

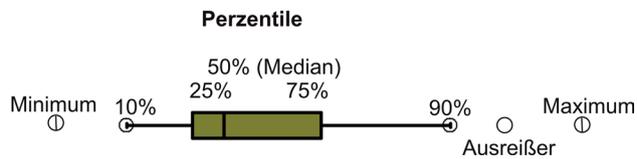
Anhang 3: Beschaffenheit der Grundwässer in Rheinland-Pfalz

– Obere Grundwasserleiter –

Bewertung der empfohlenen, abgeschätzten Obergrenzen der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit in Rheinland-Pfalz (nur Hauptinhaltsstoffe; Erläuterungen siehe Kapitel 5.4):

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

Legende zu den box-whisker-Diagrammen:



PHYSIKOCHEMISCHE KENNGRÖSSEN

Anhang 3.1 Spezifische elektrische Leitfähigkeit (Lf)

Die spezifische elektrische Leitfähigkeit wässriger Lösungen setzt sich aus den Leitfähigkeitsteilbeträgen der einzelnen Ionen zusammen. Bestimmend sind hierbei die Hauptinhaltsstoffe Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Hydrogenkarbonat, Chlorid, Sulfat und Nitrat. Der Wert der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit wird für eine Temperatur der Lösungen von 25° C angegeben. Die elektrische Leitfähigkeit ist der reziproke Wert des elektrischen Widerstands. Im Regenwasser erreicht die spezifische elektrische Leitfähigkeit etwa 5 bis 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$; für süßes Grundwasser werden Werte von 30 bis 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ angegeben.

Die elektrischen Leitfähigkeiten der Grundwässer aus den quartären sedimentären Einheiten (q-s1 bis q-s5 und qt-s1) liegen im Bereich von 420 bis 940 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Medianwerte sowie Mittelwert für q-s3). Die mit ca. 1.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Mittelwert, Median) höchsten Werte weisen die tertiären Einheiten t-s1 und t-s2 auf (Kalke und Mergel). Bei den Grundwässern der mesozoischen Gesteine treten sowohl geringere Leitfähigkeiten (141 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Einheit j-s1; 109 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Einheit ts-s6) als auch erhöhte Medianwerte auf (730 bis 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$, karbonatische bzw. saline Einheiten ts-s3 und ts-s1). Bei den Grundwässern der paläozoischen sedimentären Gesteine liegen die Medianwerte im Bereich von 94 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (d-s4) bis 524 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (d-s2, Karbonate). Die elektrischen Leitfähigkeiten der Grundwässer der magmatischen Einheiten betragen zwischen 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (p-m2) und 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (k-1; Medianwerte).

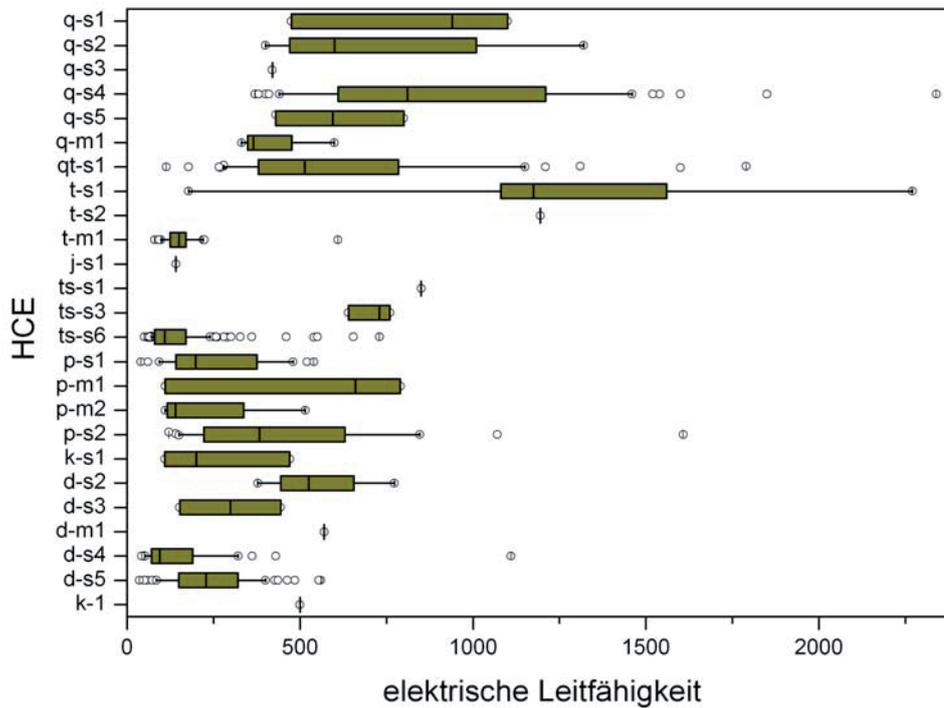


Abb. 3.1a, b: Box-Whisker-Diagramme für **elektrische Leitfähigkeit** (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Angaben in [$\mu\text{S}/\text{cm}$]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							Komponenten-separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	3	475	1100	838	475	475	475	940	1100	1100	1100	
q-s2	5	400	1320	760	400	400	470	600	1010	1320	1320	
q-s3	1	420	420	420								
q-s4	56	370	2850	946	380	440	610	830	1210	1520	1850	1400
q-s5	3	430	2470	1233	430	430	430	800	2470	2470	2470	
q-m1	5	331	599	424	331	331	349	365	476	599	599	
qt-s1	42	113	1790	622	266	280	380	514	785	1150	1310	725
t-s1	6	178	2270	1240	178	178	1080	1175	1560	2270	2270	
t-s2	1	1195	1195	1195								
t-m1	28	80	610	164	93	98	124	151	170	220	223	195
j-s1	1	141	141	141								
ts-s1	1	850	850	850								
ts-s3	3	640	760	710	640	640	640	730	760	760	760	
ts-s6	135	50	730	144	66	70	80	109	170	240	327	180
p-s1	24	40	540	248	61	93	141	198	375	480	520	200
p-m1	3	110	790	520	110	110	110	660	790	790	790	
p-m2	4	110	515	226	110	110	116	140	337	515	515	
p-s2	29	121	1608	459	140	150	222	383	630	846	1070	680
k-s1	3	109	470	260	109	109	109	200	470	470	470	
d-s2	4	378	773	550	378	378	444	524	656	773	773	
d-s3	3	152	444	298	152	152	152	299	444	444	444	
d-m1	1	570	570	570								
d-s4	37	42	1110	161	50	52	70	94	190	321	430	140
d-s5	86	36	560	232	50	85	149	229	320	400	463	355
k-1	1	500	500	500								

Anhang 3.2 Gesamthärte (GH)

Die Gesamthärte resultiert aus der Summe der gelösten Erdalkalitionen. Aufgrund der auftretenden Häufigkeiten sind dies im Wesentlichen Calcium und Magnesium. Hohe Gesamthärten treten vor allem in Grundwässern karbonathaltiger und sulfathaltiger Grundwasserleiter auf.

Die höchsten Werte wurden in den Grundwässern der tertiären Einheiten t-s1 und t-s2 (Kalke und Mergel) mit 33 ° bzw. 40 °dH angetroffen (Medianwerte). Ebenfalls weisen die quartären sedimentären Einheiten Gesamthärten im Bereich von 12 bis 29 °dH auf.

