



Beschaffenheit natürlicher, ubiquitär überprägter Grundwässer

in Rheinland-Pfalz 2012



Bericht 2012



Beschaffenheit natürlicher, ubiquitär überprägter Grundwässer

in Rheinland-Pfalz

Projektleitung

Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB)

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG)

Bearbeitung:

Dr. Frank Bitzer, Lina Reinheimer (LGB)

Wolfgang Plaul (LUWG)

Mainz, August 2012

IMPRESSUM

Herausgeber: Landesamt für Geologie und Bergbau
Rheinland-Pfalz (LGB)
Emy-Roeder-Str. 5 • 55129 Mainz



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



Redaktion: Dr. Frank Bitzer (LGB)

Titelbild: Quellfassung Sippersfeld, LUWG

Digit. Kartografie: Nicholas Lüpnitz

Satz & Herstellung: LUWG

Auflage: 30 Exemplare

© August 2012

Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung der Herausgeber

Inhalt		
1	Zielsetzung der Untersuchung	7
2	Einflussfaktoren auf die Grundwasserbeschaffenheit	9
3	Vorgehensweise	10
3.1	Bisherige Ansätze	10
3.2	Datengrundlage	10
3.3	Datenverarbeitung	11
3.3	Präselektion	12
4	Beschaffenheit der Grundwässer in Rheinland-Pfalz	14
4.1	Statistische Kennwerte	14
4.2	Charakterisierung der Grundwässer im Piper-Diagramm	14
4.3	Abschätzung der natürlichen, ubiquitären Komponente	15
5	Zusammenfassung	17
5.1	Hydrochemische Einheiten	17
5.2	Hauptinhaltsstoffe	17
5.3	Neben- und Spureninhaltsstoffe	18
5.4	Natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit	19
Literatur		20
Anhang 1: Hydrochemische Einheiten in Rheinland-Pfalz		22
Anhang 1.2: Hydrochemische Einheiten in Rheinland-Pfalz		24
Anhang 2: Charakterisierung der Grundwässer in Rheinland-Pfalz – Obere Grundwasserleiter –		32
Anhang 3: Beschaffenheit der Grundwässer in Rheinland-Pfalz – Obere Grundwasserleiter –		33
Anhang 3.1 Spezifische elektrische Leitfähigkeit (Lf)		34
Anhang 3.2 Gesamthärte (GH)		36
Anhang 3.3 Karbonathärte (KH)		38
Anhang 3.4 pH-Wert (pH)		40
Anhang 3.5 Calcium (Ca)		42
Anhang 3.6 Chlor (Cl) – Chlorid		44
Anhang 3.7 Kohlenstoff (C) – Hydrogenkarbonat		46
Anhang 3.8 Kalium (K)		48
Anhang 3.9 Magnesium (Mg)		50
Anhang 3.10 Natrium (Na)		52
Anhang 3.11 Stickstoff (N) – Nitrat		54
Anhang 3.12 Schwefel (S) – Sulfat		56
Anhang 3.13 Bor (B)		58
Anhang 3.14 Eisen (Fe)		60

Anhang 3.15	Fluor (F)	62
Anhang 3.16	Strontium (Sr)	64
Anhang 3.17	Silber (Ag)	66
Anhang 3.18	Aluminium (Al)	68
Anhang 3.19	Arsen (As)	70
Anhang 3.20	Gold (Au)	72
Anhang 3.21	Barium (Ba)	74
Anhang 3.22	Beryllium (Be)	76
Anhang 3.23	Bismut (Bi)	78
Anhang 3.24	Brom (Br)	80
Anhang 3.25	Cadmium (Cd)	82
Anhang 3.26	Cer (Ce)	84
Anhang 3.27	Kobalt (Co)	86
Anhang 3.28	Chrom (Cr)	88
Anhang 3.29	Kupfer (Cu)	90
Anhang 3.30	Quecksilber (Hg)	92
Anhang 3.31	Lanthan (La)	94
Anhang 3.32	Lithium (Li)	96
Anhang 3.33	Mangan (Mn)	98
Anhang 3.34	Molybdän (Mo)	100
Anhang 3.35	Nickel (Ni)	102
Anhang 3.36	Blei (Pb)	104
Anhang 3.37	Rubidium (Rb)	106
Anhang 3.38	Antimon (Sb)	108
Anhang 3.39	Selen (Se)	110
Anhang 3.40	Zinn (Sn)	112
Anhang 3.41	Thorium (Th)	114
Anhang 3.42	Titan (Ti)	116
Anhang 3.43	Thallium (Tl)	118
Anhang 3.44	Uran (U)	120
Anhang 3.45	Vanadium (V)	122
Anhang 3.46	Yttrium (Y)	124
Anhang 3.47	Zink (Zn)	126
Anhang 4: Karten zur Grundwasserbeschaffenheit in Rheinland-Pfalz		128
– Obere Grundwasserleiter –		128
Anhang 4.1	Spezifische Leitfähigkeit	129
Anhang 4.2	Gesamthärte	130
Anhang 4.3	pH-Wert	131
Anhang 4.4	Calcium	132
Anhang 4.5	Eisen	133
Anhang 4.6	Kalium	134
Anhang 4.7	Magnesium	135
Anhang 4.8	Natrium	136
Anhang 4.9	Chlorid	137
Anhang 4.10	Hydrogencarbonat	138
Anhang 4.11	Sulfat	139

1 ZIELSETZUNG DER UNTERSUCHUNG

Im Jahr 2000 trat die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) in Kraft. Seitdem wurden von den Staatlichen Geologischen Diensten Deutschlands (SGD) zahlreiche Grundlagen erarbeitet, die der Einhaltung der in der WRRL formulierten Ziele dienen.

Als Basis für alle Folgearbeiten wurde die Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland im Maßstab 1:200.000 geschaffen (BGR 2003), die 10 hydrogeologische Großräume der oberen Grundwasserleiter unterscheidet (sog. HÜK200).

Unter der Leitung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) begann im Jahr 2005 die Ableitung sog. geogener Hintergrundwerte für die oberen Grundwasserleiter. Die Ergebnisse wurden zusammen mit den Staatlichen Geologischen Diensten veröffentlicht (BGR 2010, BGR & SGD 2009).

Der bundesweiten Betrachtung z. T. vorauslaufend, aber auch in deren Folge wurden von den geologischen Landesdiensten geogene Hintergrundwerte ebenfalls für einzelne Bundesländer abgeleitet (z. B. Wagner et al. 2003, Ludwig et al. 2006, Plum et al. 2009). Die dadurch mögliche Bearbeitung im größeren Maßstab bietet u.a. den Vorteil, die in BGR & SGD (2009) zugrunde gelegten hydrogeochemischen Einheiten weiter zu differenzieren und methodisch alternative Ansätze zu verfolgen.

