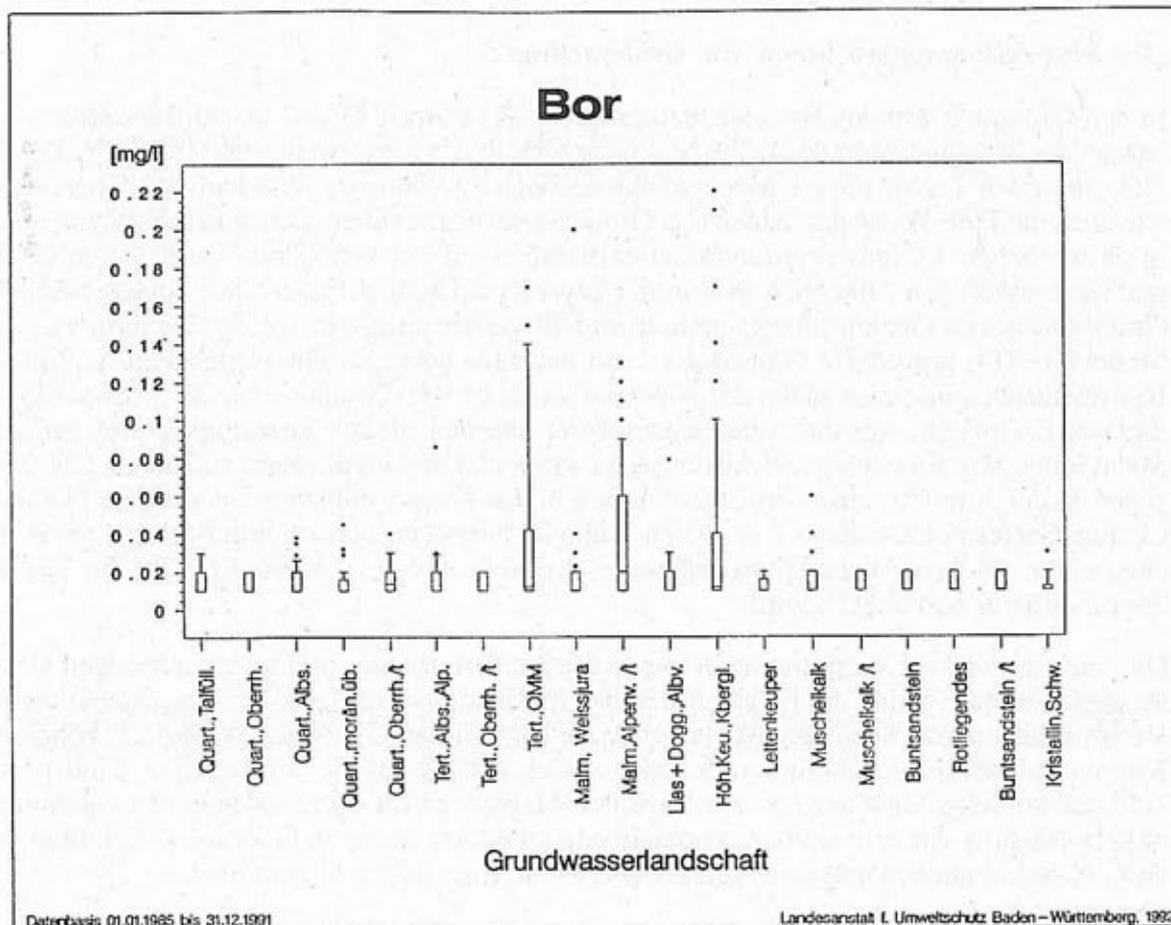
Die hohen Borkonzentrationen im Grundwasser der Oberen Meeresmolasse sind auf den natürlich hohen Borgehalt des marinen Molassegesteins und auf die durch die thermalen Einflüsse gesteigerte Löslichkeit zurückzuführen. Der im Vergleich sehr niedrige Medianwert läßt den Schluß zu, daß dieser geogene Zusammenhang offenbar nur an wenigen Meßstellen existiert.

Das borhaltige Grundwasser der Oberen Meeresmolasse beeinflußt eine Basismeßstelle im tiefen Malm im Alpenvorland, was die großen Streuungsbereiche im tiefen Malm verursacht. Diese sich schon bei den Natrium- und Fluoridanalysen abzeichnende Beeinflussung findet durch die Boranalysen eine weitere Bestätigung.

Abb. 26: Statistische Kennzahlen - Bor

BOR [mg/l] BG = 0.020 (0.012/0.010) mg/l B

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	5	0.0300	0.0300	0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	23	0.0200	<0.0200	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	41	0.0380	0.0260	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	32	0.0450	<0.0200	<0.0120	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	26	0.0400	0.0300	0.0200	<0.0120	<0.0100	<0.0100	<0.0100
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	49	0.0860	0.0290	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	7	<0.0200	<0.0200	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	25	0.1700	0.1400	0.0420	<0.0120	<0.0100	<0.0100	<0.0100
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	72	0.2000	<0.0200	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	54	0.1300	0.0900	0.0600	0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	19	0.0790	0.0300	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	110	0.2200	0.1000	0.0400	<0.0120	<0.0100	<0.0100	<0.0100
LEITENKEUPER	2	12	0.0200	<0.0200	<0.0120	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
MUSCHELKALK	8	47	0.0600	0.0200	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	6	<0.0200	<0.0200	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
BUNTSANDSTEIN	17	116	0.0200	<0.0200	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
ROTLEGENDES	1	6	<0.0200	<0.0200	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	10	<0.0200	<0.0200	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	68	0.0300	<0.0200	<0.0120	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100



4.24 Fluorid

Allgemeines

Fluorid (F^-) kommt in der Natur nur chemisch gebunden vor. Minerale sind: Flußspat (CaF_2), Kryolith (Na_3AlF_6), Fluorapatit ($Ca_5(PO_4)_3F$). Flußspat und Kryolith sind schwerlöslich. Fluoride sind in SiO_2 -reichen Gesteinen angereichert und sind Bestandteile von Magmatiten und Sedimentgesteinen (Schröter, Lautenschläger & Bibrack, 1978; Mattheß, 1973). Fluoridionen können an Mineralen (z.B. Tonminerale, Glimmer, Al- und Fe-Oxide) gebunden werden. Aufgrund der großen Ionenaustauschkapazitäten von Tonen erreichen Tongesteine höhere F-Konzentrationen (bis 4.000 mg/kg, Scheffer u.a., 1982) als sandige Böden und Gesteine. Der "normale" F-Gehalt von Böden beträgt meist 20-400 mg/kg F. Nach Polanski (1981, zit. in Scheffer u.a., 1982) ist der Fluoridgehalt von Böden aufgrund der sehr großen natürlichen Variationsbreite kein geeigneter Indikator für Fluorkontaminationen (z.B. über den Luftweg). Fluoride bilden mit Metallen und organischer Substanz lösliche beständige Komplexe (metallorganische Komplexe) und erhöhen damit die Mobilität von Metallen (Scheffer u.a., 1982). Fluoridanalysen in Bachsedimenten ergeben in Baden-Württemberg Schwerpunkte im Schwarzwald (Flußspatvorkommen) und im Raum Wiesloch (Fauth u.a., 1985). In den meisten Süßwässern liegt der Fluorgehalt unter 1 mg/l. Im Grundwasser werden überwiegend Gehalte zwischen 0,05 und 0,8 mg/l gefunden. Mit größerer Tiefe und bei fluoridhaltigem Untergrund nehmen die F-Konzentrationen zu (DVGW, 1988). Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 1,5 mg/l F vor.

Die Fluoridkonzentrationen im Basismeßnetz

In den Grundwässern des Basismeßnetzes liegen die Fluorid (F^-)-Konzentrationen mit Ausnahme der Maximalwerte des tiefen Malm unterhalb des Grenzwertes der TrinkwV. Die Maxima im tiefen Tertiär (Obere Meeresmolasse) liegen geringfügig unterhalb des Grenzwertes, wie auch die P90 -Werte der beiden o.g. Grundwasserlandschaften. Die hohen Konzentrationen in diesen beiden Grundwasserlandschaften beruhen auf der verstärkten Lösung von fluorid- und natriumhaltigen Mineralen in den hier beprobten Thermalwässern mit hohem Alter. Das Grundwasser der Oberen Meeresmolasse enthält gleichzeitig sehr wenig Calcium, was nach Mattheß (1973) typisch für Grundwässer mit natürlich erhöhten Fluoridgehalten ist. Eine der Basismeßstellen im tiefen Malm des Alpenvorlandes ist vom Grundwasser der Oberen Meeresmolasse beeinflusst, was die hohen Einzelwerte und den großen Streubereich im tiefen Malm miterklärt. Eine weitere Erklärung liegt darin, daß im Grundwasser enthaltene OH^- -Ionen gegen in der Aquifermatrix sorbierte F^- -Ionen in das Wasser eingetauscht werden. Die in der Oberen Meeresmolasse und z.T. im tiefen Malm im basischen Bereich liegenden pH-Werte machen einen solchen Austauschprozeß wahrscheinlich, wie er von Hem (1970) für basische Thermalwässer beschrieben wird.

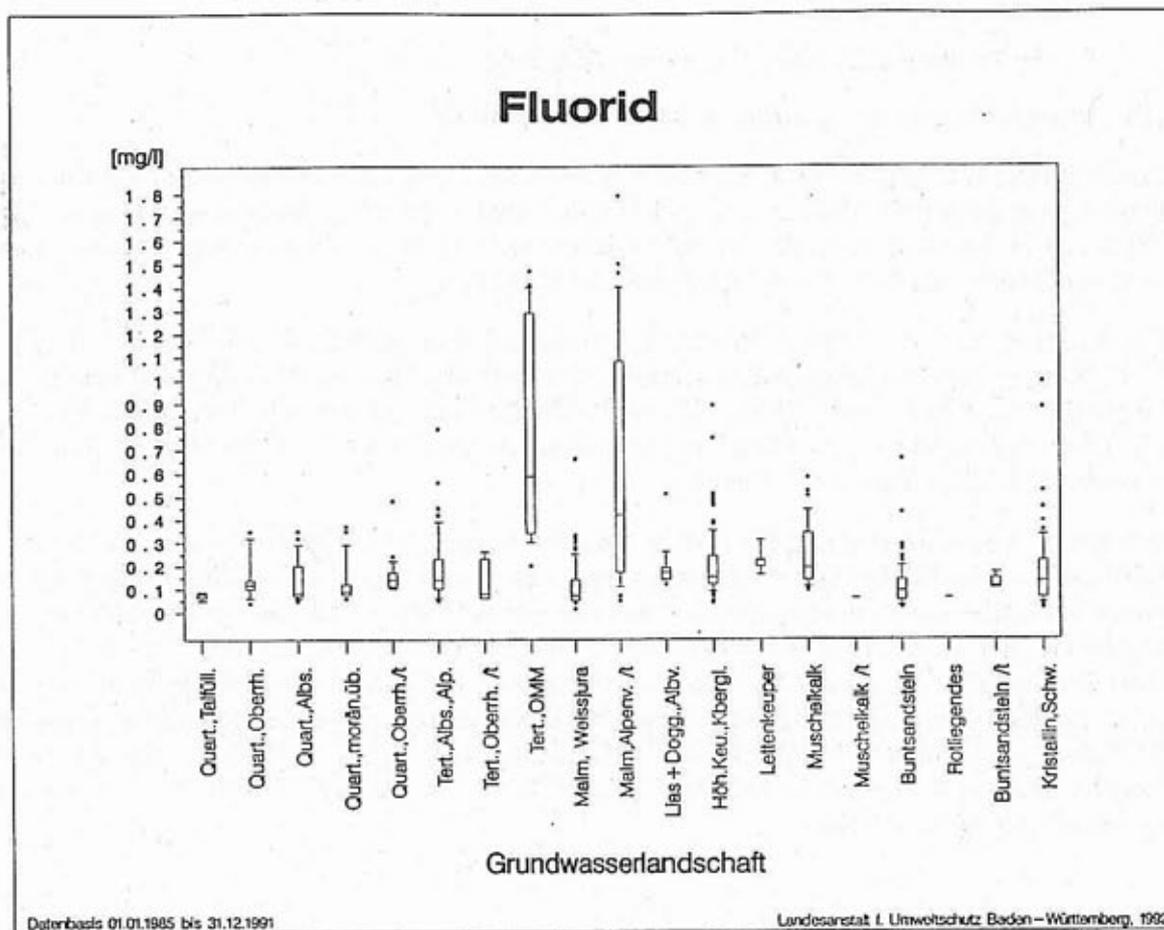
Die leicht erhöhten Konzentrationen in den Meßstellen der ton- und carbonathaltigen Grundwasserlandschaften sind die Folgen des hohen F-Bindungsvermögen der Tongesteine und des Vorhandenseins von F-haltigen Mineralen (z.B. Turmalin und Fluorapatit). Die z.T. höheren F-Konzentrationen im Kristallin des Schwarzwaldes können auf die dort häufigen Flußspatvorkommen zurückgeführt werden. An einzelnen Meßstellen im Buntsandstein des Odenwaldes besteht offenbar ein zeitweiser Zusammenhang zwischen erhöhten Fluorid-, Aluminium- und DOC-Konzentrationen und niedrigen pH-Werten (s. Kap. 4.25 - Aluminium).

Abb. 27: Statistische Kennzahlen - Fluorid

FLUORID [mg/l]

BG = 0.005 mg/l P

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	NST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	4	0.0900	0.0900	0.0850	0.0800	0.0650	0.0500	0.0500
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	13	0.3500	0.3200	0.1400	0.1200	0.1000	0.0600	0.0400
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	43	0.3500	0.2900	0.2000	0.0830	0.0700	0.0600	0.0500
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	23	0.3700	0.2900	0.1200	0.0900	0.0800	0.0770	0.0600
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	24	0.4800	0.2200	0.1700	0.1400	0.1100	0.1000	0.1000
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	49	0.7900	0.3900	0.2300	0.1400	0.1000	0.0600	0.0500
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	7	0.2600	0.2600	0.2300	0.0800	0.0600	0.0600	0.0600
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	22	1.4700	1.4000	1.2900	0.5850	0.3400	0.3000	0.2000
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	65	0.6600	0.2500	0.1400	0.0700	0.0500	0.0490	0.0150
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	42	1.7900	1.4000	1.0800	0.4200	0.1700	0.1100	0.0500
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	15	0.5100	0.2600	0.1900	0.1700	0.1400	0.1400	0.1200
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	106	0.8900	0.3500	0.2400	0.1500	0.1200	0.0900	0.0400
LETTENKEUPER	2	8	0.3100	0.3100	0.2250	0.2200	0.1950	0.1600	0.1600
MUSCHELKALK	8	35	0.5800	0.4400	0.3400	0.1900	0.1370	0.1100	0.0930
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	1	0.0600	—	—	—	—	—	0.0600
BUNTSANDSTEIN	17	107	0.6600	0.2000	0.1400	0.0900	0.0500	0.0300	0.0200
ROTLIEGENDES	1	1	0.0600	—	—	—	—	—	0.0600
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	4	0.1700	0.1700	0.1450	0.1100	0.1000	0.1000	0.1000
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	66	0.9900	0.3300	0.2200	0.1300	0.0600	0.0400	0.0140



4.25 Aluminium

Allgemeines

Nach Sauerstoff und Silizium ist Aluminium (Al) das dritthäufigste Element in der Erdkruste. Es tritt meist in dreiwertigen Verbindungen auf. Zusammen mit den Oxiden anderer Elemente bildet es Silikate: Feldspäte (in Granit, Porphy, Basalt, Gneis, Schiefer) und Glimmer. Als Verwitterungsprodukte entstehen ein- und mehrschichtige Tonminerale.

In das Grundwasser gelangt Aluminium über die Einschwemmung von Tonmineralen aus dem Boden und über die Freisetzung aus den Deckschichten und der Aquifermatrix..

Im Boden an organischer Substanz und an Tonmineralen adsorbiertes Al sowie in Feldspäten vorhandenes Aluminium kann durch zunehmend saure Verhältnisse wieder in Lösung gebracht werden. Saure, gering mineralisierte Wässer setzen Aluminium aus der organischen Substanz, aus den Tonmineralen und aus den Feldspäten frei. Folgen sind die Zunahme der Aluminium-Konzentrationen und eine verstärkte Trübung im Wasser. Aluminium übt in hohen Konzentrationen eine starke phytotoxische Wirkung auf Pflanzen aus (Wurzelschäden). Mit dem Transport über das Sickerwasser beeinflusst Al das Grundwasser. In natürlich sauren Sumpfwässern und Mooren induziert Aluminium die Ausflockung von Huminstoffen.

Im Grundwasser liegt Aluminium meist in Konzentrationen von 0,01-0,1 mg/l Al vor. In sauren Gewässern werden bis zu 3,5 mg/l Aluminium gemessen (Merian u. a., 1984). Hohe Al-Gehalte werden auch in Wässern vulkanischen Ursprungs gemessen.

Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 0,2 mg/l Al vor.

Die Aluminiumkonzentrationen im Basismeßnetz

Zum Analysenumfang bei der Auswertung der Aluminiumkonzentrationen siehe Einleitung Kap. 4.26 - Schwermetalle. Ein geringer Teil der Analysenwerte liegt über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung. In der Grundwasserlandschaft des Buntsandsteins wird der Grenzwert häufig überschritten, sogar im Bereich des P90-Wertes.