Trotz vergleichsweise hoher Karbonatanteile in den Grundwasserleitern der Einheiten ts-s1, ts-s3, d-s2 und d-s3 ist die Gesamthärte dort geringer 8 bis 27 °dH (Medianwerte bzw. Mittelwert).

Die Grundwässer der übrigen mesozoischen und paläozoischen sedimentären Einheiten sind mit Gesamthärten im Bereich von 2 bis 8 ° dH als eher weich einzustufen.

Die Gesamthärten der magmatischen Gesteine variieren von 2 bis 13 °dH.

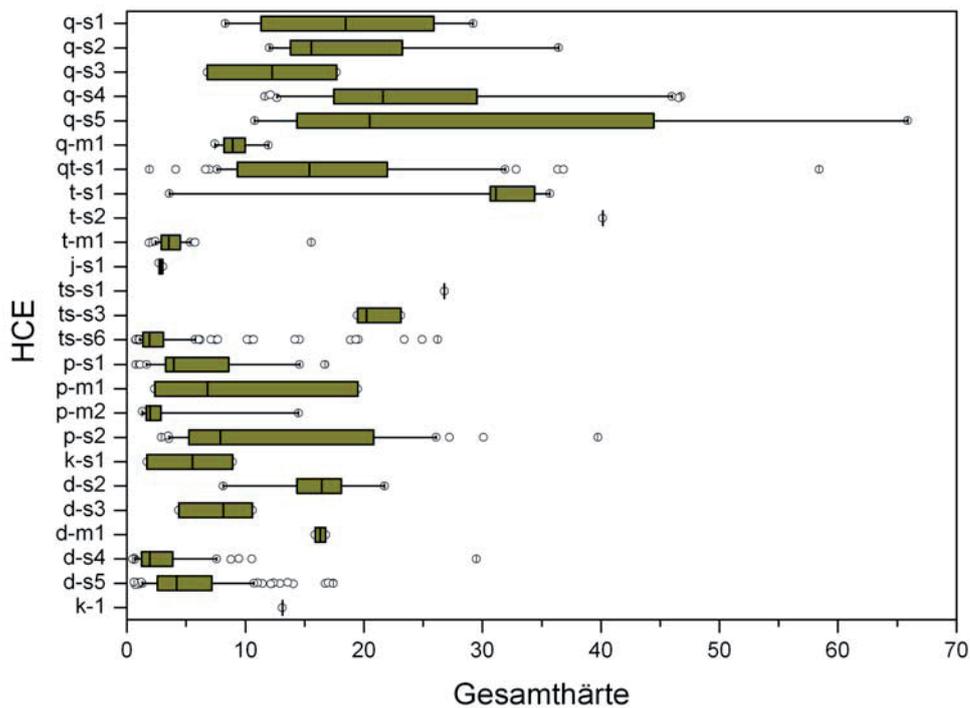


Abb. 3.2a, b: Box-Whisker-Diagramme für **Gesamthärte** (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Angaben in [°dH]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile								Komponenten-separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%		
q-s1	4	8.3	29.2	18.6	8.3	8.3	11.3	18.5	25.9	29.2	29.2		
q-s2	5	12.0	36.4	20.2	12.0	12.0	13.8	15.5	23.2	36.4	36.4		
q-s3	2	6.8	17.7	12.2	6.8	6.8	6.8	12.2	17.7	17.7	17.7		
q-s4	61	11.0	90.6	28.2	12.2	13.3	19.1	23.7	35.4	46.4	49.8	47	
q-s5	4	10.8	65.9	33.5	10.8	10.8	16.9	28.8	50.2	65.9	65.9		
q-m1	8	7.4	11.9	9.2	7.4	7.4	8.2	8.9	10.0	11.9	11.9		
qt-s1	48	1.9	58.4	17.5	6.6	7.6	9.3	15.4	22.0	31.9	36.4	26	
t-s1	6	3.6	80.2	36.0	3.6	3.6	30.7	32.8	35.7	80.2	80.2		
t-s2	1	40.2	40.2	40.2									
t-m1	28	1.9	15.6	4.1	2.1	2.4	2.9	3.5	4.5	5.4	5.8	5	
j-s1	2	2.7	3.0	2.9	2.7	2.7	2.7	2.9	3.0	3.0	3.0		
ts-s1	1	26.8	26.8	26.8									
ts-s3	3	19.5	23.1	20.9	19.4	19.4	19.4	20.2	23.1	23.1	23.1		
ts-s6	177	0.7	26.2	3.2	1.0	1.1	1.4	1.9	3.1	5.8	10.7	3	
p-s1	29	0.8	16.7	5.9	1.1	1.7	3.3	3.9	8.6	14.6	16.7	6	
p-m1	3	2.3	19.5	9.5	2.3	2.3	2.3	6.8	19.5	19.5	19.5		
p-m2	5	1.3	14.5	4.4	1.3	1.3	1.6	2.0	2.9	14.5	14.5		
p-s2	31	2.9	39.7	12.6	3.5	3.6	5.2	7.9	20.8	26.1	30.1	11	
k-s1	3	1.7	8.9	5.4	1.7	1.7	1.7	5.5	8.9	8.9	8.9		
d-s2	6	8.1	21.7	15.9	8.1	8.1	14.3	16.4	18.1	21.7	21.7		
d-s3	3	4.4	10.6	7.7	4.4	4.4	4.4	8.1	10.6	10.6	10.6		
d-m1	2	15.9	16.8	16.3	15.9	15.9	15.9	16.3	16.8	16.8	16.8		
d-s4	42	0.5	29.5	3.5	0.6	0.7	1.2	1.9	3.9	7.6	9.4	3	
d-s5	122	0.6	17.4	5.3	0.9	1.3	2.6	4.2	7.2	10.7	12.9	8	
k-1	1	13.1	13.1	13.1									

Anhang 3.3 Karbonathärte (KH)

Die Karbonathärte errechnet sich aus der Säurekapazität bis pH 4,3. Sie beruht in den meisten natürlichen Grundwässern auf den Karbonat- und Hydrogenkarbonationen. Sie wird bestimmt durch die schwache, unvollständig dissoziierte Kohlensäure, die mit dem Hydrogenkarbonation ein Puffersystem bildet.

Die Grundwässer aus den quartären Sedimenten der Einheiten q-s1, q-s2, q-s3 und qt-s1 zeigen relativ einheitliche Karbonathärten mit Medianwerten zwischen ca. 10 bis 13 °dH.

Die Karbonathärten der Grundwässer aus den meist karbonatführenden Einheiten q-s4 und q-s5 (Quartär), t-s1 und t-s2 (Tertiär), ts-s1 und ts-s3 (Trias) sowie den paläozoischen Einheiten d-s2 und d-m1 sind deutlich höher (Medianwerte zwischen 17 bis 22 °dH).

Die Karbonathärten der Grundwässer aus den triassischen und paläozoischen sedimentären klastischen Einheiten sind hingegen deutlich geringer (1 bis 7 °dH). Die geringste Härte weisen die Grundwässer aus dem Buntsandstein auf (ts-s6; Median 0,5 °dH).

Bei den Grundwässern aus den Grundwasserleitern der magmatischen Gesteine liegen die Karbonathärten im Bereich von 1 bis 10 °dH.

Die Verteilungen der Medianwerte der Karbonathärte entspricht i.W. der des Hydrogenkarbonats.