Mit den vorliegenden Untersuchungsergebnissen sollen Hinweise gegeben werden, welche Wertebereiche für Stoffkonzentrationen des natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwassers der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz zu erwarten sind. Für die Hauptinhaltsstoffe des Grundwassers in Rheinland-Pfalz erfolgte diesbezüglich eine erste Datenauswertung bereits im Jahr 2000 (Kampf et al. 2001)

Der Einfluss, den die geochemischen Eigenschaften des Grundwasserleiters auf die Beschaffenheit des Grundwassers haben wurde mittels der Zuordnung der Einzugsgebiete der beprobten Messpunkte zu den 32 hydrochemischen Einheiten berücksichtigt. Deren Differenzierung erfolgte basierend auf Kenntnissen und Annahmen zur geochemischen Beschaffenheit der geologischen Einheiten und deren möglichen Einfluss auf die hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer. Die Karte der hydrochemischen Einheiten in Rheinland-Pfalz (LGB 2007, unveröffentlicht) ist im Anhang 1 enthalten.

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick der unterschiedenen hydrochemischen Einheiten, die im Folgenden verwendeten Kürzel sowie deren Flächenanteile in Rheinland-Pfalz.

Tab. 1: Hydrochemische Einheiten in Rheinland-Pfalz

System	Hydrochemische Einheit	Kürzel	Fläche [km ²]	Fläche [%]
Quartär	Sande, Kiese und Schluffe der Talauen	q-s1	673	3.4
	Sande und Kiese der Niederterrassen	q-s2	265	1.3
	Quartär (höhere Terrasse)	q-s3	208	1.0
	Jüngere Rhein-Terrasse im ORG	q-s4	402	2.0
	Ältere Rhein-Terrasse im ORG	q-s5	137	0.7
	Quartäre Vulkanite	q-m1	356	1.8
	Pliozän-Quartäre Terrassensedimente im ORG	qt-s1	610	3.1
Tertiär	Tertiär (Karbonate)	t-s1	555	2.8
	Tertiär (Mergel, Ton- und Siltsteine)	t-s2	629	3.2
	Tertiär (Tone, Schluffe)	t-s3	61	0.3
	Tertiär (tonige Sande und Kiese)	t-s4	127	0.6
	Tertiäre Vulkanite	t-m1	460	2.3
Jura	Lias (Sand-, Tonstein, Mergel)	j-s1	51	0.3
Trias	Keuper (gipsführend)	ts-s1	126	0.6
	Keuper (Mergel, Kalk- und Sandsteine)	ts-s2	107	0.5
	Muschelkalk (Kalksteine, Dolomite)	ts-s3	200	1.0
	Muschelkalk (gipsführend)	ts-s4	89	0.4
	Muschelkalk (silikatisch-karbonatisch)	ts-s5	293	1.5
	Buntsandstein (Sand-, Silt- und Tonsteine)	ts-s6	2490	12.5
Perm	Zechstein (karbonatische Sandsteine, Konglomerate)	p-s1	323	1.6
	Rotliegend (basische Magmatite)	p-m1	450	2.3
	Rotliegend (saure Magmatite)	p-m2	80	0.4
	Rotliegend (Silt-, Sand- und Tonsteine)	p-s2	1817	9.1
Karbon	Karbon (Sand-, Siltsteine)	k-s1	68	0.3
Devon	Devon (Alaunschiefer)	d-s1	12	0.1
	Devon (Karbonate)	d-s2	158	0.8
	Devon (karbonatische Schiefer und Sandsteine)	d-s3	200	1.0
	Devon (Metavulkanite)	d-m1	32	0.2
	Devon (Sandsteine, Quarzite)	d-s4	823	4.1
	Devon (Schiefer, Sandsteine)	d-s5	7828	39.4
	Vordevon (metamorphe Schiefer)	vd-1	76	0.4
	Kristallin (Granite, Gneise)	k-1	1	0.0
Wasserflächen			153	0.8
Summen:			19861	100

2 EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT

Das Grundwasser erhält seine natürliche hydrochemische Signatur durch:

- die chemische Zusammensetzung des versickernden, atmosphärisch geprägten Niederschlagswassers,
- die Beeinflussung der belebten Bodenzone sowie die tiefere ungesättigte Zone und schließlich
- den Grundwasserraum aufgrund der Austauschprozesse und Wechselwirkungen mit dem Substrat, dessen Oberflächen vom Wasser benetzt werden und entlang der es sich bewegt. Dies schließt gelöste Gase sowie Gasphasen ein. Die Löslichkeit der Komponenten im Substrat kann zwischen mehreren 100 g/l (einige Salze) und wenigen Mikrogramm pro Liter betragen (Kunkel et al. 2004).

Weiterhin ist die Dauer des für Austauschprozesse zur Verfügung stehenden Zeitraums von erheblichem Einfluss auf die resultierende hydrochemische Signatur des Grundwassers. In der Regel nimmt der Lösungsinhalt des Grundwassers mit der Aufenthaltszeit im Grundwasserleiter zu. Die hydrochemischen Eigenschaften des Grundwassers sind das Ergebnis komplexer chemischer, physikalischer und biologischer Prozesse (z. B. Mattheß 1994).

Die hydrochemischen Eigenschaften des Grundwassers werden neben den natürlichen, sog. geogenen Prozessen auch durch das Wirken des Menschen beeinflusst. Anthropogene Immissionen in die Atmosphäre beeinflussen die Zusammensetzung des Regenwassers; Nährstoffgaben insbesondere auf landwirtschaftlichen Nutzflächen führen zu flächenhaften, diffusen Stoffeinträgen in den Sickerwasserbereich und von dort aus in das Grundwasser. Aber auch Vorflutregulierungen, stockwerksübergreifende Grundwasserförderung, ebenso wie die Gewinnung von Uferfiltrat können zur Beeinflussung der ursprünglichen Grundwasserbeschaffenheit beitragen. Schadstoffeinträge, vor allem organischer Verbindungen erfolgen häufig lokal, können im Bereich von Industriekomplexen aber auch erhebliche flächenhafte Ausdehnung annehmen. Natürliche Abbauprozesse im Abstrom von Schadstofffahnen beeinflussen mitunter auch die anorganische hydrochemische Zusammensetzung des Grundwassers.