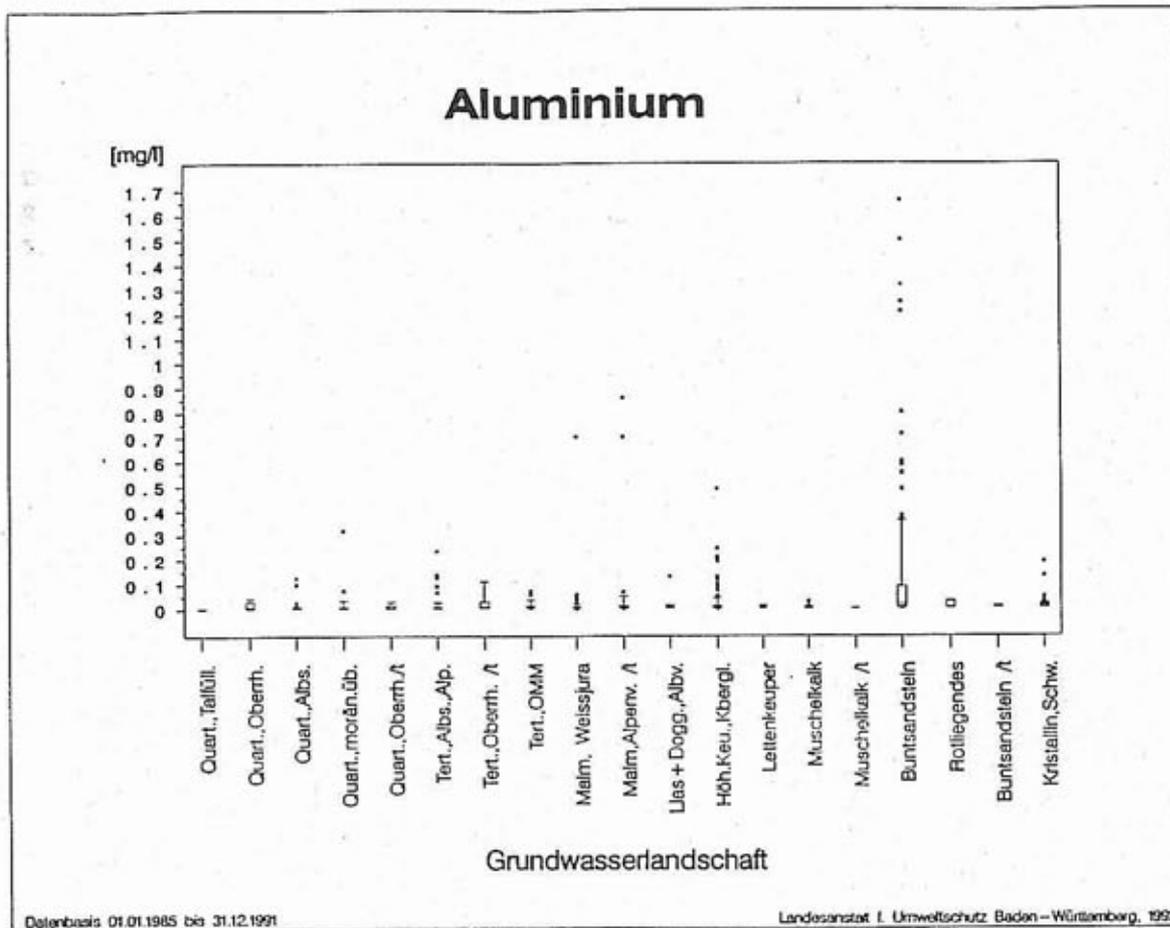
Die im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins gemessenen relativ hohen Aluminium-Konzentrationen und großen Bandbreiten sind offenbar versauerungsbedingt (Köhler, Feuerstein & Grimm-Strele, 1989; Köhler, 1992). Im Grundwasser des Buntsandsteins deuten die immer hohen Sauerstoffgehalte im Sättigungsbereich die kurzen Verweilzeiten des Grundwassers im Kluftgrundwasserleiter an.

Die kurzen Verweilzeiten und die Basenarmut des Ausgangsgesteins bedingen, daß die aus der Luft und aus den Böden eingetragenen anorganischen und organischen Säurebildner das Karbonat- und Silikatpufferungssystem des Sickerwassers/Bodens und des Grundwassers/Grundwasserleiters überfordern und den pH-Wert absenken. Im pH-Bereich von 5,0 bis 4,2 wird das Austauscherpuffersystem der Metalle vermehrt aktiviert (Scheffer u.a., 1982). Im sauren Wasser in größerer Menge enthaltene H⁺-Ionen werden gegen an Tonmineralen und an organische Substanzen gebundene Metalle wie z.B. Aluminium ausgetauscht, wodurch die Aluminium-Konzentration des Wassers steigt. Der o.g. pH-Bereich wird auch im Grundwasser des Buntsandsteins zeitweise erreicht.

Abb. 28: Statistische Kennzahlen - Aluminium

ALUMINIUM [mg/l] BG = 0.002 (0.001) mg/l Al

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	MST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	2	0.0020	—	—	—	—	—	0.0010
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	2	6	0.0430	0.0430	0.0300	0.0095	0.0060	0.0020	0.0020
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	51	0.1270	0.0110	0.0070	0.0040	0.0020	0.0020	<0.0020
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	29	0.3180	0.0350	0.0080	0.0050	0.0020	0.0020	0.0020
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	28	0.0300	0.0300	0.0140	0.0030	0.0020	0.0020	<0.0020
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	56	0.2360	0.0280	0.0085	0.0050	0.0020	0.0020	0.0020
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	9	0.1120	0.1120	0.0300	0.0100	0.0050	0.0020	0.0020
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	26	0.0740	0.0360	0.0140	0.0100	0.0060	0.0050	0.0040
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	76	0.7000	0.0190	0.0080	0.0050	0.0030	0.0020	0.0010
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	5	30	0.8600	0.0505	0.0130	0.0085	0.0030	0.0020	<0.0010
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	18	0.1320	0.0150	0.0060	0.0050	0.0030	0.0020	0.0020
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	15	125	0.4900	0.0440	0.0140	0.0070	0.0040	0.0020	0.0010
LETTENKEUPER	2	9	0.0130	0.0130	0.0040	0.0030	0.0020	0.0020	0.0020
MUSCHELKALK	6	29	0.0300	0.0080	0.0060	0.0030	0.0020	0.0010	0.0010
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	2	0.0020	—	—	—	—	—	0.0010
BUNTSANDSTEIN	17	162	1.6600	0.3600	0.0900	0.0185	0.0080	0.0040	0.0020
ROTLIEGENDES	1	5	0.0340	0.0340	0.0300	0.0060	0.0040	0.0030	0.0030
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	1	2	0.0110	—	—	—	—	—	0.0050
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	94	0.1900	0.0230	0.0160	0.0100	0.0040	0.0020	0.0020



Aluminium-Maxima werden an Basismeßstellen (Quellen im unteren/mittleren Buntsandstein) beobachtet, deren Grundwasser insbesondere bei höheren Schüttungen im Frühjahr Versauerungsmerkmale aufweist (s. Kap. 4.17 Mangan).

Die im Grundwasser des Kristallins erhöhten Aluminium-Maxima bei hohen Quellschüttungen sind auf ähnliche Prozesse wie im Buntsandstein zurückzuführen. Die Maxima werden hier aber von nur sehr geringen DOC-, SO_4 - und NO_3 -Konzentrationsanstiegen begleitet. Aufgrund des vorliegenden Datenmaterials ist die versauerungsbedingte Metallfreisetzung im Kristallin offenbar noch nicht so weit fortgeschritten wie im Buntsandstein, wo auch höhere Mangan und Cadmiumwerte gemessen werden (s. Kap. 4.17/4.26.4 - Mn/Cd). Die Aluminium-Konzentrationen liegen im Kristallin in nur sehr wenigen Fällen über 0,1 mg/l Al, so daß die statistischen Kennzahlen im Kristallin wesentlich niedriger liegen als im Buntsandstein. Im Kristallin werden erhöhte Aluminium-Konzentrationen bei wesentlich höheren pH-Werten (etwa pH 5,6) erreicht als im Buntsandstein (pH 4,25-5,1). Das Austauscherpuffersystem der Metalle wird erst bei pH-Werten kleiner pH 5 verstärkt aktiviert (Scheffer u.a., 1982). Dies läßt schließen, daß im Kristallin bei hohen Quellschüttungen Al über die eingeschwemmte organische Substanz (z.B. Huminsäuren) aus den wesentlich saureren Böden in das Grundwasser gelangt und nicht durch unmittelbare Aluminium-Freisetzungen im Grundwasserleiter selbst.

An zwei Quellen im Höheren Keuper wurden erhöhte Aluminium-Konzentrationen bei höheren Schüttungen gemessen. Diese sind auf die Verwitterung des im Keuper vorkommenden Aluminosilikats Turmalin und auf Einschwemmungen organisch komplex gebundenen Aluminiums zurückzuführen.

4.26 Schwermetalle

Allgemeines

Schwermetalle sind in meist geringen Konzentrationen natürliche Bestandteile vieler Minerale und organischer Substanzen (Spurenelemente). Ihre Löslichkeit ist hauptsächlich vom Redoxpotential (Sauerstoff-, Sulfat-, Nitratgehalt) und vom pH-Wert abhängig.

In metallorganischen Komplexen eingebundene Schwermetalle bleiben länger in Lösung. Sauerstoffarme oder saure, huminstoffreiche Grundwässer enthalten meist mehr Schwermetalle als sauerstoffreiche Grundwässer mit pH-Werten um den Neutralpunkt. Auch tiefe, gut mineralisierte Grundwässer mit z.T. hohen pH-Werten weisen meist höhere Schwermetallgehalte auf.

Da sich Schwermetalle in tierischen und pflanzlichen Organismen anreichern, kommt es bei der *Mineralisation von organischer Substanz zu einer natürlichen Schwermetallanreicherung im Humusboden und im Sickerwasser*. Auch elektrolytarme Sickerwässer, wie sie im Buntsandstein und im Kristallin zu finden sind, reichern sich mit metallischen Spurenelementen an.

An einer Meßstelle im oberflächennahen Grundwasser im oberrheinischen Quartär bei Schwetzingen (westlich von Wiesloch) finden sich stark erhöhte Gehalte an Zink, Eisen, Chrom und Blei. Die Beurteilung der Herkunft der Schwermetalle im Grundwasser ist in diesem Raum erschwert, da hier durchaus eine geogene Grundlast vorliegen könnte (Erzgänge, Jurascholle, Öllagerstätten, aufsteigende Tiefenwässer am Kraichgaurand). Die hohen Konzentrationen könnten auch auf die Korrosion des verzinkten Beobachtungsrohres zurückzuführen sein. Deshalb wurde die Meßstelle von den Schwermetallauswertungen ausgeschlossen. Im Gebiet bei Wiesloch ist jahrzehntelang Bergbau (Blei-Zink-Silber) betrieben worden, was zu einer hohen Schwermetallkontamination der Böden, der Bachsedimente und des Bachwassers, geführt hat (insbesondere mit Zink, Blei und Cadmium) (Fauth u. a., 1985; Müller, G., Haamann & Noe, 1990). Geyer & Gwinner (1986) beschreiben für den angrenzenden Kraichgau zwischen Bad Langenbrücken und Wiesloch eine isolierte Jurascholle (Schwarzer und brauner Jura, Keuper). Da die Schwermetallgehalte des Schwarzen Juras (*Liasepsilon, Posidonienschiefer*) hoch sind (Puchelt, 1988), ist hier auch eine natürliche geogene Beeinflussung des Grundwassers in der Oberrheinebene durch Randzuflüsse aus dem Kraichgau möglich. Am Kraichgaurand existieren auch einige Chlorid- und Schwefel-Thermalwässer, deren chemische Zusammensetzung von den salz- und erzhaltigen Schichten des Keupers und des Schwarzen und Braunen Juras geprägt wird und die das Grundwasser in der Oberrheinebene nachhaltig beeinflussen könnten. In der entsprechenden Hydrogeologischen Kartierung finden sich bisher kaum Hinweise auf eine solche mögliche hydrochemische Beeinflussung des oberrheinischen Grundwassers durch Randzuflüsse. Auch sind aus der Region zwischen Karlsruhe und Wiesloch Öllagerstätten bekannt (Geyer & Gwinner, 1986).

Aufgrund des möglichen Einflusses des Meßstellenausbaus auf die Schwermetallgehalte wurden insgesamt zehn Meßstellen aus der Auswertung für Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Quecksilber, Zink, Eisen, Mangan, Aluminium ausgeschlossen. Die betroffenen Meßstellen liegen in den Grundwasserlandschaften Höherer Keuper, Tiefer Buntsandstein, Muschelkalk, Tiefer Malm und Quartär des Oberrheingrabens.

Die Ergebnisse der Schwermetallanalysen im Basismeßnetz bestätigen das natürliche ubiquitäre Vorkommen von Schwermetallen im Grundwasser. Die Grenzwerte der TrinkwV werden in nur wenigen Fällen erreicht bzw. überschritten.

4.26.1 Arsen

Allgemeines

Arsen (As) kommt in der Natur selten elementar (z.B. als Scherbenkobalt) vor. As ist meist sulfidisch gebunden und begleitet viele Metallsulfide. Daher sind aus sulfidischen Erzen gewonnene Metalle (z.B. Zink, Blei) auch arsenhaltig. Wichtige natürlich vorkommende Metallarsenide und Arsensulfide sind z.B. Arsenkies (FeAsS), Glanzkobalt, Arsennickelkies (NiAs), Realgar (As₄S₄) und Arsen Silberblende.

In Spuren ist As überall nachweisbar; in Sedimentgesteinen, eisenhaltigen Tonen, Mergeln und in Sandgesteinen verbreitet. Böden enthalten meist 5-10 mg/kg As (DVGW, 1985). Kloke (1986) gibt für Böden einen tolerierbaren Wert von 20 mg/kg an. Insbesondere in Sedimentgesteinen sind höhere As-Gehalte zu erwarten, da offenbar Pflanzen und Tiere As anreichern (Merian u. a., 1984). Im Posidonienschiefer werden Gehalte von 3-58 mg/kg gemessen (Puchelt, 1988). "Normalerweise" beträgt der As-Gehalt in Meerwasser 0,002-0,004 mg/l As, im Süßwasser 0,0005-0,002 mg/l As. Im Grundwasser sind durchaus geogene Konzentrationen bis zu etwa 0,01 mg/l anzutreffen. In Thermalwässern und in Grundwässern in Kontakt mit Ölfeldern und vererzten Gesteinsfolgen ist Arsen erhöht (Hütter, 1984).

Der EG-Grenzwert (1980) für Trinkwasser beträgt 0,05 mg/l As. In der Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 05.12.1990 ist ein Grenzwert von bisher 0,04 mg/l As vorgesehen; ab 01.01.1996 gilt ein Grenzwert von 0,01 mg/l As. Mineralwässer dürfen in der Bundesrepublik Deutschland maximal 0,04 mg/l As enthalten.

Die Arsenkonzentrationen im Basismeßnetz

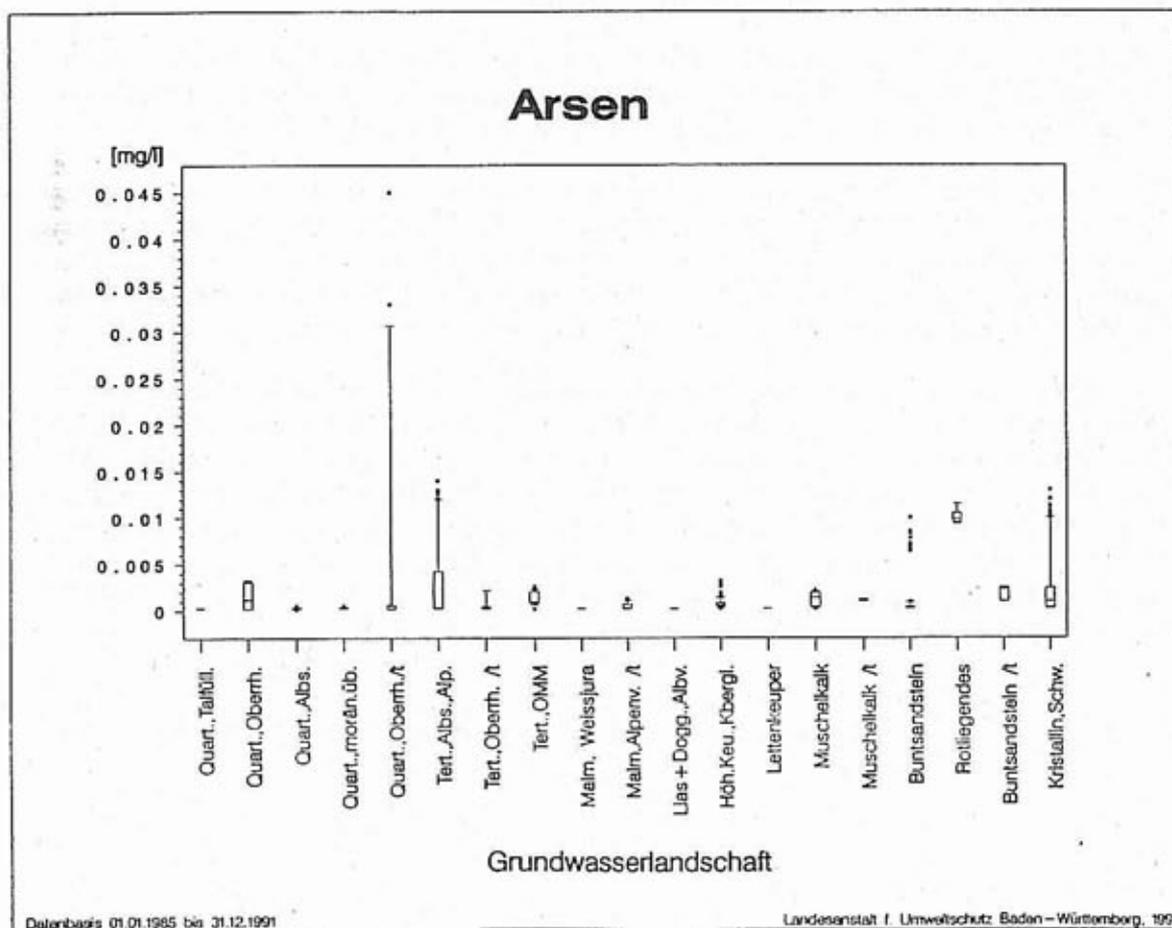
Arsen ist an vielen Basismeßstellen nachweisbar. Auffällig sind die Extremwerte und die z.T. großen Streubereiche im tiefen Grundwasser des oberrheinischen Quartärs, im Tertiär des Albsüdrandes und Alpenvorlandes, im Rotliegenden, Buntsandstein und Kristallin. Dort liegen die Maximalkonzentrationen und die P90-Werte bis auf eine Ausnahme (tiefes oberrheinisches Quartär) zwischen dem derzeitigen und zukünftigen Grenzwert der TrinkwV.