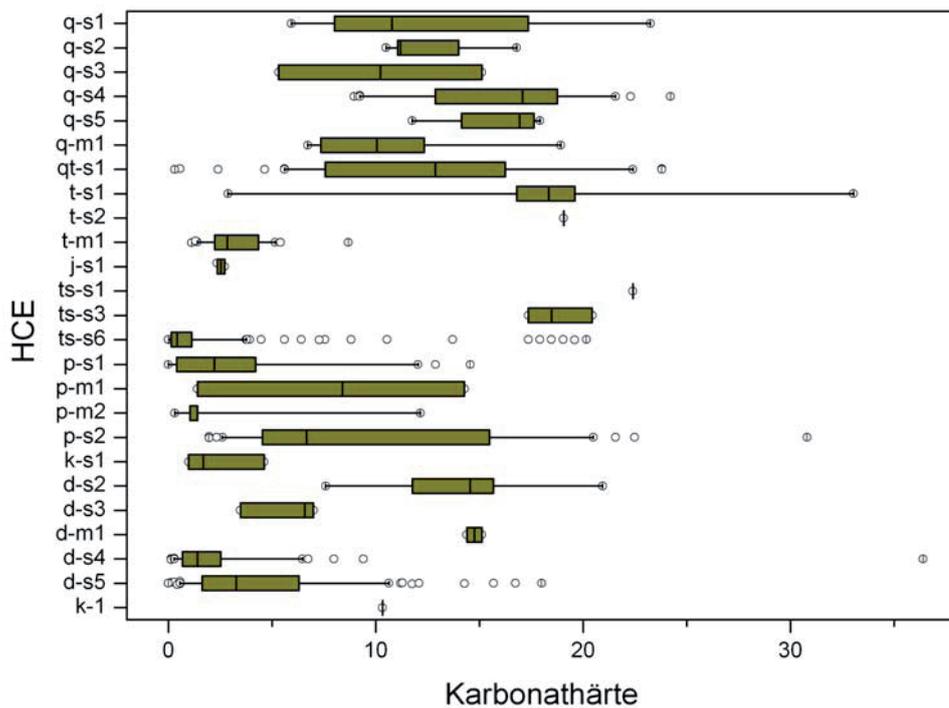


Abb. 3.3a, b: Box-Whisker-Diagramme für **Karbonathärte** (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Angaben in [°dH]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile								Komponenten-separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%		
q-s1	4	5.9	23.2	12.7	5.9	5.9	8.0	10.8	17.4	23.2	23.2		
q-s2	5	10.5	16.8	12.7	10.5	10.5	11.1	11.2	14.0	16.8	16.8		
q-s3	2	5.3	15.1	10.2	5.3	5.3	5.3	10.2	15.1	15.1	15.1		
q-s4	61	7.6	25.5	16.3	9.2	10.6	14.0	16.8	19.0	20.4	22.3	21	
q-s5	4	11.8	26.0	18.1	11.8	11.8	14.1	17.2	22.0	26.0	26.0		
q-m1	8	6.7	18.9	10.6	6.7	6.7	7.3	10.1	12.3	18.9	18.9		
qt-s1	48	0.3	23.8	12.5	2.4	5.6	7.6	12.9	16.2	22.4	23.8	17	
t-s1	6	2.9	33.0	18.2	2.9	2.9	16.8	18.3	19.6	33.0	33.0		
t-s2	1	19.1	19.1	19.1									
t-m1	28	1.1	8.7	3.3	1.3	1.4	2.2	2.8	4.3	5.2	5.4	5	
j-s1	2	2.4	2.7	2.5	2.4	2.4	2.4	2.5	2.7	2.7	2.7		
ts-s1	1	22.4	22.4	22.4									
ts-s3	3	17.4	20.4	18.8	17.4	17.4	17.4	18.5	20.4	20.4	20.4		
ts-s6	177	0.0	20.2	1.8	0.1	0.1	0.2	0.5	1.3	3.8	10.6	1	
p-s1	29	0.1	14.6	4.2	0.3	0.4	0.6	2.4	6.4	12.0	12.9	4	
p-m1	3	1.4	14.3	8.0	1.4	1.4	1.4	8.4	14.3	14.3	14.3		
p-m2	5	0.3	12.2	3.3	0.3	0.3	1.0	1.4	1.4	12.2	12.2		
p-s2	31	2.0	30.8	9.9	2.0	2.6	4.5	6.7	15.5	20.5	22.5	10	
k-s1	3	1.0	4.6	2.4	1.0	1.0	1.0	1.7	4.6	4.6	4.6		
d-s2	6	7.6	20.9	14.2	7.6	7.6	11.8	14.6	15.7	20.9	20.9		
d-s3	3	3.5	7.0	5.7	3.5	3.5	3.5	6.6	7.0	7.0	7.0		
d-m1	2	14.4	15.1	14.8	14.4	14.4	14.4	14.8	15.1	15.1	15.1		
d-s4	42	0.1	36.4	2.9	0.1	0.3	0.7	1.4	2.5	6.5	8.0	3	
d-s5	122	0.1	18.0	4.4	0.6	0.7	1.7	3.4	6.3	9.0	11.3	8	
k-1	1	10.3	10.3	10.3									

Anhang 3.4 pH-Wert (pH)

Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der Protonenkonzentration. Destilliertes Wasser weist aufgrund der nur zu einem geringen Anteil erfolgten Dissoziation in Hydronium- und Hydroxid-Ionen einen pH-Wert von 7 auf. Entsprechendes Vorherrschen von Hydronium- oder Hydroxid-Ionen verschiebt den pH-Wert in saures oder basisches Milieu.

Regenwasser im Kohlensäuregleichgewicht weist einen pH-Wert von ca. 5,6 auf; als „saurer Regen“ können pH-Werte im Bereich 2,8 bis 5,4 auftreten.

Die pH-Werte süßer Grundwässer liegen meist im Bereich von 5 bis 8.

Die pH-Werte (Median) der hydrochemischen Einheiten in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich von 5,9 bis 8,3.

Deutliche Verschiebungen in das saure Milieu lassen sich für den Buntsandstein (ts-s6), die sauren Magmatite des Perm (p-m2), das Karbon (k-s1) sowie die devonischen Sandsteine, Schiefer und Quarzite (d-s4 und d-s5) mit pH-Werten im Bereich von 5,9 bis 6,5 erkennen.

Bemerkenswert ist der pH-Wert von 8,3 für die Sand-, Silt und Tonsteine des Lias (j-s1).