Vor diesem Hintergrund ist eine (im strengen Sinne) ausschließlich durch geogene Prozesse bedingte hydrochemische Zusammensetzung nur für entsprechend alte (mehrere hundert Jahre), vom jüngeren Wasserkreislauf unbeeinflusste Grundwässer zu erwarten. Insofern ist der geogene Hintergrund für junge Grundwässer nicht mehr bestimmbar. Es kann jedoch versucht werden, die anthropogen möglichst gering beeinflusste und in diesem Sinne natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit zu ermitteln (vgl. Schenk 2003).

3 VORGEHENSWEISE

3.1 Bisherige Ansätze

Die wesentliche Herausforderung bei der Beschreibung der Beschaffenheit anthropogen gering beeinflusster Grundwässer ist die dazu notwendige Abtrennung der Komponente anthropogen deutlich beeinflusster Grundwässer. Dafür bislang praktizierte Vorgehensweisen sowie Interpretationsansätze für die statistischen Kennzahlen der selektierten Datensätze der als geogen oder ubiquitär überprägten bezeichneten Grundwässer sind mit den nachfolgend genannten Arbeiten beispielhaft aufgezeigt.

- Plum et al. (2009) wählten die zu beprobenden Messstellen nach dem Kriterium der anteiligen Landnutzung im entsprechenden Einzugsgebiet aus (>80 % Wald-/Weideland). Hierdurch wurde auch der von landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgehende Einfluss weitgehend ausgeklammert und ein Datensatz geschaffen, der ohne weitere Selektion geeignet ist die annähernd geogene, natürliche Grundwasserbeschaffenheit zu beschreiben. Welcher statistische Kennwert (bzw. Perzentilwert) zur Beschreibung des natürlichen Hintergrundwerts letztlich in Frage kommt ist nach der Auffassung der Autoren davon abhängig, ob der typische natürliche Hintergrund (50 %-Perzentil) oder die Obergrenze des geogenen Hintergrunds beschrieben werden soll (90 %-Perzentil).
- Wagner et al. (2003) sonderten die Grundwasserproben aus, die aus Bereichen mit bekannter anthropogener Belastung stammen. Diffuse Beeinflussungen der Grundwässer durch Landwirtschaft und Eintrag aus der Luft wurden toleriert und als Spiegel des ubiquitären Hintergrunds akzeptiert. Im Ergebnis wurden typische Wertebereiche der Stoffkonzentrationen in nicht durch Punktquellen verunreinigten Grundwässern ermittelt (hydrogeochemische Hintergrundwerte).
- Kunkel et al. (2004) wendeten zwei Verfahren an: Die Abtrennung der anthropogenen Komponente durch mehrstufige Präselektion (1. statistisch: Messwerte <95 %-Perzentils; 2. chemisch: Messwerte mit Nitrat <10 mg/l, Ammonium <0,5 mg/l, Kalium <5 mg/l) sowie unter der Annahme, dass sich die Häufigkeitsverteilung der Stoffkonzentrationen aus einer natürlichen (geogen), rechtsschief lognormalverteilten und einer beeinflussten (anthropogen) lognormal verteilten Komponente zusammensetzt. Angemerkt sei, dass auch andere Verteilungsformen geeignet sind, die beobachteten Konzentrationsprofile in gleichwertiger Übereinstimmung zu beschreiben. Für die natürliche Komponente wird der Konzentrationsbereich zwischen dem 10 %- und 90 %-Perzentil angegeben.
- Wagner et al. (2009) präselektierten zunächst Proben bekannter anthropogener Belastung nach den Kriterien der sog. Berliner Liste (s. auch Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2005). Unter der Annahme, dass die natürliche Grundwasserkomponente eine Normalverteilung aufweist, wurden mittels Wahrscheinlichkeitsnetz im Datensatz noch enthaltene Werte weiterer Komponenten ausgesondert. Als Hintergrundwerte im Sinne der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit nach Kunkel et al. (2004) wurde der Wert des 90 %-Perzentils dargestellt.

3.2 Datengrundlage

Wesentliche Grundlage für die Untersuchungen zur Abschätzung der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit in Rheinland-Pfalz bilden die Analysenergebnisse der an Messpunkten des landeseigenen Beobachtungsnetzes genommenen Wasserproben. Die Beprobung und Analytik erfolgte weitgehend durch das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG). Das Messnetz umfasst Quellen und Grundwassermessstellen (Datenbank „Grundwasser“). Darüber hinaus wurden die im Rahmen der Überwachung der Rohwassergewinnung zur Trinkwasserversorgung erfassten und an das LUWG gemeldeten Daten der Wasserversorger genutzt (Datenbank „Rohwasser“).

Ergänzend wurden – insbesondere zur Ermittlung von Werten zu den Spureninhaltsstoffen – in 2007 und 2011 durch das LGB weitere Proben aus den oberen Grundwasserleitern an ausgewählten Messpunkten untersucht. Die Datensätze der drei o.g. Datenquellen umfassen Beprobungen (z. T. mehrfach) von Messpunkten über einen Zeitraum seit 1985. Für die weitere Bearbeitung wurde für jeden Parameter pro Messpunkt nur der jeweils aktuellste Datensatz (Hauptinhaltsstoffe) bzw. Analysenwert (Neben- und Spureninhaltsstoffe) verwendet.

Aus den drei Datenquellen standen damit die folgende Anzahl an Datensätzen zur Verfügung:

- Datenbank „Grundwasser“ (LUWG): 2.199
- Datenbank „Rohwasser“ (LUWG): 1.870
- Beprobung 2007/2011 (LGB): 205

3.3 Datenverarbeitung

Für die Auswertung der Hauptinhaltsstoffe, daraus abgeleiteter Kenngrößen sowie der physikochemischen Parameter wurden nur Datensätze zugelassen, deren Parameterumfang die Hauptinhaltsstoffe Calcium, Kalium, Magnesium, Natrium, Chlorid, Hydrogenkarbonat, Nitrat und Sulfat vollständig umfasst (vgl. DVWK 1999). Für diese Datensätze wurde die Ionenbilanz der Hauptinhaltsstoffe berechnet. Die Bilanzierung erfolgte unabhängig von der Äquivalentionensumme mit pauschalem Ansatz einer Fehlergrenze von 10 %. Datensätze mit höheren Fehlern wurden verworfen. Für die Auswertung der Nebeninhalts- und Spurenstoffe wurden auch Datensätze zugelassen, die nicht zeitgleich mit den Hauptinhaltsstoffen ermittelt wurden. Entsprechend wurden diese Datensätze nicht einer Plausibilitätsprüfung durch Ionenbilanzierung unterzogen.