Die erhöhten Einzelwerte im tiefen Grundwasser des oberrheinischen Quartärs, Buntsandstein und Kristallin sind auf nur jeweils eine Meßstelle mit höheren As-Gehalten zurückzuführen. Der im tiefen Quartär des Oberrheingrabens an 4 Meßstellen ermittelte relativ große Streubereich wird durch Meßwerte einer 120 m tiefen Meßstelle verursacht, wo Grundwasser mit einem hohen Alter von > 35 Jahren gefördert wird. Ältere Grundwässer sind aufgrund der längeren Aufenthaltszeiten und den in tiefen Aquiferen gegebenen anderen chemisch-physikalischen Lösungsbedingungen meist stärker mineralisiert als oberflächennahe Grundwässer. Ihre Sauerstoffarmut und die hohen Gehalte an Kohlenstoffdioxid verstärken die Lösung von Metallen, wie hier von Arsen. Von den 10 Meßstellen im Kristallin des Schwarzwaldes liegen nur die Werte einer Meßstelle über 0,01 mg/l As. Das Einzugsgebiet umfaßt ein von Erzgängen durchsetztes Paragneisgebiet. Die hier erhöhten Konzentrationen von Barium, Fluorid, Blei und Zink deuten auf die geogene Beeinflussung durch Erze, Fluß- und Schwerspatvorkommen. Aufgrund der relativ hohen pH-Werte von pH 6,5 bis 7,4 können an dieser Basismeßstelle versauerungsbedingte Schwermetallfreisetzungen ausgeschlossen werden. Auch die im oberflächennahen Buntsandstein erhöhten As-Konzentrationen an einer Meßstelle, welche die erhöhten Einzelwerte im Buntsandstein darstellen, sind offenbar nicht versauerungsbedingt (pH-Werte: 5,7-6,0). Die im Rotliegenden an einer Meßstelle analysierten Konzentrationen liegen über dem in der TrinkwV ab 1996 gültigen Grenzwert. Die As-Analysen im Basismeßnetz bestätigen das ubiquitäre Vorkommen von Arsen. Die Werte der geogen geprägten Hintergrundbeschaffenheit überschreiten also z.T. den künftigen Grenzwert der TrinkwV.

Abb. 29: Statistische Kennzahlen - Arsen

ARSEN [mg/l] BG = 0.0002 (0.0001) mg/l As

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	2	0.00030	—	—	—	—	—	0.00030
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u. Sande	2	6	0.00330	0.00330	0.00310	0.00120	0.00020	0.00020	0.00020
QUARTÄR, Albsüdrand/ Kiese u. Sande	6	49	0.00060	0.00040	0.00040	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00010
QUARTÄR, moränenüb./ Kiese u. Sande	5	26	0.00060	0.00040	0.00040	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
QUARTÄR, Oberrhein/ tiefe Aquifere	4	29	0.04500	0.03070	0.00060	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	61	0.01400	0.01200	0.00420	0.00030	<0.00020	<0.00020	<0.00020
TERTIÄR, Oberrhein/ tiefe Aquifere	1	8	0.00220	0.00220	0.00050	0.00030	0.00030	0.00020	0.00020
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	28	0.00260	0.00230	0.00205	0.00095	0.00080	0.00060	<0.00020
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	74	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
MALM, Alpenvorland/ tiefe Aquifere	5	29	0.00130	0.00110	0.00070	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	19	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
BÖHERER KEUPER, Keuperbergland	15	127	0.00320	0.00140	0.00080	0.00060	0.00050	0.00030	<0.00020
LETTENKEUPER	2	10	0.00020	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
MUSCHELKALK	6	35	0.00220	0.00200	0.00190	0.00140	0.00040	0.00030	0.00020
MUSCHELKALK / tiefe Aquifere	1	3	0.00120	—	—	0.00110	—	—	0.00100
BUNTSANDSTEIN	17	132	0.01000	0.00090	0.00040	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
ROTLIEGENDES	1	6	0.01150	0.01150	0.01050	0.00980	0.00950	0.00930	0.00930
BUNTSANDSTEIN / tiefe Aquifere	1	3	0.00250	—	—	—	—	—	0.00100
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	82	0.01300	0.01000	0.00240	0.00100	0.00030	<0.00020	<0.00020



4.26.2 Barium

Allgemeines

Das Erdalkalimetall Barium (Ba) kommt in der Natur u. a. als Schwerspat (Baryt, BaSO_4) oder Witherit (BaCO_3) vor und ist Bestandteil der Gesamthärte. In vielen Mineralen (Feldspäte, Glimmer) kann Barium Stellvertreter für Kalium sein. In Bachsedimenten werden in Baden-Württemberg (Schwarzwald, Nordrand der Schwäbischen Alb, Einzugsgebiet der Flüsse Kocher und Jagst) z.T. hohe Ba-Gehalte von $> 5.800 \text{ mg/kg}$ gemessen (Fauth u.a., 1985). Im Schwarzwald vorhandene Barytgänge und deren bergmännischer Abbau erklären die Ba-Gehalte der Bachsedimente im Schwarzwald. Erzvorkommen enthalten oft als Gangart Schwerspat. Ton- und Sandgesteine enthalten auch höhere Bariummengen.

Die novellierte TrinkwV vom 05.12.90 sieht erstmals einen Grenzwert vor (1 mg/l Ba).

Die Bariumkonzentrationen im Basismessnetz

Im Basismessnetz liegen bis auf zwei Werte im Buntsandstein alle Werte unterhalb des TrinkwV-Grenzwertes. Die höchsten Konzentrationen und die größten Streubereiche liegen im Höheren Keuper, im Lettenkeuper, im Buntsandstein und im Kristallin vor.

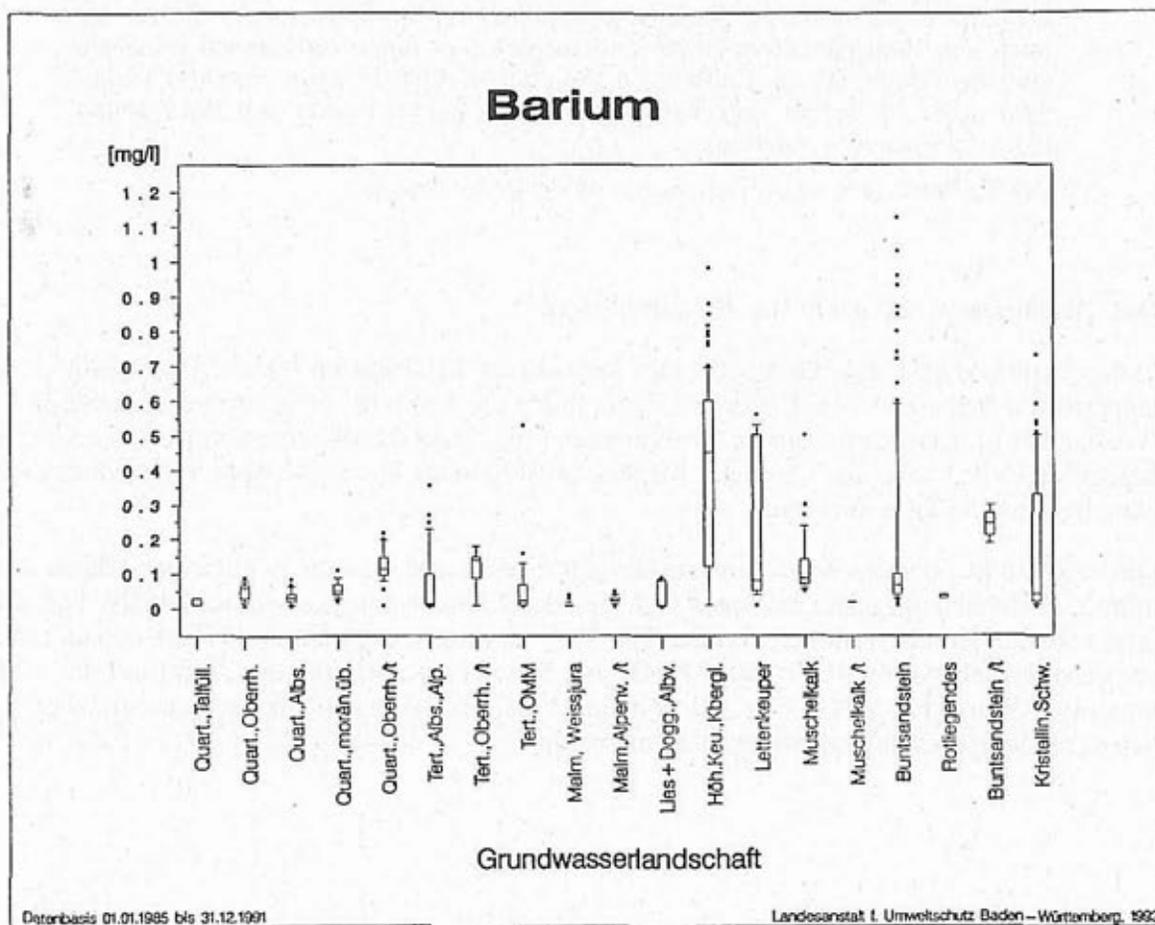
Die Ba-Gehalte im Grundwasser des Buntsandsteins und des Kristallins des Schwarzwaldes finden sich in Einzugsgebieten mit Baryt- und Erzgängen. Schwerspat ist als eine der Hauptgangarten der Erzvorkommen im Schwarzwald bekannt (Geyer & Gwinner, 1986). Die Schwerspatgänge im Schwarzwald durchdringen auch den Buntsandstein und den Muschelkalk. Muschelkalk enthält Barium in Salz- und Gipseinlagerungen.

Die hohen Bariumgehalte in den Keuperlandschaften werden durch die Bachsedimentuntersuchungen von Fauth u.a. (1985) bestätigt. Diese zeigen einen Schwerpunkt von höheren Ba-Konzentrationen im Verbreitungsgebiet des Keupers auf der Linie Stuttgart-Fürth-Bamberg-Bayreuth, dessen Ursachen als ungeklärt bezeichnet werden. Nach Geyer & Gwinner (1986) enthalten die Sandsteine des Keupers z.T. karbonatreiche, überwiegend dolomitische, meist schwerspatreiche Steinmergelbänke. Dies kann die erhöhten Ba-Konzentrationen im Grundwasser und in den Bachsedimenten des Keuperberglandes erklären. Pfeilsticker (1937, zit. in Matheß, 1990) fand in Quellwässern bei Stuttgart Bariumgehalte von $0,05$ bis zu 2 mg/l Ba .

Abb. 30: Statistische Kennzahlen - Barium

BARIUM [mg/l] BG = 0.010 (0.005) mg/l Ba

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	MST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	3	0.0300	—	—	0.0100	—	—	0.0100
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	19	0.0900	0.0800	0.0700	0.0600	0.0300	0.0190	<0.0100
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	36	0.0860	0.0650	0.0415	0.0300	0.0200	0.0100	<0.0050
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	29	0.1120	0.0900	0.0700	0.0500	0.0400	0.0290	0.0200
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	24	0.2190	0.1990	0.1470	0.1150	0.0955	0.0800	<0.0100
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	48	0.3560	0.2300	0.1000	0.0150	<0.0100	<0.0050	<0.0050
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	7	0.1810	0.1810	0.1500	0.1400	0.0890	<0.0100	<0.0100
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	23	0.5300	0.1310	0.0700	0.0230	0.0130	<0.0100	<0.0100
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	63	0.0400	0.0200	0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0050	<0.0050
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	50	0.0500	0.0400	0.0300	0.0230	0.0200	0.0110	0.0060
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	15	0.0900	0.0860	0.0800	0.0100	<0.0100	<0.0050	<0.0050
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	107	0.9820	0.6940	0.6000	0.4500	0.1200	<0.0100	<0.0100
LEITENKEUPER	2	11	0.5600	0.5300	0.5000	0.0800	0.0510	0.0390	<0.0100
MUSCHELKALK	8	38	0.5000	0.2370	0.1400	0.0850	0.0700	0.0570	0.0500
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	4	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200
BUNTSANDSTEIN	17	113	1.1260	0.5900	0.1000	0.0670	0.0410	0.0300	<0.0100
ROTLIEGENDES	1	5	0.0400	0.0400	0.0400	0.0380	0.0300	0.0300	0.0300
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	8	0.3000	0.3000	0.2750	0.2450	0.2100	0.1880	0.1880
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	58	0.7300	0.5000	0.3300	0.0410	0.0180	0.0100	<0.0050



4.26.3 Blei

Allgemeines

Blei (Pb) ist ein verbreitetes Spurenelement. Häufigstes Bleierz ist Bleiglanz (Galenit, PbS), weniger häufig sind Weißbleierz (Zerussit, PbCO_3), Rotbleierz (Krokoit, PbCrO_4), Gelbbleierz (Wulfenit, PbMoO_4), Scheelbleierz (Stolzit, PbWO_4) und Bleivitriol (Anglesit, PbS) (Mattheß, 1973; Schröter, Lautenschläger & Bibrack, 1978). Blei wird meist von Zink, Zinn, Kupfer, Arsen, Gold, Silber oder Wismut begleitet (DVGW, 1985). In Silikaten, Feldspäten, und phosphathaltigen Mineralen kann es Stellvertreter für Kalium sein. Der Atmosphäre wird Blei über Stäube, Vulkanausbrüche und Brände zugeführt.

Stahr & Monn (1990) finden in den Sandsteinen der südwestdeutschen Stufenlandschaft höhere Pb-Gehalte als in übrigen Gesteinen. In Baden-Württemberg können Böden auf den Kalkgesteinen des Juras mehr Pb enthalten als Böden auf Metamorphiten und anderen Gesteinen (LfU, 1990). Puchelt (1988) gibt als Pb-Gehalt des Posidonienschiefers 1,1-57 mg/kg an, die Pb-Konzentrationen der Extraktionsprobe betragen 9,5 µg/l. Kloke (1986) bezeichnet 100 mg/kg als tolerierbaren Wert für Böden.

Bleiverbindungen sind nur wenig löslich. Blei besitzt eine nur geringe Beweglichkeit, deshalb ist Blei im Grundwasser meist nicht nachweisbar. Hohe Konzentrationen im Wasser sind i.d.R. nicht geologischen Ursprungs. Nach Mattheß (1973) und Merian u. a. (1984) sind für "normale" Grundwässer bis zu 20 µg/l Pb anzusetzen. Höhere Gehalte werden im Bereich von Erz- und Öllagerstätten registriert. Fauth u. a. (1985) beschreiben erhöhte Pb-Konzentrationen für Bachsedimente im Raum Heidelberg-Wiesloch und im Südschwarzwald im Bereich von Erzlagerstätten. Diese sind auf den hier lange betriebenen Erzabbau zurückzuführen, dessen Emissionen (Staub und Auslaugungen aus Abraumphalden) den z. T. schon vorgegebenen natürlich höheren geogenen Background (Erzvorkommen) verstärken.

Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 0,04 mg/l Pb vor.

Die Bleikonzentrationen im Basismessnetz

In den Grundwässern des Basismessnetzes liegt nur ein Meßwert im Höheren Keuper über dem Grenzwert der TrinkwV. Im Höheren Keuper fallen die dort höheren Konzentrationen auf, welche an einer Meßstelle mit saurem Grundwasser (pH 5,6 und 6,0) gemessen werden. An dieser Meßstelle fördert offenbar das saure Milieu die Bleilösung aus im Keuper vorhandenen Bleiglanzbänken und Tonschichten.