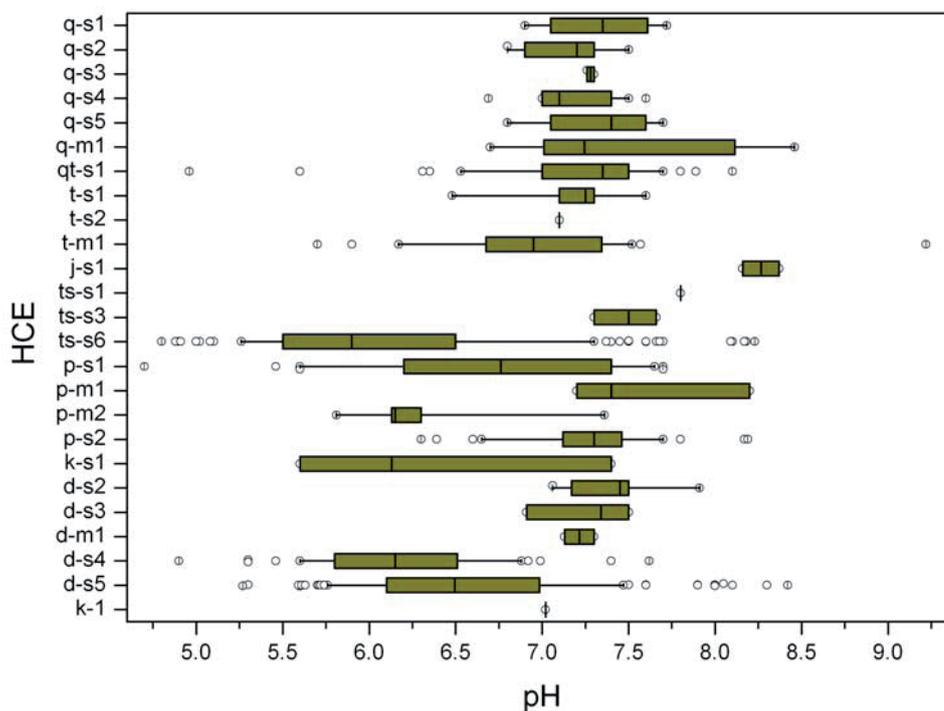


Abb. 3.4a, b: Box-Whisker-Diagramme für pH-Wert (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							Komponenten-separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	4	6.9	7.7	7.3	6.9	6.9	7.1	7.4	7.6	7.7	7.7	
q-s2	5	6.8	7.5	7.1	6.8	6.8	6.9	7.2	7.3	7.5	7.5	
q-s3	2	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	
q-s4	61	6.7	7.7	7.2	7.0	7.0	7.1	7.2	7.4	7.5	7.6	7.5
q-s5	4	6.8	7.7	7.3	6.8	6.8	7.0	7.4	7.6	7.7	7.7	
q-m1	8	6.7	8.5	7.5	6.7	6.7	7.0	7.2	8.1	8.5	8.5	
qt-s1	48	5.0	8.1	7.2	6.3	6.5	7.0	7.4	7.5	7.7	7.8	6.9 - 7.7
t-s1	6	6.5	7.6	7.2	6.5	6.5	7.1	7.3	7.3	7.6	7.6	
t-s2	1	7.1	7.1	7.1								
t-m1	28	5.7	9.2	7.0	5.9	6.2	6.7	7.0	7.3	7.5	7.6	6.7 - 7.6
j-s1	2	8.2	8.4	8.3	8.2	8.2	8.2	8.3	8.4	8.4	8.4	
ts-s1	1	7.8	7.8	7.8								
ts-s3	3	7.3	7.7	7.5	7.3	7.3	7.3	7.5	7.7	7.7	7.7	
ts-s6	173	4.8	8.2	6.1	5.0	5.3	5.5	5.9	6.5	7.3	7.6	6.7
p-s1	29	4.7	7.7	6.7	5.5	5.6	6.2	6.8	7.4	7.7	7.7	6.7 - 7.7
p-m1	3	7.2	8.2	7.6	7.2	7.2	7.2	7.4	8.2	8.2	8.2	
p-m2	5	5.8	7.4	6.4	5.8	5.8	6.1	6.2	6.3	7.4	7.4	
p-s2	31	6.9	8.2	7.3	6.4	6.7	7.1	7.3	7.5	7.7	8.2	7.2 - 7.6
k-s1	3	5.6	7.4	6.3	5.6	5.6	5.6	6.1	7.4	7.4	7.4	
d-s2	6	7.1	7.9	7.4	7.1	7.1	7.2	7.5	7.5	7.9	7.9	
d-s3	3	6.9	7.5	7.3	6.9	6.9	6.9	7.3	7.5	7.5	7.5	
d-m1	2	7.1	7.3	7.2	7.1	7.1	7.1	7.2	7.3	7.3	7.3	
d-s4	42	4.9	7.6	6.2	5.3	5.6	5.8	6.2	6.5	6.9	7.0	5.8 - 6.6
d-s5	116	5.3	8.4	6.6	5.6	5.8	6.1	6.5	7.0	7.5	8.0	5.6 - 7.1
k-1	1	7.0	7.0	7.0								

HAUPTINHALTSSTOFFE

Anhang 3.5 Calcium (Ca)

Calcium steht mit etwa 3,5 Gewichts-% an der 5. Stelle der häufigen Elemente in der Erdkruste. Calciumhaltige, gesteinsbildende Minerale sind vor allem die der Mischungsreihe Anorthit – Albit, Vertreter der Amphibolit- und Pyroxengruppe sowie der Granate und der Epidot-Zoisit-Gruppe. Hohe Calciumgehalte finden sich in Apatit und Fluorit.

Unter Verwitterungsbedingungen erfolgt meist eine rasche Lösung des Calciums und eine Anreicherung vor allem in den Karbonatgesteinen. Calciumkarbonate und -sulfate bilden in klastischen Sedimentgesteinen einen häufigen Zementtyp. Der weitaus überwiegende Teil des mineralisch gebundenen Calciums findet sich in den Sedimentgesteinen, insbesondere in den biogen gebildeten Karbonatgesteinen.

Calcium wird in geringen Mengen aus der Atmosphäre i.W. durch Partikeltransport in das Grundwasser eingetragen. Ein nicht unwesentlicher flächiger anthropogener Eintrag kann aus der Düngung stammen.

Als häufigstes Ion in süßen Grundwässern ist sein Gehalt vor allem durch das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht bestimmt. Grundwässer silikatischer Gesteine enthalten meist weniger als 100 mg/l Calcium. Bei höheren CO₂-Gehalten z.B. in vulkanischen Gebieten oder anderen endogenen Karbonatquellen werden Calciumgehalte von 200 bis 300 mg/l erreicht.

Bei den quartären Grundwasserleitern treten die Jüngeren (q-s4) und Älteren Rhein-Terrassen (q-s5) mit Medianwerten zwischen 130 bis 156 mg/l hervor. Sie könnten auf entsprechende Karbonatgehalte in den Grundwasserleitern zurückgeführt werden. Ansonsten liegen die Medianwerte im Bereich von 68 bis 103 mg/l.

Die tertiären Karbonate und Mergel (t-s1 und t-s2) weisen vergleichsweise hohe Werte im Bereich von 144 bis 169 mg/l auf (Median bzw. Mittelwert).

Bei den Grundwasserleitern des Lias kann man von einer weitgehenden Auslaugung der Karbonate entlang der Wasserwegsamkeiten ausgehen (Median 19 mg/l).

Vergleichsweise geringere Gehalte kennzeichnen die Grundwässer des (i.W.) Oberen Muschelkalk, des Zechstein und Rotliegend (ts-s3, p-s1, p-s2; Medianwerte 73 mg/l, 17 mg/l bzw. 35 mg/l).

Besonders geringe Gehalte (Median <10 mg/l) finden sich in den Grundwässern des Buntsandstein (ts-s6), der devonischen Sandsteine und Quarzite (d-s4) sowie der permischen sauren Magmatite (p-m2).

In den übrigen paläozoischen Gesteinen erreichen die Medianwerte der Calciumgehalte 19 bis 75 mg/l.

Die Calciumgehalte in den Grundwasserleitern magmatischer Gesteine betragen 9 bis 55 mg/l (Medianwerte).