Datensätze von Grundwassermessstellen, die nachweislich durch den Zutritt von Uferfiltrat beeinflusst sind wurden zur Auswertung nicht zugelassen. Ebenso wurden Messstellen, in die der Zutritt von Tiefenwässern bekannt ist sowie solche, die als Sauerlinge oder als Mineralwasser einzuordnen sind nicht berücksichtigt. Hierzu wurden die beim LUWG und LGB vorhandenen regionalen und lokalen Kenntnisse genutzt.

Mit längeren Kontaktzeiten kann die Mineralisierung des Grundwassers zunehmen. Es wurde daher eine Differenzierung der Datensätze in Zugehörigkeit zu relativ oberflächennahen und tieferen Grundwasserleitern vorgenommen (vgl. auch Wagner et al. 2003). Die Zuordnung der Messpunkte in die Gruppe „obere Grundwasserleiter“ erfolgte, wenn das Erschließungsniveau die Tiefe von 50 m nicht überschritt (vgl. auch Wagner et al. 2011). Messpunkte von Quellen wurden pauschal dem „oberen Grundwasserleiter“ zugeordnet. Im Weiteren erfolgte ausschließlich die Bearbeitung der Messpunkte aus der Gruppe „obere Grundwasserleiter“.

Stoffgehalte unterhalb der Bestimmungsgrenzen wurden gleich dem Wert der Bestimmungsgrenze gesetzt. Aufgrund der über einen Zeitraum seit 1985 mit unterschiedlichen analytischen Verfahren und in verschiedenen Laboratorien durchgeführten Konzentrationsbestimmungen variieren die Bestimmungsgrenzen für die einzelnen Stoffe z. T. erheblich.

Weiterhin wurde den Datensätzen die jeweils durch den Messpunkt erfasste hydrochemische Einheit des zugehörigen Einzugsgebietes zugeordnet.

Bei der Gliederung der Inhaltsstoffe (Hauptinhalt, Nebeninhalt und Spurenstoff) wurde dem Vorschlag in Merkel & Planer-Friedrich (2002) gefolgt.

3.3 Präselektion

Bei den Hauptinhaltsstoffen wurden folgende Kriterien zur Abtrennung von als deutlich anthropogen beeinflusst interpretierten Datensätzen verwendet:

- Nitratgehalt >15 mg/l (vgl. auch DVWK 1999)
- Ammoniumgehalt >0,5 mg/l

Die verbleibenden Datensätze repräsentieren demnach im Wesentlichen die Beschaffenheit natürlicher, ubiquitär überprägter Grundwässer (oberer Grundwasserleiter). Einen Überblick über die je hydrochemischer Einheit zur Verfügung stehenden Datensätze und die Gebietsabdeckung gibt die Tabelle 2.

Tab. 2: Anzahl und Verteilung der Datensätze sowie Gebietsabdeckung zur Beschreibung der Beschaffenheit natürlicher, ubiquitär überprägter Grundwässer der oberen Grundwasserleiter (Hauptinhaltsstoffe)

Hydrochemische Einheit	Kürzel	Anzahl Messpunkte	Gebietsabdeckung [km ² / Messpunkt]
Sande, Kiese und Schluffe der Talauen	q-s1	4	135
Sande und Kiese der Niederterrassen	q-s2	5	53
Quartär (höhere Terrasse)	q-s3	2	104
Jüngere Rhein-Terrasse im ORG	q-s4	61	6
Ältere Rhein-Terrasse im ORG	q-s5	4	34
Quartäre Vulkanite	q-m1	8	45
Pliozän-Quartäre Terrassensedimente im ORG	qt-s1	48	4
Tertiär (Karbonate)	t-s1	6	79
Tertiär (Mergel, Ton- und Siltsteine)	t-s2	1	210
Tertiär (Tone, Schluffe)	t-s3	0	
Tertiär (tonige Sande und Kiese)	t-s4	0	
Tertiäre Vulkanite	t-m1	28	16
Lias (Sand-, Tonstein, Mergel)	j-s1	2	25
Keuper (gipsführend)	ts-s1	1	126
Keuper (Mergel, Kalk- und Sandsteine)	ts-s2	0	

Hydrochemische Einheit	Kürzel	Anzahl	Gebietsabdeckung
Muschelkalk (Kalksteine, Dolomite)	ts-s3	3	40
Muschelkalk (gipsführend)	ts-s4	0	
Muschelkalk (silikatisch-karbonatisch)	ts-s5	0	
Buntsandstein (Sand-, Silt- und Tonsteine)	ts-s6	177	12
Zechstein (karbonatische Sandsteine, Konglomerate)	p-s1	29	10
Rotliegend (basische Magmatite)	p-m1	3	150
Rotliegend (saure Magmatite)	p-m2	5	16
Rotliegend (Silt-, Sand- und Tonsteine)	p-s2	31	39
Karbon (Sand-, Siltsteine)	k-s1	3	23
Devon (Alaunschiefer)	d-s1	0	
Devon (Karbonate)	d-s2	6	23
Devon (karbonatische Schiefer und Sandsteine)	d-s3	3	67
Devon (Metavulkanite)	d-m1	2	16
Devon (Sandsteine, Quarzite)	d-s4	42	18
Devon (Schiefer, Sandsteine)	d-s5	122	64
Vordevon (metamorphe Schiefer)	vd-1	0	
Kristallin (Granite, Gneise)	k-1	1	1
Summe:		600	

4 BESCHAFFENHEIT DER GRUNDWÄSSER IN RHEINLAND-PFALZ

Die Beschreibung der Beschaffenheit der Grundwässer in den einzelnen hydrochemischen Einheiten (HCE) umfasst:

- die Ermittlung der statistischen Kennwerte (s. Anhang 3),
- die Charakterisierung der Grundwässer im Piper-Diagramm nach Furtak & Langguth (1967; s. auch Anhang 2) sowie
- Abschätzungen zur Obergrenze der sog. geogenen Komponente des Grundwassers für die Hauptinhaltsstoffe, die hier als natürlich, ubiquitär überprägt bezeichnet wird (s. auch Anhang 3).

4.1 Statistische Kennwerte

Für die präselektierten Datensätze wurden statistische Größen für die Inhaltsstoffe und physikochemischen Kenngrößen bestimmt:

- Minimum, Maximum, arithmetisches Mittel
- Perzentile: 5 %, 10 %, 25 %, 50 %, 75 %, 90 %, 95 %

Die statistischen Kennwerte beschreiben in erster Näherung die Stoffkonzentrationen und Kenngrößen von Grundwässern, die als anthropogen weitgehend unbeeinflusst angesehen werden. Sie werden als im Wesentlichen natürlich, ubiquitär überprägt interpretiert.