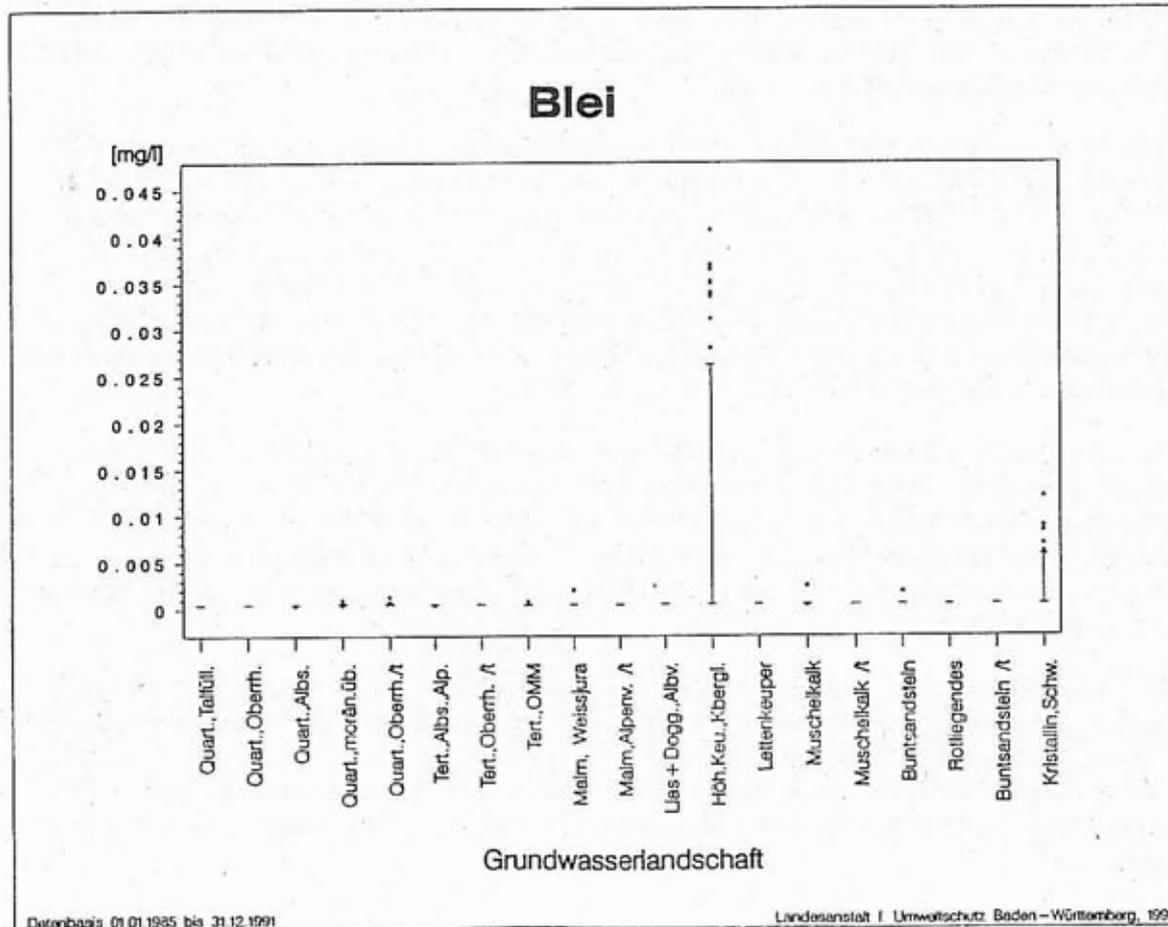
Die im Grundwasser des Kristallins auffälligen Einzelwerte werden an nur einer Meßstelle ermittelt, deren Einzugsgebiet ein von Erzgängen durchsetztes Paragneisgebiet umfaßt. Die ebenfalls erhöhten Konzentrationen von Barium, Fluorid, Arsen, Cadmium und Zink deuten auf die geogene Beeinflussung durch Erze, Fluß- und Schwerspatvorkommen. Aufgrund der relativ hohen pH-Werte von pH 6,5 bis 7,4 können an dieser Basismessstelle versauerungsbedingte Schwermetallfreisetzungen ausgeschlossen werden.

Abb. 31: Statistische Kennzahlen - Blei

BLEI [mg/l]

BG = 0.0005 (0.0004) mg/l Pb

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	90%-PERC	75%-PERC	MEDIAN	25%-PERC	10%-PERC	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	1	<0.00050	—	—	—	—	—	<0.00050
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	2	4	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	45	0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00040
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	24	0.00100	0.00060	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00040
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	24	0.00130	0.00060	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	52	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00040
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	7	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	25	0.00080	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00040	<0.00040
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	64	0.00200	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	5	24	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00040	<0.00040
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	16	0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	15	109	0.04070	0.02620	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
LETTENKEUPER	2	8	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
MUSCHELKALK	6	28	0.00240	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00040
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	1	<0.00050	—	—	—	—	—	<0.00050
BUNTSANDSTEIN	17	112	0.00180	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
ROTLIEGENDES	1	1	<0.00050	—	—	—	—	—	<0.00050
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	1	1	<0.00050	—	—	—	—	—	<0.00050
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	69	0.01200	0.00570	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050



4.26.4 Cadmium

Allgemeines

Cadmium (Cd) begleitet die Galmei-Mineralen des Zinks und Bleierze. Eigene Cadmiumminerale (Cadmiumblende (CdS), Otavit (CdCO₃)) sind sehr selten (Schröter, Lautenschläger & Bibrack, 1978; Mattheß, 1973). Puchelt (1988) findet im Posidonienschiefer 0,07-3,2 mg/kg Cd, in der Extraktionsprobe waren 1,24 µg/l Cd enthalten. Der natürliche Cadmiumgehalt in Böden beträgt etwa 0,2 mg/kg Cd (DVGW, 1985). Die geogenen Cadmiumgehalte der im Bodenmeßnetz untersuchten Böden Baden-Württembergs liegen zu über 90 % unterhalb 0,4 mg/kg Feinboden. Geogene Cadmiumgehalte über 0,4 mg/kg findet man in Baden-Württemberg in Böden auf Kalkgestein, Posidonienschiefer und in der Nähe von Erzgängen (LfU, 1990). Auf Cd-haltigem Ausgangsgestein können > 3 mg/kg Cd erreicht werden. (Scheffer u.a., 1982). Kohle kann bis zu 2 mg/kg Cd und Öl bis zu 16 mg/kg Cd enthalten. Die in Bachsedimenten z.T. erhöhten Cd-Konzentrationen im Südschwarzwald und bei Heidelberg/Wiesloch (Fauth u. a., 1985) sind auf die dort existierenden Erzvorkommen und deren bergmännischen Abbau zurückzuführen.

Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 0,005 mg/l Cd vor.

Die Cadmiumkonzentrationen im Basismeßnetz

Im Basismeßnetz liegen alle Cadmium-Analysenwerte unterhalb des TrinkwV-Grenzwertes.

Das tiefe Grundwasser des oberrheinischen Quartärs enthält Cadmium. Hier wird ein altes, auch arsenhaltiges Wasser (> 35 Jahre) aus 120 m Tiefe gefördert. Ältere Grundwässer sind aufgrund der längeren Aufenthaltszeiten und den in tiefen Aquiferen gegebenen anderen chemisch-physikalischen Lösungsbedingungen meist stärker mineralisiert als oberflächennahe Grundwässer. Ihre Sauerstoffarmut und die hohen Gehalte an Kohlenstoffdioxid können die Lösung von Schwermetallen verstärken.

Die im Grundwasser des Höheren Keupers auffallenden positiven Cadmiumbefunde werden immer an zwei Basismeßstellen registriert, von denen eine ein relativ gering mineralisiertes, CO₂-reiches, HCO₃-armes, und erdalkalienarmes Wasser aufweist. Auch liegen an dieser Meßstelle die pH-Werte immer zwischen 5,6 und 6,0, die Bleigehalte sind auch auffällig erhöht. Zink ist nicht nachweisbar, die Eisengehalte sind sehr niedrig. Hier liegen offenbar günstige chemisch-physikalische Bedingungen für eine verstärkte Cd-Löslichkeit aus den hier vorhandenen Tonschichten im Stubensandstein vor. Bei Werten unter pH 6,0 steigt die Cadmiumlöslichkeit in Böden erheblich (Scheffer u. a., 1982).

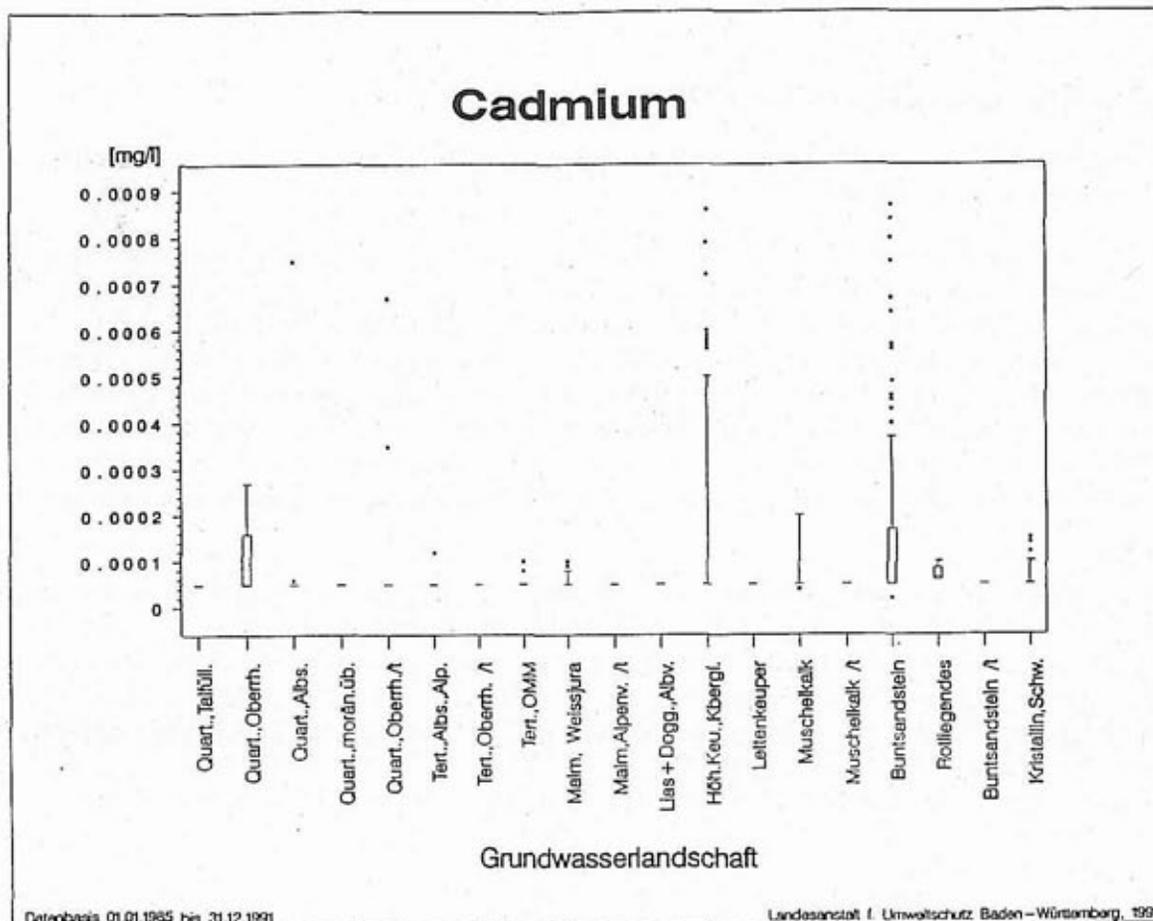
Das Auftreten von höheren Konzentrationen im oberflächennahen Buntsandstein könnte auf einen gegenüber anderen Gesteinen höheren natürlichen Cd-Gehalt schließen lassen. Die höheren Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins resultieren offenbar aus den hier zeitweise auftretenden Versauerungsschüben aus den Böden. An fünf Basismeßstellen sind die Cadmiumbefunde regelmäßig positiv. Die Cd-Gehalte erhöhen sich, wenn den Quellen schnell versickertes saures Wasser zufließt.

Die höheren Einzelwerte im Kristallin werden an nur einer Meßstelle ermittelt, deren Einzugsgebiet von Erzgängen durchsetzt ist. Die ebenfalls erhöhten Konzentrationen von Barium, Fluorid, Arsen, Blei und Zink deuten auf die geogene Beeinflussung durch Erze, Fluß- und Schwespatvorkommen. Aufgrund der relativ hohen pH-Werte von pH 6,5 bis 7,4 können an dieser Basismeßstelle versauerungsbedingte Schwermetallfreisetzungen ausgeschlossen werden.

Abb. 32: Statistische Kennzahlen - Cadmium

CADMIUM [mg/l] BG = 0.00005 (0.00002) mg/l Cd

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	MST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	1	<0.000050	—	—	—	—	—	<0.000050
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	2	4	0.000270	0.000270	0.000160	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	45	0.000750	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	26	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	24	0.000670	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	52	0.000120	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	7	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	25	0.000100	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	65	0.000100	0.000080	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	5	24	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	16	0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	15	109	0.000860	0.000500	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
LETTENKEUPER	2	8	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
MUSCHELKALK	6	28	0.000200	0.000200	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	1	<0.000050	—	—	—	—	—	<0.000050
BUNTSANDSTEIN	17	165	0.000870	0.000370	0.000170	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000020
ROTLIEGENDES	1	4	0.000100	0.000100	0.000085	0.000065	0.000060	0.000060	0.000060
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	1	1	<0.000050	—	—	—	—	—	<0.000050
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	94	0.000150	0.000100	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050



4.26.5 Chrom, gesamt

Allgemeines

Chrom (Cr) kommt in der Natur als Chromeisenerz ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) und Rotbleierz (PbCrO_4) vor. Cr findet sich vermehrt in silikatarmen magmatischen Gesteinen (Gabbros und Basalte) und Tongesteinen. SiO_2 -reiche Gesteine wie Granit und Sandsteine enthalten weniger Cr (Fauth u. a., 1985). In den Oberflächengewässern Baden-Württembergs spiegelt sich der geogene Cr-Background in den Bachsedimenten der Schwäbischen Vulkane (Nordrand der Schwäbischen Alb), im Nördlinger Ries und im Südschwarzwald wider. In den Böden Baden-Württembergs werden die höchsten Cr-Gehalte in Böden auf jurassischen Kalkgesteinen gefunden (bis zu 184 mg/kg Feinboden, LfU, 1990). Auch die Böden auf Tongesteinen des Juras und des Keupers und auf Metamorphiten enthalten relativ hohe Cr-Konzentrationen (LfU, 1990; Puchelt, 1988). Baden-Württembergische Böden auf Sandstein können durchaus maximale Cr-Gehalte bis zu 113 mg/kg aufweisen. Der DVGW (1985) gibt als mittleren natürlichen Gehalt in Böden einen Wert von 100 mg/kg an, den Kloke (1986) als tolerierbar bezeichnet. Chromverbindungen sind schwer löslich. Bei Eluierungsversuchen von Puchelt (1988) mit chromhaltigem Posidonienschiefer (5-117 mg/kg) gingen nur 17 µg/l Cr in Lösung.

Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 0,05 mg/l Cr vor.

Die Chromkonzentrationen im Basismeßnetz

Die Chrom (Cr)-Konzentrationen im Basismeßnetz variieren nur wenig und liegen unterhalb des Grenzwertes der TrinkwV.

Der im Kristallin auffällige Extremwert von 0,0164 mg/l Cr ist auf eine Analyse im Südschwarzwald zurückzuführen. Die hier liegende Basismeßstelle erhält über einen Stollen Wasser aus einem klüftigen Granitgebiet, in dem auch Erzgänge vorzufinden sind (Blei-Zinkerzgänge mit Quarz, Schwerspat, Bleiglanz, Flußspat, lt. Geologischem Gutachten des GLA Baden-Württemberg, 1987). Hier liegt eine für das Grundwasser in diesem Gebiet typische Anreicherung an Blei, Chrom, Zink und Fluorid vor, deren Konzentrationen aber die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung nicht überschreiten. Der Cr-Befund im Grundwasser des südlichen Schwarzwaldes deckt sich mit den Cr-Nachweisen in Fließgewässern im gleichen Gebiet (Fauth u.a., 1985).

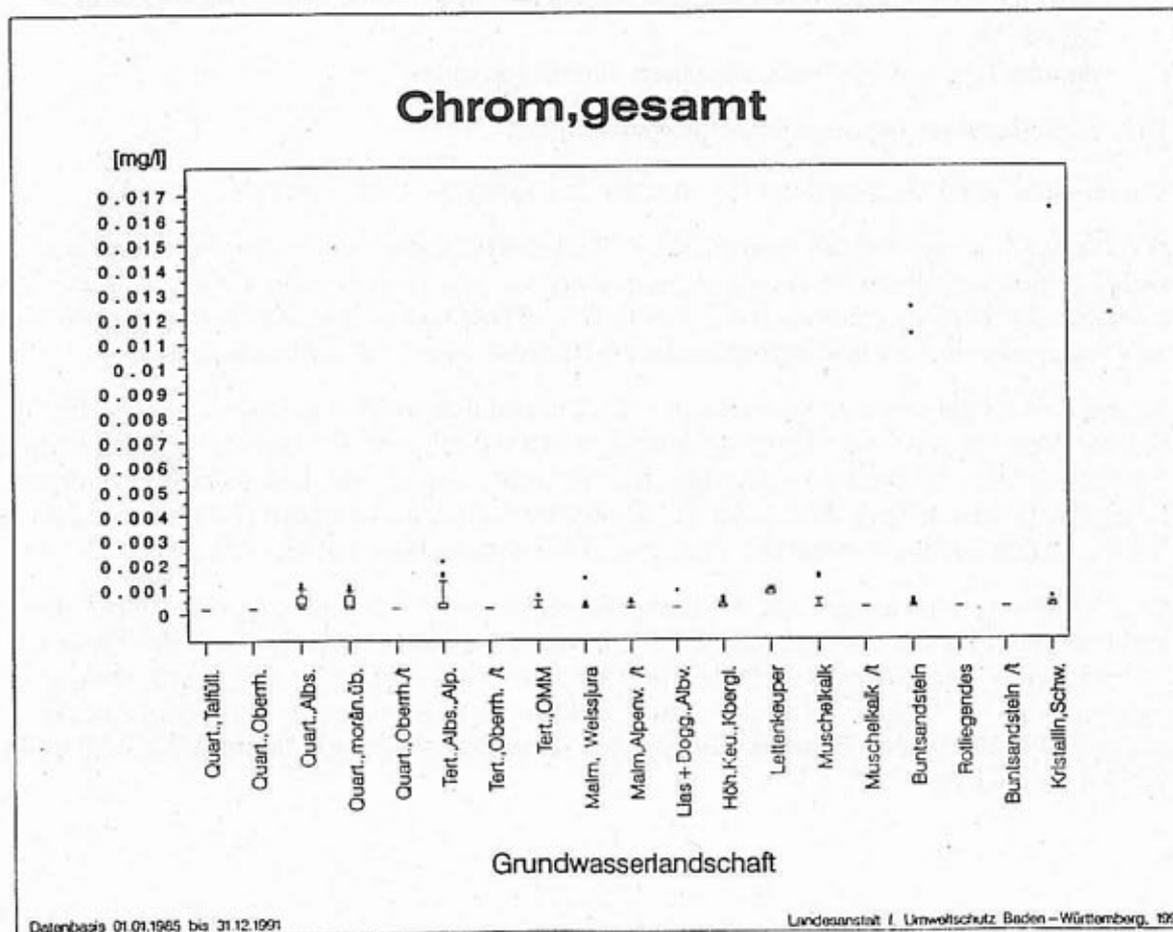
Die Ursache der im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins gemessenen maximalen Cr-Gehalte ist offenbar durch die Überdeckung des Grundwasserleiters mit Muschelkalk, Verwitterungslehmen und Löß verursacht, was an einer Meßstelle der Fall ist. Böden auf Löß und auf Muschelkalk enthalten mehr Cr als Böden auf Buntsandstein (LfU, 1990). Durch die Überdeckung wird die Hydrochemie und damit auch die Cr-Gehalte dieser Basismeßstelle mitgeprägt. Die hier gegenüber anderen Meßstellen im Buntsandstein weit höheren Analysewerten von elektrischer Leitfähigkeit, Calcium, Magnesium und Säurekapazität bestätigen dies.