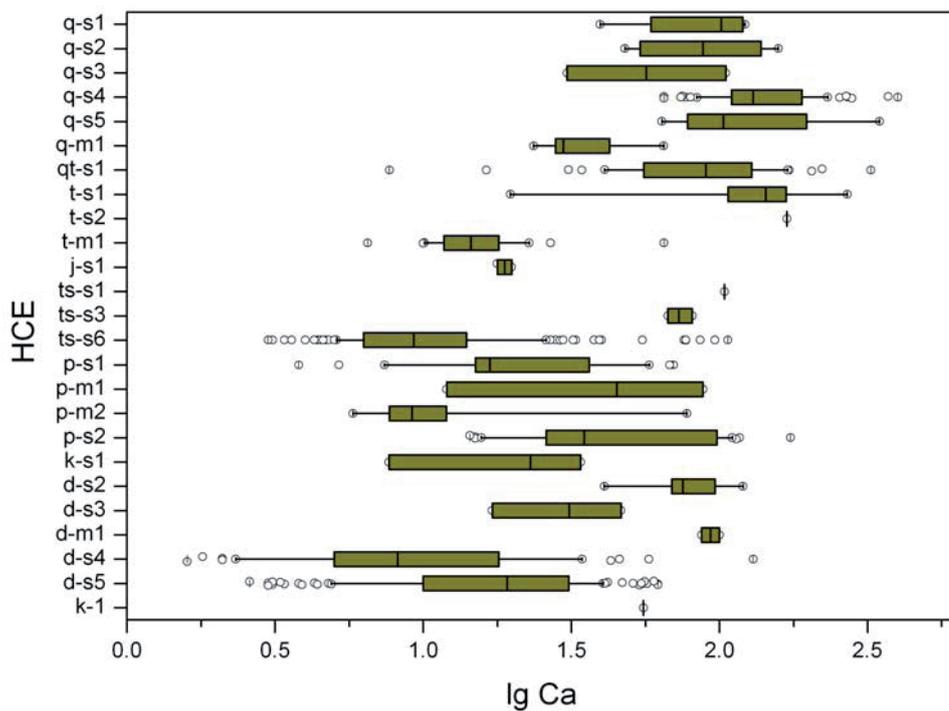


Abb. 3.5a, b: Box-Whisker-Diagramme für **Calcium** (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [mg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							Komponenten-separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	4	39.6	122.0	91.7	39.6	39.6	63.3	102.5	120.0	122.0	122.0	
q-s2	5	48.0	158.0	97.2	48.0	48.0	54.0	88.0	138.0	158.0	158.0	
q-s3	2	30.6	105.0	67.8	30.6	30.6	30.6	67.8	105.0	105.0	105.0	
q-s4	61	65.0	400.0	152.7	75.0	84.0	110.0	130.0	190.0	232.0	272.0	180.0
q-s5	4	64.0	347.0	180.8	64.0	64.0	88.0	156.0	273.5	347.0	347.0	
q-m1	8	23.6	64.9	36.3	23.6	23.6	28.0	29.8	43.2	64.9	64.9	
qt-s1	48	7.7	325.0	99.1	31.0	41.0	55.5	90.0	128.5	170.0	205.0	118.0
t-s1	6	19.7	270.0	142.1	19.7	19.7	107.0	144.0	168.0	270.0	270.0	
t-s2	1	169.0	169.0	169.0								
t-m1	28	6.5	65.0	16.9	10.0	10.1	11.8	14.5	18.0	22.8	26.9	20.0
j-s1	2	17.8	19.9	18.8	17.8	17.8	17.8	18.8	19.9	19.9	19.9	
ts-s1	1	104.0	104.0	104.0								
ts-s3	3	67.0	81.0	73.7	67.0	67.0	67.0	73.0	81.0	81.0	81.0	
ts-s6	177	3.0	106.8	14.2	4.3	5.1	6.3	9.3	14.0	26.0	40.0	17.0
p-s1	29	3.8	70.0	25.1	5.2	7.4	15.0	16.8	36.3	58.0	68.0	20.0
p-m1	3	12.0	88.0	48.3	12.0	12.0	12.0	45.0	88.0	88.0	88.0	
p-m2	5	5.8	77.6	22.5	5.8	5.8	7.7	9.2	12.0	77.6	77.6	
p-s2	31	14.4	173.7	56.4	15.0	15.7	26.0	34.9	98.0	110.5	117.0	39.0
k-s1	3	7.7	34.0	21.6	7.7	7.7	7.7	23.0	34.0	34.0	34.0	
d-s2	6	40.9	120.1	79.6	40.9	40.9	69.0	75.5	96.7	120.1	120.1	
d-s3	3	17.1	46.5	31.6	17.1	17.1	17.1	31.1	46.5	46.5	46.5	
d-m1	2	87.0	100.0	93.5	87.0	87.0	87.0	93.5	100.0	100.0	100.0	
d-s4	42	1.6	130.0	16.1	2.1	2.3	5.0	8.2	18.0	34.4	46.0	16.0
d-s5	122	2.6	62.0	21.7	3.4	4.9	10.0	19.2	31.0	40.5	54.6	32.0
k-1	1	55.4	55.4	55.4								

Anhang 3.6 Chlor (Cl) – Chlorid

Chlor ist als Chloridion in den gesteinsbildenden Mineralen in nur geringen Gehalten vertreten (bis etwa 600 mg/kg). Chloridhaltige Salze sind i.d.R. Ausfällungsprodukte des Meerwassers bzw. aus salinaren Wässern, seltener auch vulkanischer Genese.

Chloridionen verhalten sich sehr mobil und werden in durchlässiger Matrix im allgemeinen nicht zurückgehalten. In geringdurchlässigen Sedimentgesteinen treten mitunter hohe Konzentrationen auf, die auf eine selektive Anreicherung in Folge des großen Ionenradius zurückgeführt werden.

Das in der Atmosphäre enthaltene Chlorid stammt zu einem großen Teil aus dem Meerwasser; die Gehalte sind in Meeresnähe daher oft erhöht. Aufgrund seiner technisch-industriellen Bedeutung als einer der wichtigsten Grundchemikalien wird Chlor in einer Vielzahl von anorganischen und organischen Chlorverbindungen in die Umwelt freigesetzt.

Grundwässer von Magmatiten und Sedimentgesteinen weisen meist Chloridgehalte unterhalb 30 mg/l auf. Höhere Werte können in Folge von Beimischungen höher mineralisierter Wässer oder anthropogener Einflüsse auftreten.

Relativ erhöhte Chloridgehalte sind in den quartären Porengrundwasserleitern q-s1, q-s4 und q-s5 (Medianwerte zwischen 46 bis 151 mg/l) sowie den tertiären Karbonaten und Mergeln (t-s1 und t-s2; 92 bis 95 mg/l, Median) festzustellen. Die hohen Maximalwerte und die Werteverteilung lassen auf die Überlagerung durch eine zweite Komponente (anthropogen und/oder höher mineralisierte Tiefenwässer) insbesondere bei der i.W. im Gebiet des Oberrheingrabens verbreiteten Einheit q-s4 schließen. Die Gehalte bei den übrigen quartären sedimentären Einheiten liegen bei 18 bis 29 mg/l (Median).

Mit 37 mg/l (Median) ist der Wert für die Grundwässer des gipsführenden Keuper (ts-s1) ebenfalls relativ hoch.

Bei den Grundwässern der übrigen triassischen und paläozoischen Sedimentgesteine liegen die Chloridgehalte im Bereich 5 bis 15 mg/l (Medianwerte).

Grundwässer aus den magmatischen Grundwasserleitern weisen Chloridkonzentrationen im Bereich 5 bis 24 mg/l auf (Medianwerte).