Im Anhang 3 sind die Box-Whisker-Diagramme sowie die statistischen Kennzahlen für die Inhaltsstoffe der einzelnen hydrochemischen Einheiten enthalten.

Auffällig sind bei den Hauptinhaltsstoffen die großen Spannweiten bei den Werten der Einheiten ts-s6 (Buntsandstein), p-s1 (Zechstein) und p-s2 (Rotliegend). Hier dürften sich u.a. die Lagerungsverhältnisse zu benachbarten Einheiten durchpausen (auflagernd bzw. lateral angrenzend).

Für die hydrochemischen Einheiten mit mehr als 10 Datensätzen wurde darüber hinaus der Wertebereich der Hauptinhaltsstoffe im Sinne einer Komponentenseparation eingehender betrachtet (vgl. Kapitel 4.3).

4.2 Charakterisierung der Grundwässer im Piper-Diagramm

Die für die hydrochemischen Einheiten ermittelten Medianwerte wurden zur Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit im Piper-Diagramm nach Furtak & Langguth (1967) genutzt (Anhang 2).

Demnach ist die Mehrzahl der Grundwässer in den oberen Grundwasserleitern in Rheinland-Pfalz als normal erdalkalisch, überwiegend hydrogenkarbonatisch zu bezeichnen.

Die darstellenden Punkte für die Grundwässer der tertiären Kalke und Mergel (Einheiten t-s1 und t-s2), kommen im Feld der normal erdalkalischen, hydrogenkarbonatisch-sulfatischen Wässer zu liegen. Dies entspricht auch der geochemischen Charakterisierung der Einheiten (s. auch Anhang 1). Ebenfalls

in diesem Feld liegen die darstellenden Punkte des Zechsteins (p-s1), der quartären Sande, Kiese und Schluffe der Talauen (q-s1) sowie der karbonen Sand- und Siltsteine (k-s1).

Zu den überwiegend hydrogenkarbonatischen erdalkalischen Wässern mit höherem Alkaligehalt gehören die Grundwässer der hydrochemischen Einheiten p-m1 (Rotliegend, basische Magmatite), q-m1 (Quartäre Vulkanite) und d-s4 (devonische Sandsteine und Quarzite).

Die Grundwässer des Buntsandsteins (ts-s6) und der sauren Rotliegend-Magmatite (p-m2) können als überwiegend sulfatisch bis überwiegend chloridisch erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt bezeichnet werden.

4.3 Abschätzung der natürlichen, ubiquitären Komponente

Die Darstellung der Werteverteilungen im Quantil-Diagramm und Wahrscheinlichkeitsnetz gibt bei ausreichend großen Datensätzen mitunter Hinweise auf eine wahrscheinliche Überlagerung der geogenen durch ggf. weitere Komponenten. Für die Hauptinhaltsstoffe wurde bei den acht hydrochemischen Einheiten, für die mehr als 10 Datensätze vorlagen der Bereich der mutmaßlichen Überlagerung durch eine anthropogen beeinflusste Komponente genauer abgeschätzt. Das Vorgehen hierzu orientiert sich an Wagner et al. (2009, 2011). Die Abtrennung der überlagernden Komponente(n) erfolgte graphisch. Die Abbildung 1 veranschaulicht das qualitative Verfahren. Ausreißer-Werte wurden im Rahmen einer Einzelfallbetrachtung untersucht.

Die Vorgehensweise wurde nicht angewendet auf Datensätze für die Inhaltsstoffe, deren Werte maßgeblich durch die Bestimmungsgrenzen bestimmt sind. Die Verfahrensweise erfordert grundsätzlich entsprechende Erfahrung des Bearbeiters, Sprünge in den Summenkurven als Hinweis auf das Vorliegen von Teilpopulationen zu werten. Weiterhin ist die Plausibilität der ermittelten Ergebnisse anhand des regionalen hydrogeologischen Sachverstands zu überprüfen (Wagner et al. 2011).

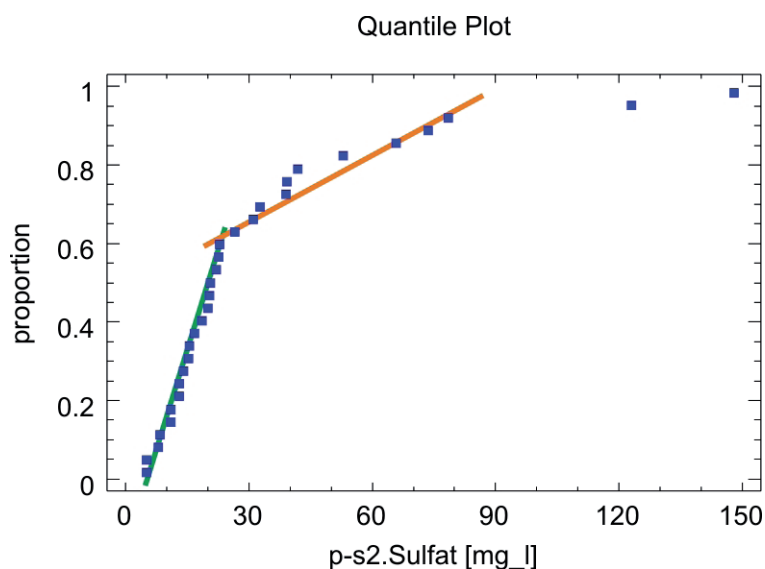


Abb. 1: Beispiel zur Abschätzung der in den Datensätzen enthaltenen primären (natürlich, ubiquitär überprägt) sowie ggf. überlagernden Komponenten. Die primäre Komponente reicht etwa bis zu 23 mg/l. Ab etwa diesem Wert nehmen die Konzentrationswerte stärker zu (flachere Steigung der Regressionsgeraden).

Unterstützend zu dieser Abtrennung der überlagernden Komponenten wurde der Waldanteil im jeweiligen Einzugsgebiet des betreffenden Messpunktes abgeschätzt. Dies erfolgte durch GIS-gestützte Verschneidung von ATKIS-Daten mit den – auf dem stark vereinfachenden Ansatz radialsymmetrisch angenommenen – Einzugsgebieten (angesetzter Radius: 1 km).