Abb. 33: Statistische Kennzahlen - Chrom, gesamt

CHROM, gesamt [mg/l]

BG = 0.0002 mg/l Cr

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	1	<0.00020	—	—	—	—	—	<0.00020
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	2	4	0.00020	0.00020	0.00020	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	43	0.00120	0.00100	0.00070	0.00040	0.00030	<0.00020	<0.00020
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	25	0.00110	0.00090	0.00070	0.00030	<0.00020	<0.00020	<0.00020
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	24	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	54	0.00210	0.00130	0.00040	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	7	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	24	0.00070	0.00050	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	63	0.00140	0.00030	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	5	23	0.00050	0.00040	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	16	0.00090	0.00020	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	15	105	0.00060	0.00040	0.00030	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
LETTENKEUPER	2	8	0.00100	0.00100	0.00090	0.00085	0.00070	0.00070	0.00070
MUSCHELKALK	6	27	0.00150	0.00050	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	1	<0.00020	—	—	—	—	—	<0.00020
BUNTSANDSTEIN	17	112	0.01240	0.00030	0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020
ROT Liegendes	1	1	<0.00020	—	—	—	—	—	<0.00020
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	1	1	<0.00020	—	—	—	—	—	<0.00020
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	65	0.01640	0.00040	0.00030	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020



4.26.6 Nickel

Allgemeines

Als natürlicher Bestandteil ist das meist zweiwertige Nickel (Ni) vor allem in sulfidischen Erzen (NiO, NiS) enthalten. Silikatreiche Gesteine beinhalten wenig Ni (Fauth u. a., 1985). Ni ist in silikatarmen Gesteinen (Basalt, Gabbros) angereichert. In Mineralien wie Olivin und Serpentin kann Nickel in seiner zweiwertigen Form das Magnesium ersetzen. Nickel tritt meist zusammen mit Kobalt, Arsen und mit Antimon auf.

In ozeanischen und limnischen Systemen wird Nickel in höheren Wasserpflanzen, Moosen, Algen und in filtrierenden Schalentieren angereichert und gelangt durch Sedimentation in die Schlämme. In den jurassischen Sedimentgesteinen der Schwäbischen Alb (z.B. Posidonienschiefer = Lias epsilon) sind hohe Nickelkonzentrationen bis zu 296 mg/kg gemessen worden (Puchelt, 1988). In Ölschiefen oder anderen bitumenhaltigen Gesteinen liegt Nickel in sulfidischer Bindung in z.T. hohen Konzentrationen vor. Deshalb zeigen die sich auf den Tonsteinen des Juras bildenden Bodentypen die höchsten Nickelgehalte in Baden-Württemberg (Min./Max.: 14,8/222,0 mg/kg Feinboden, LfU, 1990).

Durch Gesteinsverwitterung freigesetztes Ni ist relativ unlöslich und nur in Spuren im Wasser enthalten (Merian u. a., 1984). Dagegen kann sich der geogene Ni-Gehalt (Tongesteine, Karbongesteine) in Sedimenten von Oberflächengewässern widerspiegeln, wo Ni u.a. durch die Verbindung mit natürlichen organischen Komplexbildnern angereichert ist (Fauth u. a., 1985).

Niedrige pH-Werte, das Vorhandensein von organischen Verbindungen und reduzierende Verhältnisse erhöhen die Löslichkeit von Nickelverbindungen, woraus z.B. erhöhte Ni-Konzentrationen in moorigen Bachwässern resultieren. Fauth u. a. (1985) sehen den lokalen geogenen Einfluß auf den Ni-Gehalt von Oberflächengewässern als gering an.

Für das Trinkwasser gilt ein Grenzwert von 0,05 mg/l Ni.

Die Nickelkonzentrationen im Basismeßnetz

Die Ni-Gehalte im Basismeßnetz liegen unter dem Grenzwert der TrinkwV.

Die Maxima im Muschelkalk sind auf die in Kalkgesteinen und in Kalkgesteinsböden hohen Ni-Gehalte zurückzuführen. In Baden-Württemberg werden in Böden auf Kalkgestein die zweithöchsten Ni-Gehalte gemessen (LfU, 1990). Dies läßt Rückschlüsse auf einen hohen Ni-Gehalt im Ausgangsgestein zu und begründet die Ni-Konzentrationen im Grundwasser.

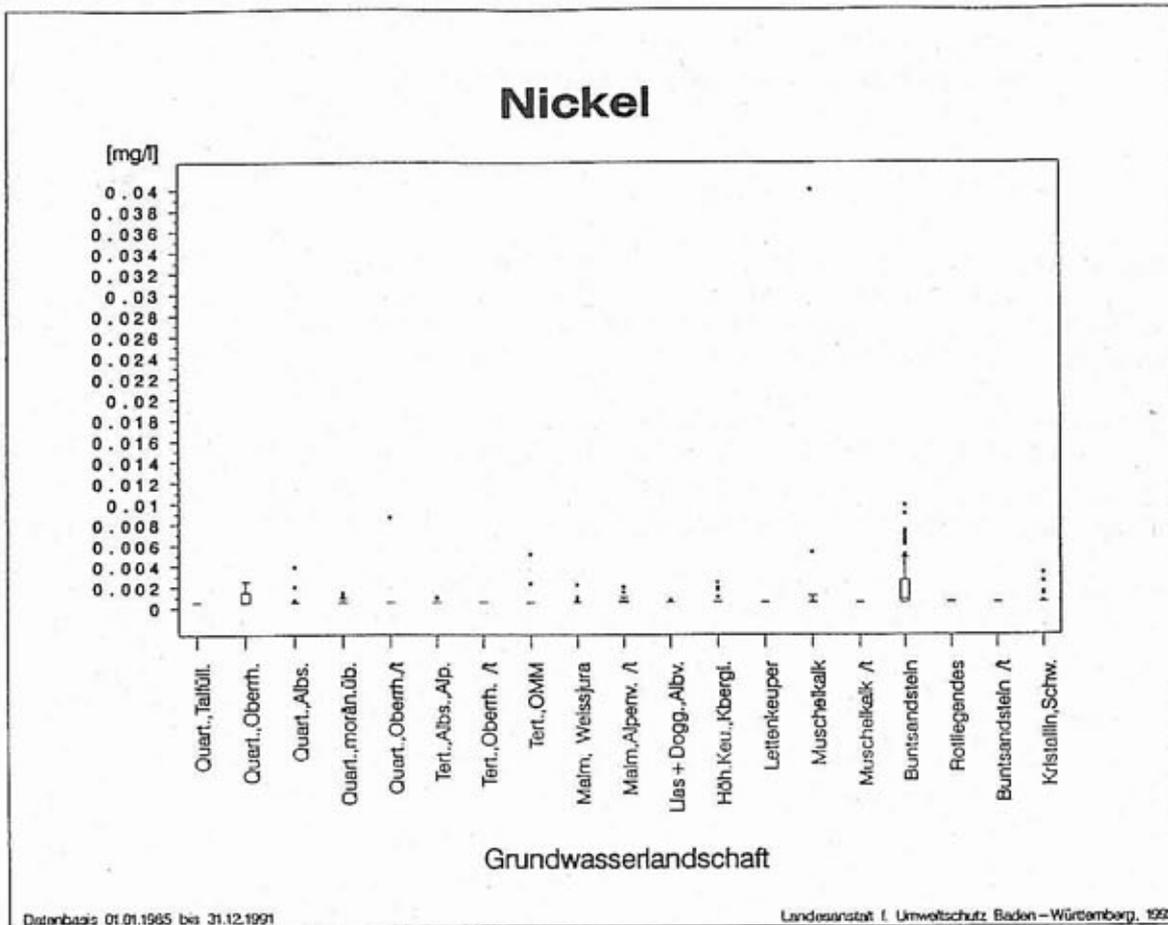
Auch im oberflächennahen Grundwasser des Buntsandsteins sind die Ni-Gehalte auffällig. 50 % aller Werte liegen unter einer Konzentration von 0,0008 mg/l Ni. Höhere Gehalte werden an 5 verschiedenen Meßstellen gemessen. Bei mehreren Proben mit hohen Ni-Konzentrationen liegt gleichzeitig der pH-Wert unter 6. Hier deutet sich eine Konsequenz der Versauerung im Buntsandstein an: der vermehrte Eintrag von Schwermetallen in das Grundwasser.

Eine Erklärung für die geringen Ni-Konzentrationen in der Grundwasserlandschaft des Lias und Doggers gibt die von Puchelt (1988) ermittelte geringe Auslaugbarkeit des Gesteins bei gleichzeitig hohen Ausgangsgehalten im Gestein. Die Laugbarkeit des Posidonienschiefers entspricht nach Puchelt nicht den Konzentrationsverhältnissen in der Festprobe (37-296 mg/kg). Die maximalen Eluatkonzentrationen von frischem Posidonienschiefer liegen bei 67 µg/l Ni (bei pH 7).

Abb. 34: Statistische Kennzahlen - Nickel

NICKEL [mg/l] BG = 0.0005 mg/l Ni

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	MST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	1	<0.00050	—	—	—	—	—	<0.00050
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	2	4	0.00250	0.00250	0.00150	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	43	0.00390	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	27	0.00140	0.00090	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	24	0.00870	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	50	0.00100	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	7	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	22	0.00510	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	65	0.00220	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	5	22	0.00200	0.00100	0.00070	<0.00050	0.00050	0.00050	0.00050
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	16	0.00070	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	15	108	0.00240	0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
LETTENKEUPER	2	8	0.00050	0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
MUSCHELKALK	6	27	0.04000	0.00110	0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	1	<0.00050	—	—	—	—	—	<0.00050
BUNTSANDSTEIN	17	161	0.00980	0.00480	0.00260	0.00080	<0.00050	<0.00050	<0.00050
ROTLIEGENDES	1	4	0.00060	0.00060	0.00055	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	1	1	<0.00050	—	—	—	—	—	<0.00050
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	95	0.00330	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050	<0.00050



4.26.7 Quecksilber

Allgemeines

Quecksilber (Hg) kommt in der Natur selten vor, elementar als Tröpfchen im Gestein und in sulfidischer Bindung als gering lösliches Zinnbarit/Zinnober (HgS).

Der mittlere Hg-Gehalt der Erdkruste beträgt 0,08 mg/kg. Tonschiefer enthalten bis > 0,4 mg/kg Hg. Wesentlich höhere Gehalte findet man in Gesteinen, die HgS (Zinnober) oder Erze enthalten. In nicht oder wenig belasteten Böden und Sedimenten werden in der Regel 0,02-0,5 mg/kg angetroffen. Aus vulkanischen Eruptionen (40.000 t/Jahr) und durch Verdampfen der bei der Mineralverwitterung freigesetzten Hg-Tröpfchen gelangt Quecksilber in die Atmosphäre. In Gebieten mit vulkanischer Tätigkeit ist der Hg-Gehalt von Böden erhöht (Scheffer u.a., 1982).

Vor allem organische Substanz weist ein hohes Bindungsvermögen für Quecksilber auf. Auch Oxide und Tonminerale adsorbieren Quecksilber. Organisch gebundenes Quecksilber ist weitgehend vor Verdampfung geschützt, es reichert sich daher in den organischen Auflagen der Böden an. Im Regenwasser werden bis zu 0,3 µg/l in der Regel jedoch 0,02-0,08 µg/l gemessen (Scheffer u.a., 1982).

Nach Mattheß (1973) ist Hg in der Regel im Grundwasser nicht nachweisbar, nach Müller, L., Kaiser & Ohnesorge (1991) finden sich meist Konzentrationen zwischen 0,00001 und 0,00005 mg/lHg.

Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 0,001 mg/l vor.

Die Quecksilberkonzentrationen im Basismeßnetz

Hg wurde bis zu Konzentrationen von 0,0004 mg/l nachgewiesen. Die Gehalte liegen alle unterhalb des Grenzwertes der TrinkwV.

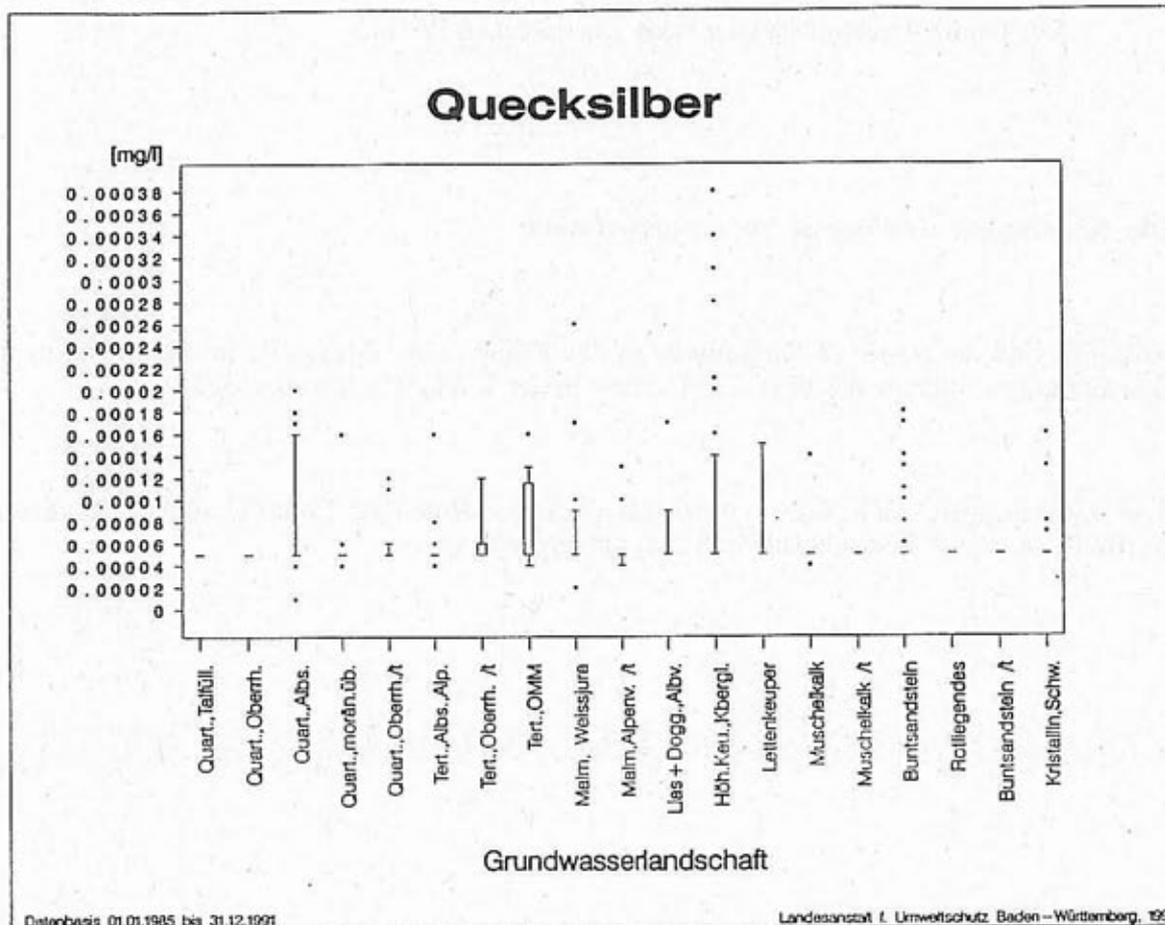
In der Oberen Meeresmolasse wurden die meisten positiven Befunde gemessen. Dort belegen Tritiumanalysen das hohe Alter des reduzierten Grundwassers an zwei Meßstellen. An diesen Basismeßstellen waren neben Quecksilber auch Arsen und Cadmium nachweisbar. Tiefe gut mineralisierte Grundwässer mit hohem Alter können erhöhte Schwermetallgehalte aufweisen.

Die positiven Befunde im Lias, Dogger und Keuper können auf die dort verbreiteten Tongesteine (mit z.T. größeren organischen Anteilen) mit hohem Sorptionsvermögen zurückgeführt werden.

Abb. 35: Statistische Kennzahlen - Quecksilber

QUECKSILBER [mg/l] BG = 0.00005 (0.00001/0.00002/0.00004) mg/l Hg

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	MST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	1	<0.000050	—	—	—	—	—	<0.000050
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	2	5	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	47	0.000200	0.000160	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000010
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	24	0.000160	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000040
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	28	0.000120	0.000060	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	52	0.000160	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000040
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	8	0.000120	0.000120	0.000060	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	24	0.000160	0.000130	0.000115	<0.000050	<0.000050	<0.000040	<0.000040
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	65	0.000260	0.000090	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000020
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	5	24	0.000130	0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000040	<0.000040
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	16	0.000170	0.000090	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	15	104	0.000380	0.000140	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
LETTENKEUPER	2	8	0.000150	0.000150	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
MUSCHELKALK	6	26	0.000140	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000040
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	1	<0.000050	—	—	—	—	—	<0.000050
BUNTSANDSTEIN	17	118	0.000180	0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050
ROTLIEGENDES	1	2	<0.000050	—	—	—	—	—	<0.000050
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	1	1	<0.000050	—	—	—	—	—	<0.000050
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	65	0.000160	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050	<0.000050



4.26.8 Selen

Allgemeines

Selen (Se) kommt in der Natur sehr selten vor (z.B. als Bariumselenat). Es findet sich in metallischen und glasartigen amorphen Formen. Selen gleicht in seinem Verhalten dem Schwefel, dessen sulfidische Form es in Zink-, Kupfer- und Eisenerzen begleitet. Auch Kohle- und Phosphorlagerstätten enthalten Se-Spuren.