Vereinzelt treten bei den Grundwässern aus den triassischen und paläozoischen Gesteinen deutlich über dem Konzentrationsschwerpunkt liegende Maximalwerte auf. Ihre Ursache ist in anthropogen bedingten Beeinflussungen oder Zumischungen von Tiefenwässern anzunehmen.

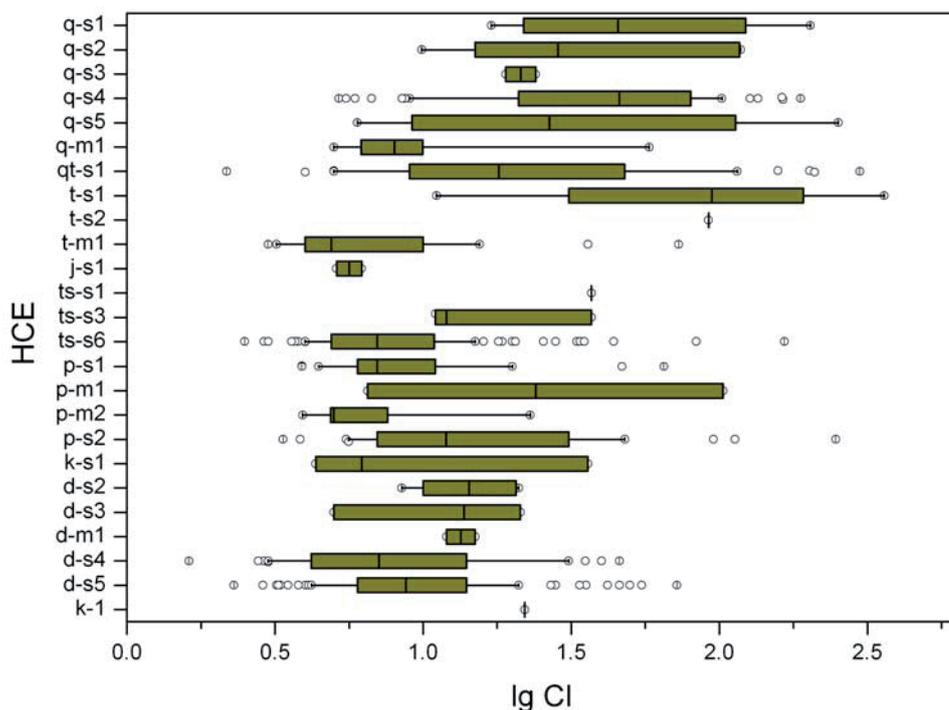


Abb. 3.6a, b: Box-Whisker-Diagramme für Chlorid (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [mg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							Komponenten- separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	4	17.0	203.0	80.5	17.0	17.0	22.5	51.0	138.5	203.0	203.0	
q-s2	5	9.9	118.0	57.7	9.9	9.9	15.0	28.5	117.0	118.0	118.0	
q-s3	2	19.0	24.0	21.5	19.0	19.0	19.0	21.5	24.0	24.0	24.0	
q-s4	61	5.2	188.0	56.0	6.7	9.0	21.0	46.0	80.0	102.0	135.0	95.0
q-s5	5	6.0	500.0	164.6	6.0	6.0	14.0	51.0	252.0	500.0	500.0	
q-m1	8	5.0	58.0	14.0	5.0	5.0	6.2	8.0	10.2	58.0	58.0	
qt-s1	48	2.2	298.0	41.0	5.0	5.0	9.0	18.0	48.0	115.0	202.0	33.0
t-s1	6	11.1	360.0	130.5	11.1	11.1	31.0	94.5	192.0	360.0	360.0	
t-s2	1	92.0	92.0	92.0								
t-m1	28	3.0	73.0	9.8	3.0	3.2	4.0	4.9	10.0	15.5	36.0	11.0
j-s1	2	5.1	6.2	5.7	5.1	5.1	5.1	5.7	6.2	6.2	6.2	
ts-s1	1	37.0	37.0	37.0								
ts-s3	3	11.0	37.0	20.0	11.0	11.0	11.0	12.0	37.0	37.0	37.0	
ts-s6	177	2.5	165.9	10.0	4.0	4.0	4.9	7.0	10.9	15.0	20.5	12.0
p-s1	29	3.9	65.0	11.3	3.9	4.4	6.0	7.0	11.0	20.0	47.0	10.0
p-m1	3	6.5	103.0	44.5	6.5	6.5	6.5	24.0	103.0	103.0	103.0	
p-m2	5	3.9	23.0	8.9	3.9	3.9	4.9	5.0	7.6	23.0	23.0	
p-s2	31	3.4	247.1	28.1	3.9	5.6	7.0	11.9	31.0	48.0	112.9	26.0
k-s1	3	4.3	36.0	15.5	4.3	4.3	4.3	6.2	36.0	36.0	36.0	
d-s2	6	8.5	21.0	14.8	8.5	8.5	10.0	14.5	20.6	21.0	21.0	
d-s3	3	5.0	21.3	13.3	5.0	5.0	5.0	13.7	21.3	21.3	21.3	21.3
d-m1	2	12.0	15.0	13.5	12.0	12.0	12.0	13.5	15.0	15.0	15.0	
d-s4	42	1.6	46.0	12.0	2.9	3.0	4.2	7.1	14.0	31.0	40.0	9.5
d-s5	122	2.3	72.0	12.0	3.5	4.2	6.0	8.8	14.0	21.0	33.8	20.0
k-1	1	22.0	22.0	22.0								

Anhang 3.7 Kohlenstoff (C) – Hydrogenkarbonat

Kohlenstoff als wichtiger Grundstoff aller organischen Substanzen ist in Gesteinen mit hohem Anteil an organischer Materie (z.B. Kohle, Erdöl), in Bodengasen (Kohlendioxid, Methan) und in Karbonatgesteinen angereichert (bis ca. 113.500 mg/kg). In Magmatiten stellt er einen unwesentlichen Bestandteil dar (bis ca. 320 mg/kg).

Im Wasser ist sein Auftreten durch das Kohlensäuregleichgewicht bzw. in Form des gebundenen CO₂ (Hydrogenkarbonat und Karbonat-Ion) sowie des freien CO₂ (gelöstes Kohlendioxid und undissoziierte Kohlensäure) von Bedeutung.

Das freie Kohlendioxid kann aus der Atmosphäre und aus der Bodenluft in das Grundwasser eingetragen werden. Kohlendioxid entsteht auch im Untergrund bei der Inkohlung, der Oxidation fossiler organischer und anthropogen organischer Substanzen sowie bei diagenetischen Prozessen. Kohlendioxid ist weiterhin Bestandteil endogener Exhalation. Ebenfalls kann es bei der Mischung verschieden harter Wässer und in Folge von Ionenaustauschprozessen freigesetzt werden.

Die Grundwässer der Einheiten q-s1, q-s2, q-s3 und qt-s1 zeigen relativ einheitliche Hydrogenkarbonatgehalte mit Medianwerten zwischen ca. 219 bis 281 mg/l.

Die im Vergleich höheren Konzentrationen der ebenfalls quartären Einheiten q-s4 und q-s5, der Einheiten t-s1 und t-s2 (Tertiär), ts-s1 und ts-s3 (Trias) sowie der paläozoischen Einheiten d-s2 und d-m1 korrespondieren mit den bei diesen Einheiten ebenfalls erhöhten Calciumkonzentrationen (Medianwerte zwischen 317 bis 416 mg/l).