Eine negative Korrelation zwischen abgeschätztem Waldanteil in den Einzugsgebieten und der jeweiligen Kenngröße wurde als Hinweis auf eine im Datensatz noch enthaltene anthropogene Komponente gedeutet. Je schwächer die Korrelation ist, umso geringer ist deren Anteil (Abb. 2).

Im Ergebnis wurden keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen Flächennutzung und Stoffgehalt in den jeweiligen Datensätzen festgestellt. Die ausgewerteten Datensätze sind somit als im Wesentlichen unbeeinflusst von einer überlagernden, anthropogenen Komponente anzusehen.

Die abgeschätzten Anteile der primären, als natürlich, ubiquitär angesehenen Komponente sind im Anhang 3 für die Hauptinhaltsstoffe als Werte für deren Obergrenze dargestellt.

Bei den Nebeninhalts- und Spurenstoffen kam dieses Verfahren nicht zum Einsatz. Die Werteverteilungen der Analyseergebnisse zeigte aufgrund der unterschiedlichen Messverfahren der im Zeitraum seit 1985 untersuchenden verschiedenen Laboratorien eine z. T. erhebliche Beeinflussung durch die unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen.

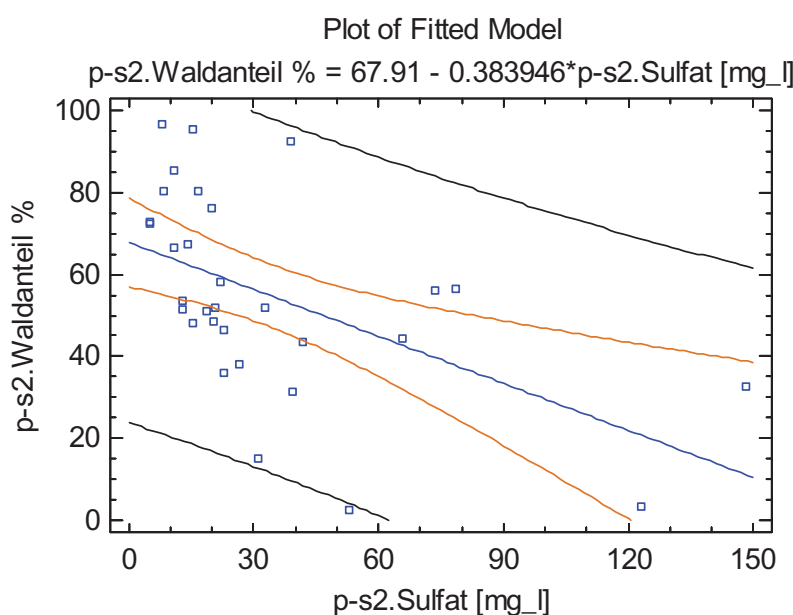


Abb. 2: Sulfatgehalt versus abgeschätztem Waldanteil in den Einzugsgebieten. Der Korrelationskoeffizient beträgt -0,53 (mittelstarker Zusammenhang) und wird als Hinweis auf einen Anteil noch anthropogen beeinflusster Werte im Datensatz angesehen. Sulfatgehalte <23 mg/l werden als natürlich, ubiquitär überprägt interpretiert (s. Abb. 1; mit Darstellung der Grenzen des 95 % Vertrauens- sowie Vorhersagebereiches).

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Grundlage für die Beschreibung der Beschaffenheit natürlicher, ubiquitär überprägter Grundwässer in Rheinland-Pfalz bildeten die Datensätze aus den Datenbanken „Grundwasser“ und „Rohwasser“ des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (LUWG) sowie Untersuchungsergebnisse des Landesamtes für Geologie und Bergbau (LGB).

Die räumliche Differenzierung erfolgte auf der Basis der Karte der hydrochemischen Einheiten in Rheinland-Pfalz (LGB 2007, unveröffentlicht; s. Anlage 1).

5.1 Hydrochemische Einheiten

Die Landesfläche von Rheinland-Pfalz wurde entsprechend der Kenntnisse und Annahmen zur geochemischen Beschaffenheit der geologischen Einheiten und deren möglichen Einfluss auf die hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer in 32 hydrochemischen Einheiten (HCE) untergliedert (s. auch Anlage 1). Nicht für alle dieser Einheiten sind Messpunkte vorhanden.

Bei der Interpretation der Untersuchungsergebnisse (dies betrifft i. W. die Hauptinhaltsstoffe und die physikochemischen Kenngrößen) ist zu beachten:

- Die Beschaffenheit der Grundwässer hydrochemischer Einheiten kann durch die Lithologie überlagernder und/oder angrenzender Einheiten erheblich beeinflusst sein. Dies betrifft z. B. den Einfluss der Grundwässer des überlagernden Muschelkalks (ts-s3) auf die Beschaffenheit der Grundwässer im Buntsandstein (ts-s6). Grundwässer kleinräumiger hydrochemischer Einheiten, z. B. der quartären Sande, Kiese und Schluffe der Talauen (q-s1) können ebenfalls erheblich durch die jeweils benachbarten großräumigeren HCE beeinflusst werden.
- Die Zusammenfassung einzelner, nicht benachbarter Gebiete in einer hydrochemischen Einheit kann dazu führen, dass lokale relative Extremwerte die hydrochemische Charakteristik einer Einheit dominieren. Ein Beispiel hierfür sind die quartären Sande, Kiese und Schluffe der Talauen (q-s1), deren relativ hohe elektrische Leitfähigkeiten durch Messpunkte im Bereich des Oberrheingrabens hervorgerufen werden, aber nicht für das ebenfalls in dieser Einheit enthaltene Gebiet der Pfälzer Moorniederung zutreffen. Vor diesem Hintergrund sollten auch die für die Hauptinhaltsstoffe dargestellten Einzelwerte in ihrer räumlichen Verteilung berücksichtigt werden (Anlage 4).

Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass die Karte der hydrochemischen Einheiten (Anhang 1) im Bereich des Oberrheingrabens eine große flächenhafte Verbreitung der quartären Sande, Kiese und Schluffe der Talauen (q-s1) ausweist. Zahlreiche Messstellen in deren Verbreitungsbereich erfassen jedoch die pliozän-quartären Terrassensedimente im Oberrheingraben (qt-s1). Das heißt die Einheit q-s1 bildet in diesem Bereich keinen relevanten oberen Grundwasserleiter.