Der Se-Gehalt in Böden liegt im allgemeinen zwischen 0,03 und 2,0 mg/kg Se. Kloke findet in Kulturböden 0,1-5 mg/kg Se (zit. i. LfU, 1989d). Schiefergesteine enthalten nach Angaben von Wilber (zit. in Merian u. a., 1984) mehr Selen (0,6 mg/kg Se) als andere Gesteine. Puchelt (1988) findet im baden-württembergischen Posidonienschiefer Konzentrationen von 0,4-3,5 mg/kg Se, die Extraktionsprobe ergab 3,5 µg/l Se.

Die TrinkwV sieht einen Grenzwert von 0,01 mg/l Se vor.

Die Selenkonzentrationen im Basismessnetz

Auffällig sind die positiven Se-Befunde in den Proben einer Meßstelle im tiefen Malm. Die Konzentrationen liegen dort über dem Grenzwert der TrinkwV (0,01 mg/l Se).

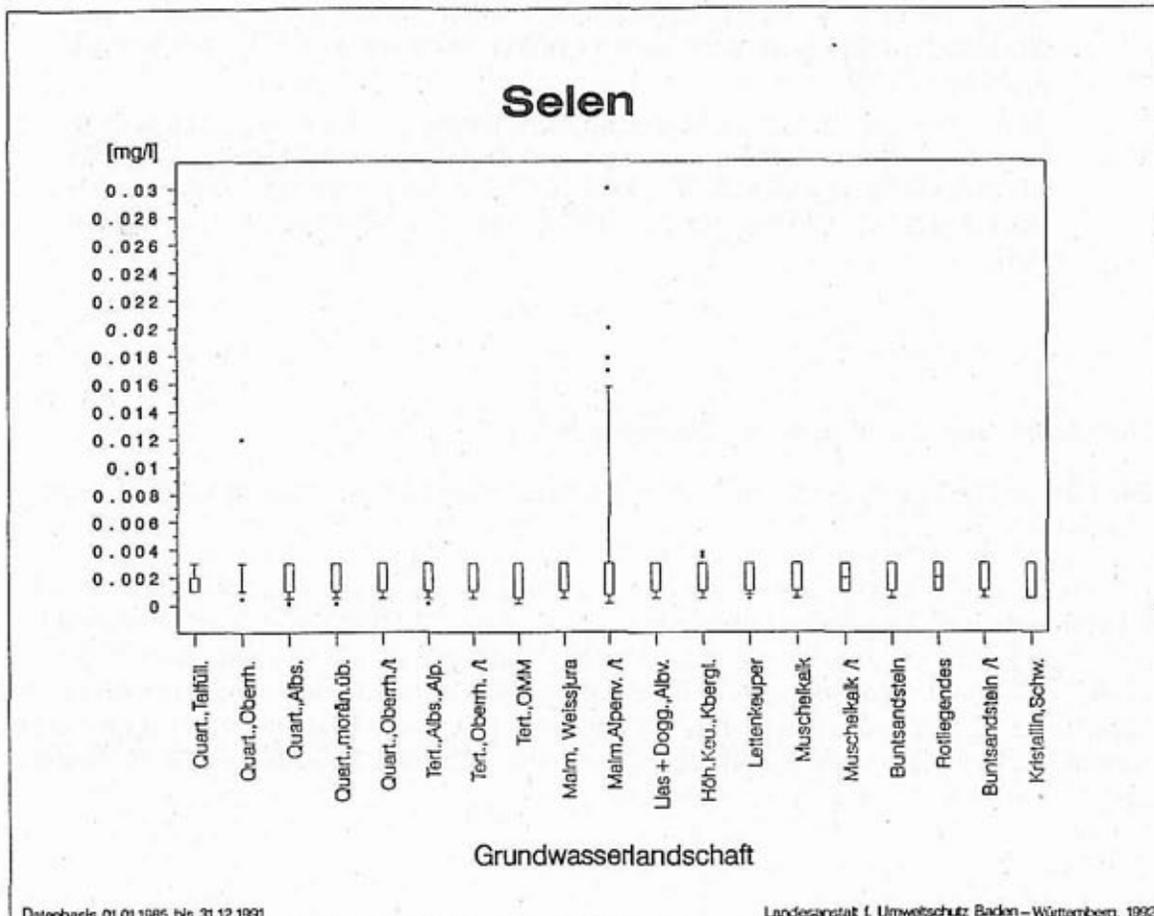
Die wenigen positiven Befunde im Basismessnetz bestätigen die Tatsache, daß der Naturraum der Bundesrepublik Deutschland ein Selenmangelgebiet ist.

Abb. 36: Statistische Kennzahlen - Selen

SELEN [mg/l]

BG = 0.003 (0.001/0.0005/0.0001) mg/l Se

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	4	<0.00300	<0.00300	<0.00200	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	4	14	0.01200	0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	45	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050	<0.00010
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	6	24	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050	<0.00010
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	27	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050	<0.00050
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	49	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050	<0.00010
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	7	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050	<0.00050
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	23	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00050	<0.00010	<0.00010
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	66	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050	<0.00050
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	9	46	0.03000	0.01570	<0.00300	<0.00300	<0.00070	<0.00010	<0.00010
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	17	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050	<0.00050
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	16	123	0.00380	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050	<0.00050
LEITENKEUPER	2	10	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00075	<0.00050
MUSCHELKALK	8	35	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050	<0.00050
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	2	<0.00300	—	—	—	—	—	<0.00100
BUNTSANDSTEIN	17	117	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050	<0.00050
ROTLIEGENDES	1	2	<0.00300	—	—	—	—	—	<0.00100
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	2	5	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00100	<0.00050	<0.00050
KRISTALLIN, Schwarzwald	10	64	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00050	<0.00050	<0.00050



4.26.9 Zink

Allgemeines

Zink (Zn) kommt in der Natur relativ häufig vor.

Wichtige Minerale sind: Zinkblende (Sphalerit, ZnS), Zinkspat (edler Galmei, Smithsonit, $ZnCO_3$), Kieselzinkerz (gemeiner Galmei, $Zn_4(OH)_2Si_2O_7 \cdot H_2O$), Rotzinkerz (ZnO). Hauptsächlich als Zinkblende (ZnS) bildet Zink Erzlagerstätten. Zink kann Fe und Mg in den Silikatgittern von Mineralen ersetzen. Zinkblende kommt häufig in Erguß- und metamorphen Gesteinen vor (Schröter, Lautenschläger & Bibrack, 1978; Merian u.a., 1984).

Zink ist häufig mit Blei und Cadmium gemeinsam vorzufinden (Merian u. a., 1984). Kohle, Bitumen und Öl enthalten höhere Mengen an Zink. Kloke (zit. in LfU, 1989d) bezeichnet 3-50 mg/kg Zn als häufigen Konzentrationsbereich in Kulturböden, tolerierbar sind bis zu 300 mg/kg Zn.

Zink findet sich in natürlichen Wässern nur gelegentlich und in geringen Spuren unter 0,02 mg/l Zn (Hütter, 1984). Der Zinkgehalt des Grundwassers wird überwiegend von der Zn-Verfügbarkeit im Untergrund bestimmt, weniger von der Löslichkeit der jeweiligen Zinkverbindung.

Im Bereich von Erzgängen ist der Zn-Gehalt oft erhöht (z.B. Quelle im Harz 3,4 mg/l). Fauth u. a. (1985) beschreiben erhöhte Zinkkonzentrationen in den Bachwässern und Bachsedimenten zwischen Karlsruhe und Wiesloch und im Südschwarzwald.

In der TrinkwV ist kein Zn-Grenzwert mehr festgelegt, da Zn im Trinkwasser in toxikologisch unbedeutenden Mengen vorkommt und die Bedeutung des Zinks als essentieller Spurenstoff diskutiert wird. Der neu eingeführte Richtwert beträgt 5 mg/l Zn. Die alte TrinkwV (1986) sah einen Grenzwert von 2 mg/l Zn vor.

Die Zinkkonzentrationen im Basismeßnetz

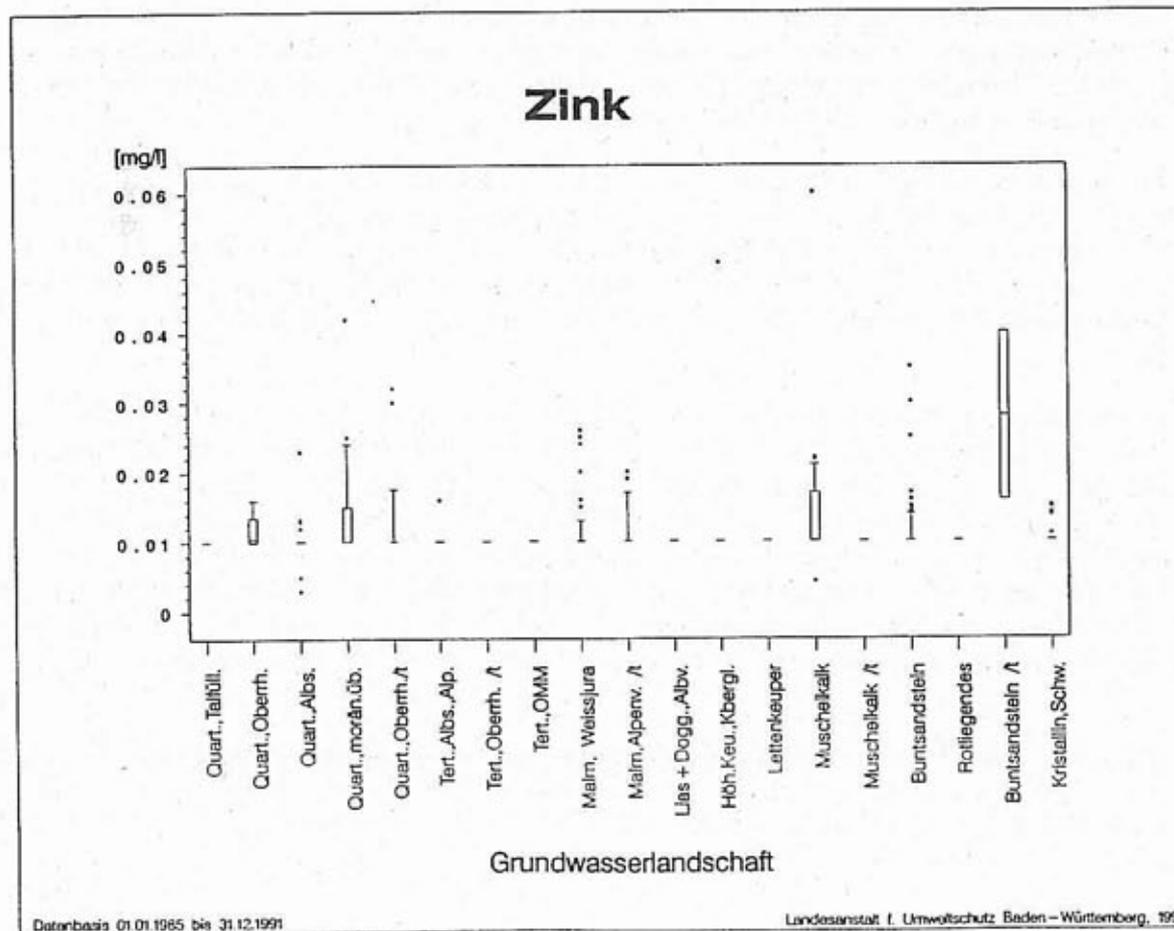
Die häufige Nachweisbarkeit von Zink in den Grundwasserlandschaften bestätigt das ubiquitäre Vorkommen von Zink.

Die im Kristallin gemessenen Extremwerte sind auf Analysen an einer Meßstelle im Südschwarzwald zurückzuführen. Die hier liegende Basismeßstelle erhält über einen Stollen Wasser aus einem klüftigen Granitgebiet, in dem auch Erzgänge vorzufinden sind (Blei-Zinkerzgänge mit Quarz, Schwerspat, Bleiglanz, Flußspat, lt. Geologischem Gutachten des GLA Baden-Württemberg, 1987). Hier liegt eine für das Grundwasser in diesem Gebiet typische Anreicherung an Blei, Chrom, Zink und Fluorid vor, deren Konzentrationen aber die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung nicht überschreiten.

Abb. 37: Statistische Kennzahlen - Zink

ZINK [mg/l] BG = 0.010 (0.003) mg/l Zn

GRUNDWASSERLANDSCHAFT	HST	ANA	MAXIMUM	P90	P75	MEDIAN	P25	P10	MINIMUM
QUARTÄR, Talfüllungen	1	4	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
QUARTÄR, Oberrhein/ Kiese u.Sande	2	4	0.01600	0.01600	0.01350	0.01050	<0.01000	<0.01000	<0.01000
QUARTÄR, Albsüdrand/Kiese u.Sande	6	49	0.02300	0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.00300
QUARTÄR, moränenüb./Kiese u.Sande	5	28	0.04200	0.02400	0.01500	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
QUARTÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	4	25	0.03200	0.01750	0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
TERTIÄR, Albsüdrand, Alpenvorland	7	57	0.01600	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
TERTIÄR, Oberrhein/tiefe Aquifere	1	7	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
TERTIÄR, Obere Meeresmolasse	4	26	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
MALM, Weissjura, Schwäbische Alb	11	74	0.02600	0.01300	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
MALM, Alpenvorland/tiefe Aquifere	5	25	0.02000	0.01700	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
LIAS und DOGGER, Albvorland	3	18	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
HÖHERER KEUPER, Keuperbergland	15	111	0.05000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
LETTENKEUPER	2	10	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
MUSCHELKALK	6	31	0.06000	0.02100	0.01700	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.00300
MUSCHELKALK /tiefe Aquifere	1	2	<0.01000	—	—	—	—	—	<0.01000
BUNTSANDSTEIN	17	116	0.03500	0.01400	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000
ROTLIEGENDES	1	1	<0.01000	—	—	—	—	—	<0.01000
BUNTSANDSTEIN /tiefe Aquifere	1	2	0.04000	—	—	—	—	—	0.01600
KRISTALLIN, Schwarzvald	10	64	0.01500	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000	<0.01000



4.27 Organische Spurenstoffe

Im Basismeßnetz sind bisher folgende grundwasserfremde organische Spurenstoffe und Stoffgruppen untersucht worden:

- **Phenole (als Phenolindex)**
- **Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)**
- **Kohlenwasserstoffe (KW)**
- **Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)**
- **Adsorbierbare organisch gebundene Halogenverbindungen (AOX)**
- **Benzol, Toluol, Xylol (BTX)**
- **Polychlorierte Biphenyle (PCB)**
- **Pentachlorphenole (PCP)**
- **Hexachlorcyclohexan (HCH)**
- **Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PBSM)**

Tab. 3 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen und stellt diese den Befunden im seinerzeitigen Grobrastermeßnetz gegenüber, das auch anthropogen vielfältig beeinflusste Grundwässer erfaßt. Für beide Teilmeßnetze ist die Anzahl der vorgenommenen Analysen (Anzahl n) der Anzahl der positiven Befunde ($n > BG$) gegenübergestellt.

Im Basismeßnetz sind nicht nachweisbar: cis-1,2-Dichlorethen, KW (gelöst und emulgiert), BTX, PCB, PCP und HCH. Nur wenige positive Befunde wurden erwartungsgemäß im Basismeßnetz bei den PBSM, den LHKW und den PAK festgestellt. Die Gegenüberstellung zu den Analysen im Grobrastermeßnetz mit einer weit höheren Anzahl von positiven Befunden bestätigt das Aufbaukonzept für das Grundwasserbeschaffenheitsmeßnetz in Baden-Württemberg.

Die meisten der positiven LHKW-Befunde im Basismeßnetz entsprechen der jeweiligen Bestimmungsgrenze (Wert= BG). Von den 56 positiven LHKW-Befunden sind 44 Werte gleich der jeweiligen Bestimmungsgrenze, 10 weitere Analysenwerte liegen nur wenig darüber. Die meisten positiven Befunde gab es im Jahre 1985. Da für diese analytischen Untersuchungen das Head-Space-Verfahren angewendet wurde, dürften die Ergebnisse von 1985 größtenteils auf Laborkontamination beruhen. Ferner gibt es aus den weiteren Untersuchungen an den einzelnen Meßstellen kein einheitliches Tendenzbild für LHKW-Befunde nach 1985. Deshalb werden diese Meßstellen weiterhin detailliert beobachtet, auch im Hinblick auf atmogene LHKW-Einträge.

Auch die Pestizidbefunde liegen überwiegend im Bereich der Bestimmungsgrenze. Sie können auf PBSM-Anwendungen in der Forstwirtschaft und/oder auf atmogenem Eintrag beruhen. Die sechs Meßstellen mit wiederholt positiven Pestizidbefunden werden weiterhin detailliert untersucht.