Ebenfalls relativ hohe Gehalte an Hydrogenkarbonat weisen die Grundwässer der quartären Vulkanite (q-m1) und der permischen basischen (p-m1) Magmatite auf (Medianwerte zwischen 183 bis 219 mg/l). Die tertiären Vulkanite (t-m1) und permischen sauren (p-m2) Magmatite hingegen haben bei Medianwerten von 31 bis 62 mg/l im Vergleich geringe Konzentrationen.

Die geringen Hydrogenkarbonatgehalte beim Lias (j-s1; Medianwert 55 mg/l) und beim Zechstein (p-s1; 52 mg/l) werden ebenso wie beim Calcium auf bereits weitgehende Auslaugung des karbonatischen Zements der Sandsteine entlang der Wasserwegsamkeiten zurückgeführt.

Der überwiegend auf Quarz basierende Mineralbestand beim Buntsandstein (ts-s6) und den devonischen Sandsteinen und Quarziten (d-s4) spiegelt sich in den geringen Hydrogenkarbonatgehalten wider (Medianwerte 12 mg/l zw. 31 mg/l).

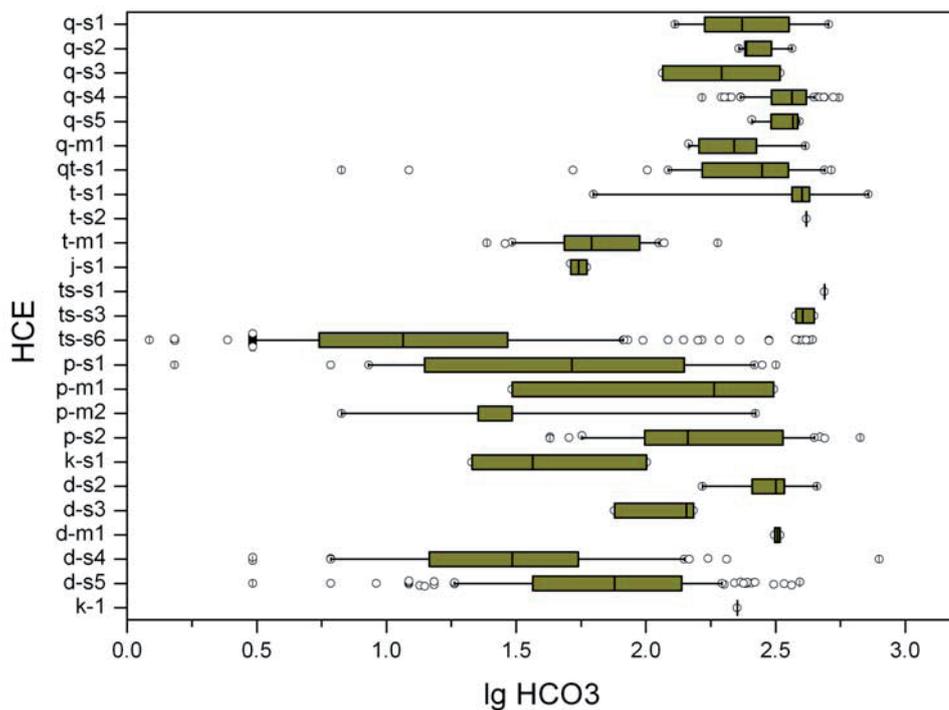


Abb. 3.7a, b: Box-Whisker-Diagramme für Hydrogenkarbonat (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [mg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							Komponenten- separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	4	129.4	506.4	276.4	129.4	129.4	174.5	234.9	378.3	506.4	506.4	
q-s2	5	228.8	366.1	277.0	228.8	228.8	241.0	244.1	305.1	366.1	366.1	
q-s3	2	115.9	329.5	222.7	115.9	115.9	115.9	222.7	329.5	329.5	329.5	
q-s4	61	164.7	555.3	356.0	201.4	231.9	305.1	366.1	414.9	445.4	485.7	385.0
q-s5	4	256.3	567.5	393.6	256.3	256.3	308.1	375.3	479.0	567.5	567.5	
q-m1	8	146.4	412.5	231.9	146.4	146.4	160.1	219.1	268.8	412.5	412.5	
qt-s1	48	6.7	518.6	271.9	52.5	122.0	164.7	280.7	353.9	488.1	518.6	380.0
t-s1	6	62.8	720.0	395.9	62.8	62.8	366.1	399.7	427.1	720.0	720.0	
t-s2	1	415.5	415.5	415.5								
t-m1	28	24.4	189.2	72.0	28.7	30.5	48.5	61.9	94.6	112.3	117.8	115.0
j-s1	2	51.3	59.2	55.2	51.3	51.3	51.3	55.2	59.2	59.2	59.2	
ts-s1	1	488.1	488.1	488.1								
ts-s3	3	378.3	445.4	408.8	378.3	378.3	378.3	402.7	445.4	445.4	445.4	
ts-s6	177	1.2	439.3	39.0	2.4	3.1	4.9	11.6	29.3	81.8	230.0	35.0
p-s1	29	1.5	317.3	91.9	6.1	8.5	14.0	51.9	140.3	262.4	280.7	80.0
p-m1	3	30.5	311.2	174.9	30.5	30.5	30.5	183.1	311.2	311.2	311.2	
p-m2	5	6.7	264.8	71.0	6.7	6.7	22.6	30.5	30.5	264.8	264.8	
p-s2	31	42.7	671.2	215.8	42.7	56.7	98.8	145.2	337.3	446.5	489.8	220.0
k-s1	3	21.4	100.7	52.9	21.4	21.4	21.4	36.6	100.7	100.7	100.7	
d-s2	6	165.3	456.3	309.0	165.3	165.3	256.3	317.2	341.7	456.3	456.3	
d-s3	3	75.7	152.5	123.9	75.7	75.7	75.7	143.4	152.5	152.5	152.5	
d-m1	2	313.6	329.5	321.6	313.6	313.6	313.6	321.6	329.5	329.5	329.5	
d-s4	42	3.1	793.2	63.5	3.1	6.1	14.6	30.5	54.9	140.9	173.9	60.0
d-s5	121	3.1	392.3	96.8	12.2	18.3	36.6	75.6	137.3	196.4	245.9	140.0
k-1	1	225.1	225.1	225.1								

Anhang 3.8 Kalium (K)

Der Kaliumgehalt magmatischer Gesteine ist ähnlich hoch wie der des Natriums. Kaliumträger bei den gesteinsbildenden Mineralen sind vor allem die Kalifeldspäte sowie die Glimmer Muskovit und Biotit. Das im Zuge der Verwitterung freigesetzte und abtransportierte Kalium wird meist wieder gebunden durch den Einbau in sekundäre Mineralneubildungen und/oder die Adsorption an Tonminerale. Hieraus resultiert eine im Vergleich zum Natrium relative Anreicherung in Tonen und eine relative Abreicherung im Meerwasser. Erhebliche Kaliumanreicherungen finden sich in Verdunstungslagerstätten (Kaliumsalze).

Als Grundstoff der chemischen Industrie wird Kalium durch anthropogene Aktivitäten in erheblichem Maße in Form verschiedenster Verbindungen in die Umwelt freigesetzt.