5.2 Hauptinhaltsstoffe

Bei den Hauptinhaltsstoffen konnten Datensätze für 25 hydrochemische Einheiten ausgewertet werden. Für alle der oberhalb des 95 %-Perzils liegenden Messwerte wurden mögliche Ursachen der vergleichsweise hohen Werte untersucht. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle konnten anthropogene Beeinflussungen innerhalb des Einzugsgebietes durch benachbarte Flächennutzungen sowie

durch Verkehrswege identifiziert und als wahrscheinliche Ursachen angenommen werden. Insofern enthalten die Datensätze durch anthropogene Einflüsse bestimmte Komponenten.

Die Darstellung der Grundwässer der hydrochemischen Einheiten im Piper-Diagramm weist mehrheitlich eine normal erdalkalisch, überwiegend hydrogenkarbonatische Grundwasserbeschaffenheit aus. Untergeordnet treten normal erdalkalisch, hydrogenkarbonatisch-sulfatische sowie hydrogenkarbonatisch erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt und überwiegend sulfatisch erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt auf.

Die Größenordnungen der für die Hauptinhaltsstoffe ermittelten Wertebereiche wurde anhand des 50 %- und 90 %-Perzentils mit Literaturwerten verglichen. Als Referenzwerte standen hierfür Angaben für genetisch-stratigrafisch vergleichbare Einheiten ohne räumliche Überschneidung zur Verfügung (s. Wagner et al. 2003 und Plum et al. 2009). Darüber hinaus wurden die in Kunkel et al. (2004) und Wagner et al. (2011) veröffentlichten Werte für genetisch-stratigrafisch vergleichbare Einheiten mit räumlicher Überschneidung genutzt.

Unter Berücksichtigung der methodisch unterschiedlichen Ansätze sowie der fehlenden Entsprechungen der hydrochemischen Einheiten bzw. der in geologischer Hinsicht rheinland-pfälzischen Besonderheiten (z. B. Zechstein und Lias, Tertiär) fügen sich die ermittelten Werte überwiegend gut in die bisher veröffentlichten Größenordnungen für die natürliche Grundwasserbeschaffenheit ein (s. Anhang 3).

5.3 Neben- und Spurenhaltsstoffe

Für die Neben- und Spurenhaltsstoffe zeigt sich aufgrund des Zeitraums, aus dem die Datensätze verwendet wurden eine deutliche Beeinflussung des Wertespektrums durch die methodisch, labortechnischen Entwicklungen (unterschiedliche Bestimmungsgrenzen). Das Setzen der Bestimmungsgrenzen als Messwert führte für einige Elemente (z. B. Arsen, Kobalt, Chrom, Nickel, Blei) z. T. zu einem annähernd einheitlichen Maximalwert. Er entspricht älteren Messwerten (Bestimmungen unterhalb der Bestimmungsgrenzen). Für andere Elemente besteht zusätzlich auch ein annähernd einheitlicher Minimumwert, der den aktuellen Bestimmungsgrenzen entspricht (z. B. Silber, Cadmium).

Dennoch ergeben die durch die Bestimmungsgrenzen beeinflussten Wertebereiche für die Spurenhaltsstoffkonzentrationen wichtige Hinweise zu den erwartbaren Größenordnungen der Stoffgehalte. Für alle Spurenhaltsstoffe wurde auf Abhängigkeiten zwischen Stoffkonzentrationen und pH-Wert untersucht. Dabei wurden anhand der zur Verfügung stehenden Datensätze keine statistisch signifikanten Zusammenhänge festgestellt. Jedoch zeigt sich für das Aluminium, dass die Werte der 90 %-Perzentile in den tendenziell versauerten Grundwässern der hydrochemischen Einheiten des Buntsandstein (ts-s6), der devonischen Sandsteine und Quarzite (d-s4) sowie der sauren Magmatite des Rotliegend (p-m2) gegenüber den übrigen Einheiten deutlich erhöht sind. Insofern bestehen deutliche Hinweise auf pH-Wert abhängige Stoffkonzentrationen.

Die ermittelten Werte der 50 %- und 90 %-Perzentile (s. Anhang 3) wurden mit Literaturwerten verglichen. Als Referenzwerte standen Angaben für genetisch-stratigrafisch vergleichbare Einheiten ohne räumliche Überschneidung (s. Wagner et al. 2003 und Plum et al. 2009) sowie genetisch-stratigrafisch vergleichbare Einheiten mit räumlicher Überschneidung (s. Kunkel et al. 2004 und Wagner et al. 2011) zur Verfügung. Im Wesentlichen lässt sich hierbei eine überwiegend gute Übereinstimmung mit den Referenzwerten feststellen.

5.4 Natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit

Für die Hauptinhaltsstoffe wurde bei Datensätzen mit einer Anzahl $n > 10$ auf der Basis einer qualitativen Komponentenseparation der Anteil der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit abgeschätzt (Kapitel 4.3).

Für die Mehrzahl der hydrochemischen Einheiten war dies aufgrund der geringen Anzahl an Datensätzen nicht möglich. Dennoch bestanden mitunter auch bei diesen Datensätzen Hinweise auf überlagernde Komponenten. Als Anzeiger hierfür wurden gewertet:

- eine sich andeutende Bimodalität der Werteverteilungen,
- (schwache) Zusammenhänge zwischen Stoffkonzentrationen und Waldanteil,
- Spannweite der Werte,
- Schiefe der Werteverteilungen.

In diesen Fällen wurde das 50 %-Perzentil als das geeignetere angesehen, um die Obergrenze der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit zu beschreiben. Ansonsten wurde das 90 %-Perzentil herangezogen (vgl. auch Wagner et al. 2011). Bei einer Anzahl der Datensätze $n \leq 2$ wurde grundsätzlich das 50 %-Perzentil bzw. der Mittelwert als Obergrenze angesetzt.

Aus diesem Vorgehen resultiert, dass die als Obergrenze empfohlenen abgeschätzten Werte zur Beschreibung der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit unterschiedlich gut abgesichert sind. Die im Anhang 3 abgeschätzten Werte zur Obergrenze der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit (fett hervorgehoben) sind dementsprechend für die Hauptinhaltsstoffe farblich gekennzeichnet:

n	gering abgesichert;	Anzahl der Datensätze $n \leq 10$
n	mäßig abgesichert;	Anzahl der Datensätze $n > 10$
n	gut abgesichert;	

Die Werte wurden verglichen mit bereits publizierten Ergebnissen zur natürlichen Grundwasserbeschaffenheit. Als Vergleich dienten die Ergebnisse von Wagner et al. (2003) und Plum et al. (2009) für stratigrafisch und lithologisch äquivalente Einheiten außerhalb von Rheinland-Pfalz sowie die Ergebnisse von Kunkel et al. (2004) und Wagner et al. (2011) für stratigrafisch und lithologisch äquivalente überregionale Einheiten mit gleichzeitiger Gebietsüberschneidung. Die hier abgeschätzten Obergrenzen zur natürlichen Komponente der Grundwasserbeschaffenheit liegen i.W. innerhalb des durch die genannten Autoren veröffentlichten Wertekorridors und in der Mehrzahl der Fälle an dessen unterer Grenze. Hydrochemische Einheiten in Rheinland-Pfalz, die hinsichtlich der ermittelten Werte als Besonderheiten bezeichnet werden können, sind der Lias (j-s1), der keine Ähnlichkeit mit dem Lias Südwestdeutschlands zeigt, der Buntsandstein (ts-s6) sowie der Zechstein (p-s1), die sich durch im Vergleich deutlich geringere Werte abheben.