Tab. 3: Positive Befunde von organischen Spurenstoffen im Basis- und Grobrastermeßnetz

		Basismeßnetz 113 Meßstellen, 1985-91				Grobrastermeßnetz 457 Meßstellen, 1989-91			
Parameter	Dim	Bestimmungs- grenzen (BG)	MESSWERTE			Bestimmungs- grenzen (BG)	MESSWERTE		
			Anzahl n	davon mit pos. Befund > BG 1)			Anzahl n	davon mit pos. Befund > BG 1)	
				abs.	in %			abs.	in %
AOX	mg/l	0,005/0,01	117	2	1,7	0,001/0,004/0,01	1334	390	29,2
Σ4 LHKW (TrinkwV)	mg/l	0,0001/0,01/0,02	876	56	6,4	0,0001/0,01/0,02	1246	530	42,5
Trichlorethen	mg/l	0,0001/0,001	879	9	1,0	0,0001/0,001	1275	391	30,6
Tetrachlorethen	mg/l	0,0001/0,001	879	26	3,0	0,0001/0,001	1273	458	36,0
cis-1,2-Dichlorethen	mg/l	0,005/0,02	850	0	0,0	0,001/0,02	984	35	3,6
KW (gel. + emul.)	mg/l	0,005	347	0	0,0	0,01/0,1	287	73	25,4
Phenolindex	mg/l	0,005	530	108	20,4	—	n. b.	—	—
Σ6 PAK (TrinkwV)	µg/l	0,001/0,05	669	40	6,0	0,001/0,05	596	126	21,1
16 PAK n. EPA	µg/l	0,001/0,05	10399	158	1,5	0,001/0,02	2907	277	9,5
BTX	µg/l	5,0/10,0	1561	0	0,0	5,0/10,0	176	1	0,5
6 PCB	µg/l	0,02/0,05	2266	0	0,0	0,01/0,02/0,03/0,05	1436	12	0,8
PCP	µg/l	0,02/0,1	260	0	0,0	—	n. b.	—	—
5 HCH	µg/l	0,01/0,05	2053	0	0,0	—	n. b.	—	—
6 PBSM*)	µg/l	0,01/0,02/0,05	3500	36	1,0	0,01/0,02/0,05	6510	864	13,3

1) BG = Bestimmungsgrenze

*) Insgesamt wurde auf ca. 60 PBSM untersucht

6 PBSM = Atrazin, Simazin, Desethylatrazin, Terbutylazin, Metolachlor, Metazachlor

Auffällig ist die Häufigkeit positiver Phenol- und PAK-Befunde im Basismeßnetz. Die TrinkwV (05.12.90) sieht für Phenole erstmals einen Grenzwert vor. Der Phenolindex wird im Grundwasserüberwachungsprogramm als summarischer Screeningparameter verwendet, er erfaßt synthetische und natürliche Phenole. Aus dem derzeitigen Stand der Forschung ist bekannt, daß Phenole und polychlorierte aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) auch natürlichen Ursprungs sein können (Frimmel, 1991; Borneff & Kunte, 1991). "Normale" PAK-Konzentrationen in Grundwässern betragen 0,01 - 0,05 µg/l. Das Vorkommen von PAK in Erdöl, Algen, Bakterien und höheren Pflanzen verweist auf eine biologische Synthese (DVGW, 1985).

Die an wenigen Meßstellen positiven Befunde von PAK und Phenolen liegen meist in den Beprobungsrunden der Jahre 1987 und 1989. 1988 konnten keine positiven Befunde festgestellt werden. Insbesondere im Herbst 1987 ist eine Ansammlung von positiven Befunden zu erkennen. Die positiven PAK-Befunde können z.B. durch Holzverbrennungen im Einzugsgebiet oder durch atmosphären Eintrag (z.B. aus Hausbrand) verursacht sein. In einem Teil der Grundwasserlandschaften mit positiven PAK- und Phenolbefunden existieren auch bitumenhaltige Gesteinshorizonte, so daß dies auch auf eine natürliche Herkunft schließen läßt. Phenole können auch durch natürliche biochemische Umsetzungen im Boden und der Streuschicht (Holz- und Laubbau) entstehen. An einigen Meßstellen mit erhöhten Phenolgehalten konnte ein zeitliches Zusammenfallen mit erhöhten Konzentrationen von O₂, DOC, SO₄, NO₃, NH₄ und größeren Quellschüttungen festgestellt werden. Dies verweist auf die witterungsbedingte Einschwemmung mit schnell versickertem Wasser. Diese Meßstellen werden detaillierter untersucht werden.

Das relativ häufige Auftreten verschiedener organischer Spurenstoffe im Basismeßnetz darf einerseits nicht überbewertet werden, denn die Befunde liegen im Bereich der Bestimmungsgrenze. Auch treten einige dieser Stoffe infolge natürlicher Prozesse ohne menschliche Einwirkung auf. Andererseits verweist dies auf die Problematik, in der heutigen Zeit, in der Problemstoffe ubiquitär auftreten, überhaupt noch gänzlich unberührte Grundwässer für ein Basismeßnetz finden zu können.

5 Ausblick

Meßnetzabrundung

Einige Grundwasserlandschaften werden beim heutigen Ausbaustand des Basismeßnetzes nicht oder nicht angemessen repräsentativ erfaßt. Deshalb soll im Rahmen des Aufbaukonzeptes bis 1996 das Basismeßnetz um einige Meßstellen erweitert werden. Auch sind weitere Meßstellen auf ihre Tauglichkeit intensiv zu erkunden und ggf. auszutauschen.

Aufgrund der Bedeutung des Oberrheingrabens als Trinkwasserreservoir wird insbesondere dort eine Ausweitung des Basismeßnetzes angestrebt. Allerdings ist es aufgrund der hohen Besiedlungsdichte und der intensiv betriebenen Landwirtschaft fraglich, ob geeignete Grundwässer ohne deutliche direkte anthropogene Beeinflussung gefunden werden können.

Beprobungsrhythmus

Das Basismeßnetz umfaßt auch 70 Quellen. Bei den hierfür vorhandenen Analysenergebnissen ist die zumindest zeitweilige Abhängigkeit der Konzentrationen einiger Wasserinhaltsstoffe von der jahreszeitlich unterschiedlichen Quellschüttung erkennbar. Diese wurden bis 1990 durch die zweimal jährlich im Frühjahr und im Herbst durchgeführten Beprobungen erfaßt. Seit 1991 wird das Basismeßnetz nur noch einmal im Herbst beprobt. Dies genügt gerade bei Quellen im Festgestein mit jahreszeitlich stark schwankenden Schüttungsmengen keinesfalls dem fachlich gebotenen Informationsbedarf. Auch werden die zeitweise gerade im Frühjahr wirksamen Versauerungsschübe, die von wasserwirtschaftlicher und ökologischer Relevanz sind, nicht erfaßt. Deshalb wurde Anfang 1994 der zweimalige Beprobungsrhythmus pro Jahr bei den Meßstellen mit Versauerungstendenzen wiederaufgenommen.

Die Versauerung ist offenbar nicht nur durch anorganische sondern auch durch organische Säuren verursacht. Die Ursachenklärung (geogen, pedogen und/oder atmogen) erfordert meßstellenspezifische Untersuchungen mit größerer zeitlicher Auflösung unter Berücksichtigung von qualitativen und quantitativen Messungen zur Menge und Beschaffenheit von Deposition und Sickerwasser. Deshalb werden meßstellenspezifische Sonderuntersuchungen in kürzeren Abständen vorgenommen. An Meßstellen mit wiederholt positiven Befunden von eindeutig grundwasserfremden Substanzen oder mit relativ hohen Nitratwerten werden ebenfalls Sonderuntersuchungen durchgeführt. Die dann dichtere Datengrundlage liefert Hinweise für die Ursachenermittlung, für die Diskussion über den Verbleib dieser Meßstellen im Basismeßnetz bzw. für die Weiterführung dieser Meßstellen als Trendmeßstellen.

Berichtszyklus

Eine aktualisierte Überarbeitung des vorliegenden Berichts ist für 1996 vorgesehen. Weitere Berichte über auffällige Basismeßstellen mit Nitratbelastungen, niedrigen pH-Werten und einzelnen positiven PBSM- und LHKW-Befunden folgen.

6 Literaturverzeichnis

ADAM, EVERS & LITTEK 1987

ADAM, K., EVERS, F.H. & LITTEK, TH. (1987): Ergebnisse niederschlagsanalytischer Untersuchungen in südwestdeutschen Wald-Ökosystemen 1981-1986.- In: PROJEKT EUROPÄISCHES FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MASSNAHMEN ZUR LUFTREINHALTUNG (PEF) IM KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE (Hrsg.): Forschungsbericht KfK-PEF 24, 119 S.

AGSTER 1984

AGSTER, G. (1984): Vergleich des Wasser- und Stoffhaushalts in einem Nadel- und Laubwaldgebiet des Schönbuchs.- Symposium "Wald und Wasser", Grafenau (Bay. Wald) 02.-05.09.1984.

AURAND u. a. 1980

AURAND, K., HÄSSELBARTH, U., MÜLLER, G. (Hrsg.), WOLTER, R. & BIERMANN, H. (Bearb.) (1980): Atlas zur Trinkwasserqualität der Bundesrepublik Deutschland.- Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 173 S.

BAUMANN & BRAMM 1976

BAUMANN, H. & BRAMM, A. (1976): Einflüsse der Abwasserbehandlung auf oberflächennahes Grundwasser.- Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Ges., 23: 191-199.

BORNEFF & KUNTE 1991

BORNEFF, J. & KUNTE, H. (1991): Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe. - In: AURAND, K., HÄSSELBARTH, U., LANGE-ASCHEFELDT, H. & STEUER, W. (Hrsg.): Die Trinkwasserverordnung. - 3. neubearbeitete Auflage, Erich Schmidt Verlag: 275-284.

BRÜMMER 1975

BRÜMMER, G. (1975): Phosphormobilisierung unter reduzierenden Bedingungen.- Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Ges. 18: 175-177.

BUNDESMINISTER DER JUGEND, FAMILIE, FRAUEN und GESUNDHEIT 1990

BUNDESMINISTER DER JUGEND, FAMILIE, FRAUEN und GESUNDHEIT (1990): Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung - TrinkwV) vom 05.12.1990, Bundesgesetzblatt Jahrgang 1990, Teil 1, Tag der Ausgabe: Bonn d. 12.12.1990: 2612-2629.

DEV

DEV - DEUTSCHES EINHEITSVERFAHREN ZUR WASSER-, ABWASSER- UND SCHLAMMUNTERSUCHUNG: Herausgegeben von der Fachgruppe Wasserchemie der Ges. Dt. Chemiker, Weinheim/Bergstraße, Verlag Chemie.

DVGW 1985

DVGW - DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES e.V. (1985): Daten und Informationen zu Wasserinhaltsstoffen.- DVGW-Schriftenreihe Wasser 48, Teil 1, 338 S.

DVGW 1988

DVGW - DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES e.V. (1988): Daten und Informationen zu Wasserinhaltsstoffen.- DVGW-Schriftenreihe Wasser 48, Teil 2, 272 S.

DVWK 1988

DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (Hrsg.) (1988): Bedeutung ökologischer Vorgänge für die Beschaffenheit des Grundwassers.- DVWK-Schriften 80, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.

DVGW & DVWK 1991

DVGW - DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES e.V. & DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (Hrsg.) (1991): Zustandsbeschreibung des Grundwassers. - DVGW/DVWK-Positionspapier, DVGW/DVWK-Kolloquium 12.11.1991, Karlsruhe, 74 S.

EVERS & KREBS 1990

EVERS, F. H. & KREBS, A. (1990): Wirkung saurer Niederschläge auf geschädigte und ungeschädigte Wald-ökosysteme sowie Prüfung waldbaulicher Maßnahmen zum Objektschutz.- Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abt. Bodenkunde und Waldernährung, Freiburg, 65 S. u. 32 S. Anhang, unveröffentlichter BMFT-Bericht.

FAST & SAUER 1958

FAST, H. & SAUER, K. (1958): Die chemische Zusammensetzung südbadischer Grundwässer, Herkunftsfragen und Versuch einer Typologie.- Vom Wasser 25: 48-81.

FAUTH u. a. 1985

FAUTH, H., HINDEL, R., SIEWERS, U. & ZINNER, J. (1985): Verteilung von Schwermetallen in Wässern und Bachsedimenten.- In: BGR - BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (Hrsg.): Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland.- Hannover, Schweizerbarth'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 79 S.

FEGER 1986

FEGER, K. - H. (1986): Biogeochemische Untersuchungen an Gewässern im Schwarzwald unter besonderer Berücksichtigung atmogener Stoffeinträge.- Freiburger Bodenkundliche Abh. 17, 253 S.

FRIMMEL 1978

FRIMMEL, F.H. (1978): Die Aussagekraft der Pufferkapazität verschiedener Wässer.- Hydrochem. hydrogeol. Mitt. 3: 57-74.

FRIMMEL 1991

FRIMMEL, F. H. (1991): Aus analytischer Sicht verunglückte Parameter in der TrinkwV. - In: AURAND, K., HÄSSELBARTH, U., LANGE-ASCHENFELDT, H. & STEUER, W. (Hrsg.): Die Trinkwasserverordnung. - 3. neubearbeitete Auflage, Erich Schmidt Verlag: 438-453.

FÜRST & MEERHEIM 1983

FÜRST, M. & MEERHEIM, H. (1983): Grundwasser und Umweltforschung.- Verhandlungen der Ges. f. Ökologie Bd. X: 451-456.

FUHRMANN & GRIMM-STRELE 1986

FUHRMANN, P. & GRIMM-STRELE, J.: Darstellung des Grundwasserbeschaffenheitsmeßnetzes.- In: MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Weiterbildung Informationstechnik, Heft 2: 35-51.

GEIGER 1988

GEIGER, K. (1988): Hydrologie und Wasserwirtschaft im Markgräflerland.- In: WASSERWIRTSCHAFTS-VERBAND BADEN-WÜRTTEMBERG e.V. (Hrsg.): Mitteilungen 1988: 10-14.

GEYER & GWINNER 1986

GEYER, O. & GWINNER, M. (1986): Geologie von Baden-Württemberg.- 3. neubearbeitete Auflage, Schweizerbarth'sche Verlagsbuchhandlung, 472 S.

GLA & LfU 1977

GLA - GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG & LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG UNTER MITARBEIT DES REGIERUNGSPRÄSIDIUMS FREIBURG (1977): Oberrheingebiet: Bereich Kaiserstuhl-Markgräflerland. - In: MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT & MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, MITTELSTAND UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Hydrogeologische Karte Baden-Württemberg.- Freiburg i.Brsg., 64 S.

GLA & LfU 1985

GLA - GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG & LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1985): Grundwasserlandschaften. - In: MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND FORSTEN & MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT,

MITTELSTAND UND TECHNOLOGIE BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Hydrogeologische Karte Baden-Württemberg.- Freiburg i.Brsg., 11 S.

GRAHMANN 1958

GRAHMANN, R. (1958): Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung.- In: GRAHMANN, R. (Hrsg.): Das Wasserdargebot in der Bundesrepublik Deutschland.- Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 105, Teil II, Selbstverlag der Bundesanstalt für Landeskunde, Remagen/Rhein, 198 S.

GRIMM-STRELE & FEUERSTEIN 1991

GRIMM-STRELE, J. & FEUERSTEIN, W. (1991): Hintergrundwerte aus Grundwasserbeschafftheits-Meßnetzen als Entscheidungshilfen für Sanierungsanordnungen?- In: LÜHR, H.P. & LUCKNER, L. (Hrsg.): Umwelttechnologieforum (UTECH) 1991 (4.-10.02.1991, ICC-Berlin) - Kongreß Grundwassersanierung - Sanierungs- und Reinigungsziele. - IWS - Schriftenreihe 11, Erich Schmidt Verlag, Berlin: 61-88.

GRIMM-STRELE, BARUFKE & FEUERSTEIN 1993

GRIMM-STRELE, J., BARUFKE, K. - P. & FEUERSTEIN, W. (1993): Stoffliche Charakterisierung von Grundwasserlandschaften zur Ableitung von Referenzwerten. In: LÜHR, H.P. (Hrsg.): Umwelttechnologieforum (UTECH) 1993 - Kongreß Grundwassersanierung - Rechtspraxis, Kommunale Aufgaben, Praxisbeispiele. - IWS - Schriftenreihe 18, Erich Schmidt Verlag, Berlin: 43 - 58.

HEM 1970

HEM, J.D. (1970): Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water.- Geol. surv. water supply pap. 1473, 362 S.

HOFFMANN u. a. 1981

HOFFMANN, G., SCHWEIGER, P., SCHOLL, W. & SCHMID, R. (1981): Grundbelastung der Böden von Baden-Württemberg mit Schwermetallen. - Tagungsband - VDLUFA-Kongreß 14.09.-19.09.1981 - Trier, 22 S.

HÖLL 1979

HÖLL, K. (1979): Wasser.- 6. Auflage, Walter de Gruyter Verlag, Berlin, New York, 515 S.

HÖLTING 1989

HÖLTING, B. (1989): Hydrogeologie - Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. - Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 3. Auflage, 396 S.

HÖLTING 1991

HÖLTING, B. (1991): Geogene Grundwasserbeschafftheiten und ihre regionale Verbreitung in der Bundesrepublik Deutschland. - In: ROSENKRANZ, D., EINSELE, G. & HARRESS, H.-M. (Hrsg.): Bodenschutz. - 6. Lieferung I/91, 35 S., Erich Schmidt Verlag, Berlin.

HÖLTING, KANZ & SCHULZ (1982)

HÖLTING, B., KANZ, W. & SCHULZ, H.-D (1982): Geohydrochemie im Buntsandstein der Bundesrepublik Deutschland - Statistische Auswertung von Grundwasseranalysen. - In: DVWK (Hrsg.): Auswertung Hydrochemischer Daten. - Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Heft 54, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin: 85-193.

HÜTTER 1984

HÜTTER, L. A. (1984): Wasser und Wasseruntersuchung.- Laborbücher Chemie, 2. Auflage, Diesterweg Salle Sauerländer Verlage, Frankfurt/M., Berlin, München, Salzburg, 344 S.

JUBELT & SCHREITER 1980

JUBELT, R. & SCHREITER, P. (1980): Gesteine.- 5. überarb. Auflage, 198 S.

KELLER u. a. 1979

KELLER, R. (Gesamtleitung), DE HAAR, U., LIEBSCHER, H.-J., RICHTER, W. & SCHRIMER, H. (1979): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland.- Textband, Harald Boldt Verlag, Boppard, 365 S.

KLOKE 1986

KLOKE, A. (1986): Grundlagen für tolerierbare Gehalte von Schwermetallen in Böden.- In: "Forum Bodenschutz" des Landes Baden-Württemberg. - Stuttgart: 116-137.

KÖHLER 1992

KÖHLER, W.-R. (1992): Beschaffenheit ausgewählter, nicht direkt anthropogen beeinflusster oberflächennaher und tiefer Grundwasservorkommen in Baden-Württemberg. - Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe C, Hydro-, Ingenieur- und Umweltgeologie Nr. 10, 144 S.

KÖHLER, FEUERSTEIN & GRIMM-STRELE 1989

KÖHLER, W.-R., FEUERSTEIN, W. & GRIMM-STRELE, J. (1989): Auswirkungen der Versauerung auf gering mineralisierte Grundwässer der Basismessstellen in Baden-Württemberg.- Symposium "Gewässerversauerung in Baden-Württemberg", Stuttgart 27.-28.11.1989, Tagungsband: 19-20.

KOELLE u. a. 1983

KOELLE, W., WERNER, P., STREBEL, O. & BÖTTCHER, J. (1983): Denitrifikation in einem reduzierenden Grundwasserleiter.- Vom Wasser 61: 125-147.

Leuchs, W. & Friege, H. 1990

Leuchs, W. & Friege, H. (1990): Hintergrundwerte nordrhein-westfälischer Grundwässer. - In: Ahrend, S., Hinzenveld, M., van den Bring, W. J. (Hrsg.): 3. Int. KfK/TNO Kongreß Altlastensanierung 10.-14.10.1990, Karlsruhe: 267 - 268.

LfU 1988

LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (1988): Die räumliche Verteilung von Luftschadstoffen in Baden-Württemberg. - LfU-Bericht 118/88, Karlsruhe, 68 S.

LfU 1989a

LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1989a): Grundwasserüberwachungsprogramm: Konzept und Grundsatzpapiere.- In: BEIRAT "ERFASSUNG UND ÜBERWACHUNG DER GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT" BEIM MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg - Teil 2, 2.4 Grundwassermeßnetz.- Karlsruhe.

LfU 1989b

LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1989b): Immissionsökologisches Wirkungskataster Baden-Württemberg - Jahresbericht 1988. - Karlsruhe, 214 S.

LfU 1989c

LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1989c): Ökologische Aspekte der Luftqualität in Baden-Württemberg - Statusbericht 1987/88.- Karlsruhe, 113 S.

LfU 1989d

LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (1989d): Grenzwerte und Richtwerte für die Umweltmedien Luft, Wasser, Boden.- Karlsruhe, 76 S.

LfU 1989e

LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (1989e): Wärmeeintrag eines Gewässers in das Grundwasser am Beispiel des Neckars.- Karlsruhe.

LfU 1990

LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1990): Schwermetallgehalte von Böden aus verschiedenen Ausgangsgesteinen in Baden-Württemberg.- Karlsruhe, 14 S.

LfU 1991

LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1991): Grundwasserüberwachungsprogramm: Projektbericht 1991. - Karlsruhe, 51 S.

LfU 1992

LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (in Zusammenarbeit mit dem Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe) (Hrsg.) (1992): Grundwasserüberwachungsprogramm: Pilotprojekt Karlsruhe. - Karlsruhe, 153 S.

LfU & GLA 1987

LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG & GLA - GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1987): Erste Ergebnisse aus dem Basismeßnetz 1985/86.- In: MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg - Teil 6.2, Berichte zur Grundwasserbeschaffenheit.- Karlsruhe, 78 S.

LfU & GLA 1990

LfU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG & GLA - GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1990): Grundwasserüberwachungsprogramm: Analysenergebnisse der Basismeßstellen 1986-1989.- In: MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg.- Teil 5.4, Meßdaten Grundwasserbeschaffenheit.- Karlsruhe.

MATTHESS 1973, 1990

MATTHESS, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers.- In: RICHTER, W.: Lehrbuch der Hydrologie.- Band 2, Gebrüder Bornträger Verlag, Berlin, Stuttgart, 324 S., überarbeitete Neuauflage 1990, 498 S.

MATTHESS & HAMANN 1966

MATTHESS, G. & HAMANN, K. (1966): Biogene Schwankungen des Sulfatgehaltes von Grundwässern.- Gas- und Wasserfach 107: 480-484.

MEESENBURG 1987

MEESENBURG, H. (1987): Acid deposition in the Black Forest: An overview.- In: MOSELLO, R. & MARGARITIS, B. (Hrsg.): Atti del Simposio: Deposizioni Acide - um Problema per Aque e Forste.- Documenta Ist. Ital. Idrobiol. 14: 143-154.

MEESENBURG & MÜLLER 1990

MEESENBURG, H. & MÜLLER, H.E. (1990): Simulation des Stofftransportes im Sickerwasser, Interflow und Bachwasser basenarmer Einzugsgebiete des Nordschwarzwaldes.- PWAB-Projekt PW 89.076-Zwischenbericht 1989/90, 18 S., unveröffentlicht.

MERIAN u. a. 1984

MERIAN, E. (Hrsg.), GELDMACHER, V., MALLINCKRODT, M., MACHATA, G., NÜRNBERG, H.-W., SCHLIPKÖTER, H. W & STUMM, W. (1984): Metalle in der Umwelt.- Verlag Chemie GmbH, Weinheim, 669 S.

MÜLLER, G., HAAMANN & NOE 1990

MÜLLER, G., HAAMANN, L. & NOE, K. (1990): Schwermetallgehalte in Böden des Rhein-Neckar-Raumes.- In: PWAB - PROJEKT WASSER-ABFALL-BODEN im KfK (KERN FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE) (Hrsg.): 2. Statuskolloquium 13.02.1990. - Bericht KfK-PWAB 5: 166-189.

MÜLLER, L., KAISER & OHNESORGE 1991

MÜLLER, L., KAISER, B. & OHNESORGE, F. K. (1991): Vorkommen und Bedeutung von Quecksilber. - In: AURAND, K., HÄSSELBARTH, U., LANGE-ASCHENFELDT, H. & STEUER, W. (Hrsg.): Die Trinkwasserordnung. - 3. neubearbeitete Auflage, Erich Schmidt Verlag: 438-453.

OHNESORGE 1982

OHNESORGE, F. K. (1982): Duldbare Konzentrationen von Nickel im Trinkwasser.- DVGW-Schriftenreihe Wasser 30, Eschborn, 60 S.

PUCHELT 1988

PUCHELT, H. (1988): Vorkommen und Bedeutung von Spurenelementen, insbesondere Schwermetallen, im Boden und im Grundwasser.- In: PWAB-PROJEKT WASSER-ABFALL-BODEN im KfK (KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE) (Hrsg.): 1. Statuskolloquium 23.02.1988. - Bericht KfK-PWAB 1: 62-72.

REGIONALVERBAND SÜDLICHER OBERRHEIN 1988

REGIONALVERBAND SÜDLICHER OBERRHEIN (1988): Oberflächengewässer.- Veröffentlichung des Regionalverbandes Nr. 15, Freiburg i.Brsg., 101 S.

RHEINHEIMER u. a. 1988

RHEINHEIMER, G., HEGEMANN, W., RAFF, J. & SEKOULOV, I. (1988): Stickstoffkreislauf im Wasser.- Oldenbourg Verlag, München, Wien, 394 S.

ROHMANN & SONTHEIMER 1985

ROHMANN, U. & SONTHEIMER, H. (1985): Nitrat im Grundwasser-Ursachen, Bedeutung, Lösungswege.- DVGW-Forschungsstelle im Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe, 468 S.

SCHEFFER u. a. 1982

SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., HARTGE, K.H., SCHWERTMANN, U., BRÜMMER, G. & RENGER, M. (1982): Lehrbuch der Bodenkunde.- 11. neubearb. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart 442 S.

SCHLEYER & KERNDORF 1992

SCHLEYER, R. & KERNDORFF, H. (1992): Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen. - VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim: 249 S.

SCHÖN, WRIGHT & KRIETER 1984

SCHÖN, R., WRIGHT, R. F. & KRIETER, M. (1984): Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland: Erster regionaler Überblick.- Naturwissenschaften 71: 95-97.

SCHRÖTER, LAUTENSCHLÄGER & BIBRACK 1978

SCHRÖTER, W., LAUTENSCHLÄGER, K.-H. & BIBRACK, H. (1978): Taschenbuch der Chemie.- 7. Auflage, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt/M., 598 S.

SCHULZ 1974

SCHULZ, H.D. (1974): Grundwasserqualität von bewaldeten und landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten.- Allgemeine Forstzeitschrift (AFZ) 29: 1079-1080.

SCHWOERBEL 1985

SCHWOERBEL, J. (1985): Einführung in die Limnologie.- Fischer Verlag, Stuttgart, 233 S.

STAHR & MONN 1990

STAHR, K. & MONN, L. (1990): Geogene Schwermetalle in Gesteinen der südwestdeutschen Schichtstufenlandschaft und ihrer Böden.- In: PWAB-PROJEKT WASSER-ABFALL-BODEN im KfK (KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE) (Hrsg.): 2. Statuskolloquium 13.02.1990. - Bericht KfK-PWAB 5: 205-206.

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 1989

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1989): Grund-, Quell- und Trinkwasserbeschaffenheit in Baden-Württemberg.- Statistisch-prognostischer Bericht 1987/88-Daten-Analysen-Perspektiven: 95-116.

TRINKwV 1990

TRINKwV - TRINKWASSERVERORDNUNG (1990): Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe vom 05.12.1990.- In: BUNDESMINISTER FÜR JUGEND, FAMILIE, FRAUEN UND GESUNDHEIT (1990): Bundesgesetzblatt.- Jahrgang 1990, Teil 1, Tag der Ausgabe: Bonn d. 12.12.1990.

UBA 1987

UBA - UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (1987): Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland, Teil I und II. - UBA-Texte 22/87, Berlin, 118 + 27 S.

VETTER & STEFFENS 1981

VETTER, H. & STEFFENS, G. (1981): Nährstoffverlagerung und Nährstoffeintrag in das oberflächennahe Grundwasser und Gülledüngung.- Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 22: 159-172.

ZEHNER 1990

ZEHNER, U. (1990): Grundwasseruntersuchungen in der südlichen Oberrheinebene - Unter Berücksichtigung der Uferfiltration.- Diplomarbeit am Lehrstuhl für physische Geographie und Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 72 S., unveröffentlicht.



Permagrundwasser:

- Quarter Mittlerer und Unterer Grundwasserleiter im Oberrheingraben (Raum Karlsruhe-Münchlingen, bis max. 300m Tiefe)
- Plätkin im nördlichen Oberrheingraben (bis über 400m Tiefe), dazu Übergangsböden im Spessart (bis 100m Tiefe)

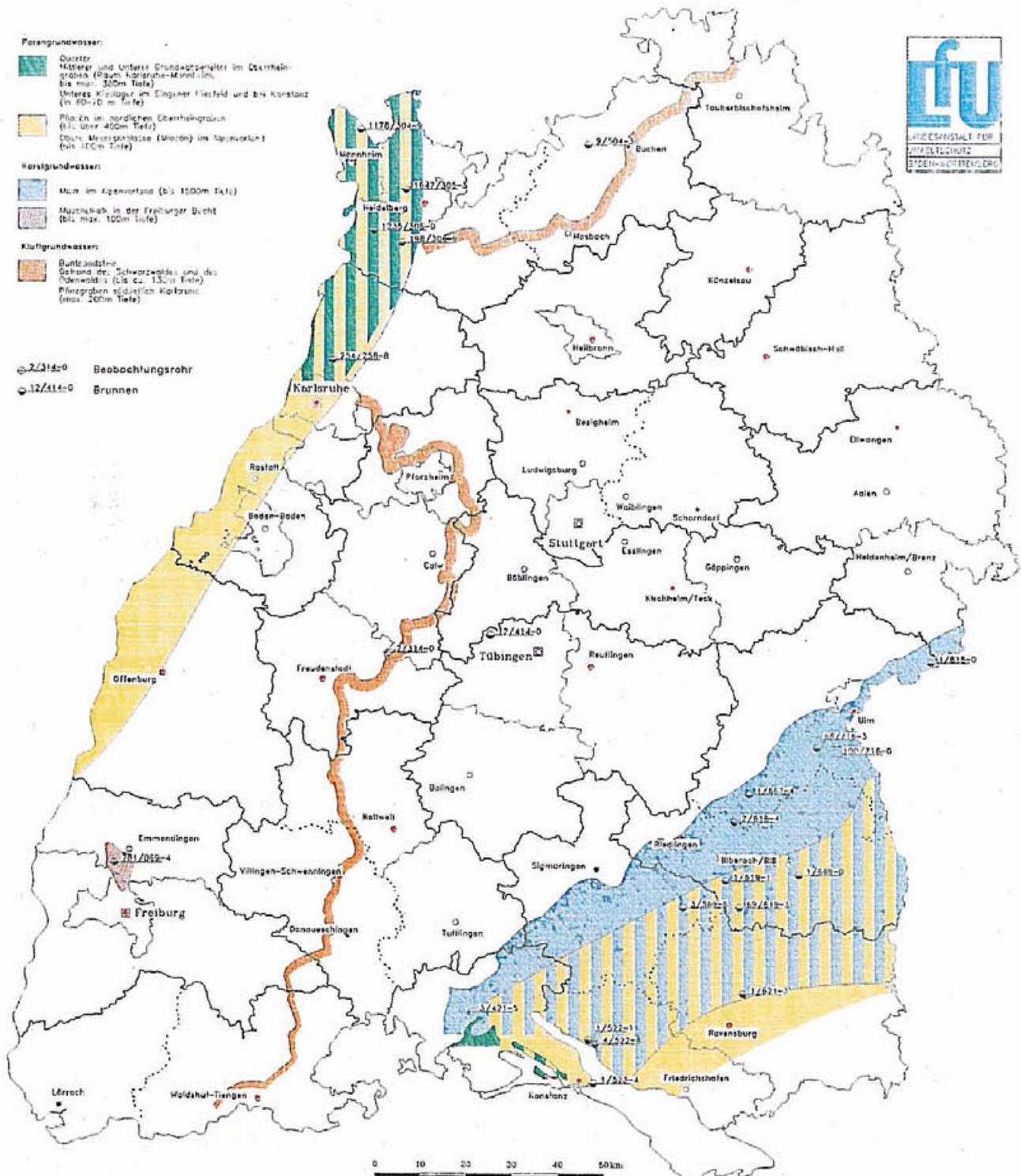
Karstgrundwasser:

- Muschel im Spessart (bis 1000m Tiefe)
- Muschel in der Freilager Bucht (bis max. 100m Tiefe)

Kluftgrundwasser:

- Buntsandstein-Schicht der Schwäbische und des Oberrheingraben (bis ca. 150m Tiefe)
- Plätkin südlich Karlsruhe (max. 300m Tiefe)

- 2314-0 Beobachtungsrohr
- 12114-0 Brunnen



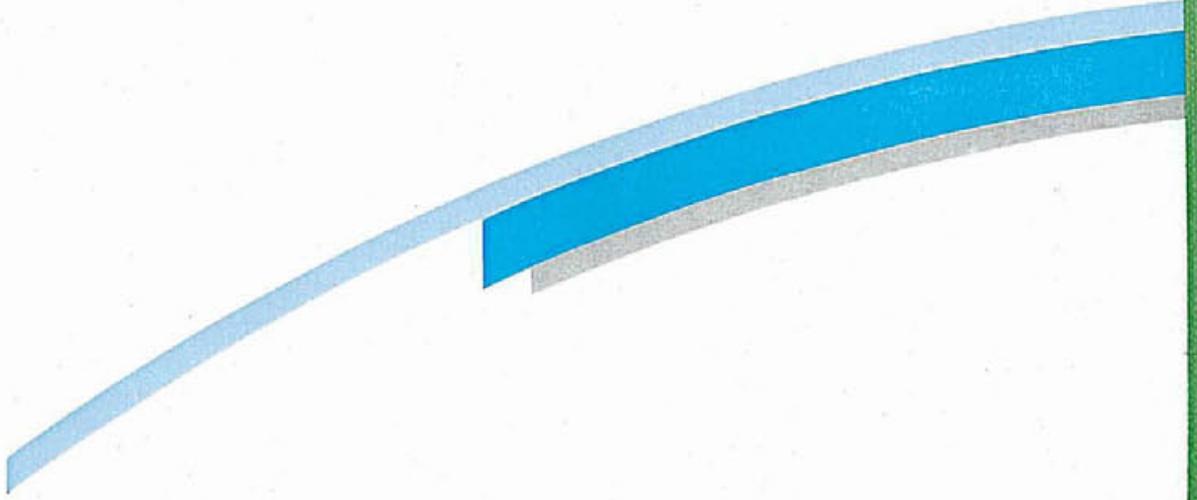
Grenzen:		Sitze:	
	Regierungsbezirk		
	WBA-Bezirk		
	WBA-Außenstelle		
	Land-/Stadtkreis		

Tiefe Grundwässer (nach HGK Grundwasserlandschaften) Basismessnetz 1993

**LANDESANSTALT F. UMWELTSCHUTZ
GEOLOGISCHES LANDESAMT
BADEN-WÜRTTEMBERG
GRUNDWASSERÜBERWACHUNGSPROGRAMM**

Stand 1993

©Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe



LANDESANSTALT FÜR
UMWELTSCHUTZ
BADEN-WÜRTTEMBERG