Aufgrund der bei den Neben- und Spurenstoffen mitunter erheblichen Beeinflussung der ausgewerteten Datensätze durch die berücksichtigten Bestimmungsgrenzen wurde das Verfahren der Komponentenabtrennung für diese Inhaltsstoffe nicht angewendet. In Anlehnung an Wagner et al. (2011) wird zur Beschreibung der natürlichen, ubiquitär überprägten Neben- und Spurenstoffkonzentrationen das 90 %-Perzentil herangezogen.

LITERATUR

BERTHOLD, G. & FRITSCH, J.-G. (2006): Ermittlung von Hintergrundwerten und Ableitung von Schwellenwerten für das Grundwasser in Europa. – HLUG Jahresbericht 2006; http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/das_hlug/jahresbericht/2006/jb2006_021-026_berthold_fritsche.pdf.

BGR (2003): Internet Kartenanwendung HÜK200: Hydrogeologische Übersichtskarte 1: 200 000 von Deutschland (HÜK200), Oberer Grundwasserleiter. – Internet Kartenanwendung zur Visualisierung der 55 Kartenblätter sowie 6 Themen der Kartenserie HÜK200; <http://www.bgr.de/app/huek200/v1/>, (Stand vom 17.01.2011).

– (2010): Hintergrundwerte im Grundwasser. – http://www.bgr.bund.de/nn_322854/DE/Themen/Wasser/Projekte/Berat__Info/Hintergrundwerte/hgw__projektbeschr.html?__nnn=true, (Stand vom 17.01.2011).

BGR & SGD (2009): HUEK 200 HGC - Hydrogeochemie. – http://www.bgr.de/service/grundwasser/huek200/hgc_p90/, (Stand 17.01.2011).

DVWK (1992): Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben DK 556.32.001.5 Grundwasseruntersuchung, DK 543.3.053 Probenahme. – DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, 128, 36 S., Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., (Parey) Hamburg – Berlin.

– (1996): Hydrogeochemische Stoffsysteme, Teil I. – Schriften, 110, 288 S., Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

– (1998): Hydrogeochemische Stoffsysteme, Teil II. – Schriften, 117, 397 S., Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

– (1999): Methoden für die Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit. – Schriften, 125, 113 S., Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

Furtak, H. & Langguth, H.R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. – Int. Assoc. Hydrogeol., Mem., 7, S. 89 – 96, Hannover.

KAMPF, J. & PLAUL, W. & SCHWEBLER, W. (2001): Grundwasserbericht 2000. – 123 S. (Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz) Mainz.

KUNKEL, R. & VOIGT, H.-J. & WENDLAND, F. & HANNAPPEL, S. (2004): Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. – Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, 47, 204 S., Jülich.

LUDWIG, F. & BERTHOLD, G. & KÄMMERER, D. & LESSMANN B. (2006): Ermittlung geogener Hintergrundwerte von Spurenstoffen in hessischen Grundwässern. – HLUG Jahresbericht 2006; <http://www.hlug.de/das-hlug/jahresberichte/jahresbericht-2006.html> (Stand 17.01.2011).

MATTHESS, G. (1990): Die Beschaffenheit des Grundwassers. 498 S., (Borntraeger) Berlin – Stuttgart.

MERKEL, B.J. & PLANER-FRIEDRICH, B. (2002): Grundwasserchemie. 219 S., (Springer) Berlin – Heidelberg.

PLUM, H. & DIETZE, G. & ARMBRUSTER, V. & WIRSING, G. (2009): Natürliche geogene Grundwasserbeschaffenheit in den hydrogeochemischen Einheiten von Baden-Württemberg. – LGRB-Informationen, 23, 192 S., Freiburg i.Br.

SCHENK, V. (2003): Natürliche Grundwasserbeschaffenheit – Definition und Abgrenzung gegen verwandte Begriffe. – Grundwasser, 2, S. 122 – 124, Berlin – Heidelberg.

SCHWILLE, F. (1953): Natriumhydrogenkarbonat- und Natriumchlorid-Wässer im tieferen Untergrund des Mainzer Beckens. – Notizbl. Hess. L.-Amt Bodenforsch., 81, S. 314 – 335, Wiesbaden.

Senatverwaltung für Stadtentwicklung (SenStadt) (2005): Bewertungskriterien für die Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen in Berlin (Berliner Liste 2005). – ABl. Nr. 35 vom 22.07.2005, S. 2683 – 2692, Berlin.

Wagner, B. & Töpfner, C. & Lischeid, G. & Scholz, M. & Klinger, R. & Klaas, P. (2003): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns.– GLA-Fachberichte, 21, 250 S., (Bayer. Geol. L.-Amt) München.

WAGNER, B. & BEER, A. & BROSE, D. & BUDZIAK, D. & CLOS, P. & DREHER, T. & FRITSCHKE, H.-G. & HÜBSCHMANN, M. & MARCINEK, S. & PETERS, A. & POESER, H. & SCHUSTER, H. & WALTER, T. & WIRSING, G. & WOLTER, R. (2009): Erläuterung zum Web Map Service (WMS) „Hintergrundwerte Grundwasser“. – <http://www.bgr.bund.de/huek200>, (Stand 17.01.2011).

WAGNER, B. & WALTER, T. & HIMMELSBACH, T. & CLOS, P. & BEER, A. & BUDZIAK, D. & DREHER, T. & FRITSCHKE, H.-G. & HÜBSCHMANN, M. & MARCINEK, S. & PETERS, A. & POESER, H. & SCHUSTER, H. & STEINEL, A. & WAGNER, F. & WIRSING, G. (2011): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Deutschlands als Web Map Service. – Grundwasser, 16, S. 155 – 162, Berlin – Heidelberg.