Kalium kommt im Regenwasser mit Gehalten von 0,1 mg/l bis mehrere Milligramm pro Liter vor. Grundwasser unter landwirtschaftlich genutzten Flächen kann in Folge von Düngung erheblich erhöhte Gehalte aufweisen. Als biophiles Element tritt es auch in Erdöllagerstätten in erhöhten Konzentrationen auf. Die Kaliumgehalte im Grundwasser liegen meist im Bereich von 1 bis 8 mg/l; Konzentrationen im Bereich von 10er Milligramm pro Liter sind ungewöhnlich. Ausnahmen bilden hier Grundwässer abflussloser Becken und Mineralwässer.

Die Medianwerte aller hydrochemischen Einheiten liegen im Bereich zwischen etwa 1 bis 8 mg/l.

In den Grundwässern der quartären Grundwasserleiter sind die Kaliumgehalte mit etwa 2 bis 8 mg/l tendenziell etwas höher als in denen der triassischen und paläozoischen Grundwasserleiter (1 bis 4 mg/l; jeweils Medianwerte).

Der höchste Medianwert wurde für die quartären Vulkanite ermittelt (7,6 mg/l). Er dürfte in den vergleichsweise hohen Anteilen der kaliumhaltigen Minerale Leucit und Nephelin begründet sein.

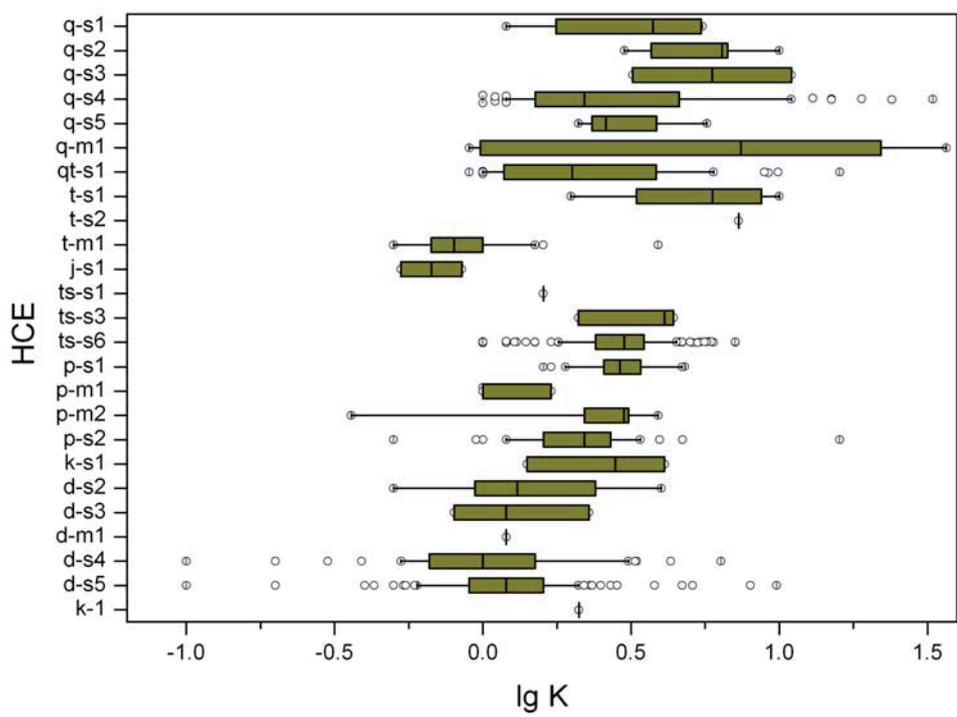


Abb. 3.8a, b: Box-Whisker-Diagramme für Kalium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [mg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile								Komponenten-separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%		
q-s1	4	1.2	5.5	3.7	1.2	1.2	1.9	4.0	5.5	5.5	5.5		
q-s2	5	3.0	10.0	6.0	3.0	3.0	3.7	6.4	6.7	10.0	10.0		
q-s3	2	3.2	11.0	7.1	3.2	3.2	3.2	7.1	11.0	11.0	11.0		
q-s4	61	1.0	33.0	4.7	1.1	1.2	1.5	2.2	4.6	11.0	15.0	5.0	
q-s5	4	2.6	7.7	4.7	2.6	2.6	2.6	4.2	6.7	7.7	7.7		
q-m1	8	0.9	36.6	12.7	0.9	0.9	1.0	7.6	23.7	36.6	36.6		
qt-s1	48	0.9	16.0	3.0	1.0	1.0	1.2	2.0	3.9	6.0	9.2	3.0	
t-s1	6	2.0	10.0	6.0	2.0	2.0	3.3	6.1	8.7	10.0	10.0		
t-s2	1	7.3	7.3	7.3									
t-m1	28	0.5	3.9	1.0	0.5	0.5	0.7	0.8	1.0	1.5	1.6	1.0	
j-s1	2	0.5	0.9	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	0.9	0.9		
ts-s1	1	1.6	1.6	1.6									
ts-s3	3	2.1	4.4	3.5	2.1	2.1	2.1	4.1	4.4	4.4	4.4		
ts-s6	177	1.0	7.1	3.1	1.2	1.8	2.4	3.0	3.5	4.5	5.6	4.0	
p-s1	29	1.6	4.8	3.1	1.7	1.9	2.6	2.9	3.4	4.7	4.7	3.5	
p-m1	3	1.0	1.7	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.7	1.7	1.7		
p-m2	5	0.4	3.5	2.5	0.4	0.4	2.2	3.0	3.1	3.9	3.9		
p-s2	31	0.5	16.0	2.7	1.0	1.2	1.6	2.2	2.7	3.4	4.7	4.0	
k-s1	3	1.4	4.1	2.8	1.4	1.4	1.4	2.8	4.1	4.1	4.1		
d-s2	6	0.5	4.0	1.7	0.5	0.5	0.9	1.3	2.4	4.0	4.0		
d-s3	3	0.8	2.3	1.4	0.8	0.8	0.8	1.2	2.3	2.3	2.3		
d-m1	2	1.2	1.2	1.2									
d-s4	42	0.1	6.4	1.3	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	3.1	3.3	1.8	
d-s5	122	0.1	9.8	1.5	0.5	0.6	0.9	1.2	1.6	2.1	2.8	2.0	
k-1	1	2.1	2.1	2.1									

Anhang 3.9 Magnesium (Mg)

Magnesium steht mit 2,1 Gewichts-% an der 8. Stelle der häufigen Elemente der Erdkruste. Hauptträger sind die Minerale der Olivin-Reihe, die Granate, die Minerale der Pyroxen-, Amphibol-, Glimmer- und Chloritgruppe, Talk, Serpentin sowie Tonminerale. Außerdem ist Magnesium in einer Vielzahl von mineralischen Nebengemengteilen enthalten.

Nach Lösung und Transport erfolgt die Anreicherung in den Präzipitaten, vor allem in den Karbonaten (Dolomit, Magnesium-Kalzit). Magnesium findet sich in Salzlagerstätten marinen Ursprungs als z.B. Bischofit, Kieserit und Carnallit sowie in terrestrischen Evaporiten.

Nicht unerheblich ist der Anteil an Magnesium, der in Sedimenten nicht an Kristallgittern, sondern an Austauschplätze von Sorbenten gebunden ist.

Die Magnesiumkonzentrationen im Niederschlagswasser liegen in der Größenordnung von 0,1 mg/l bis wenige Milligramm pro Liter. Das Magnesium stammt aus dem Meer und dem Staub magnesiumhaltiger Gesteine.

Darüber hinaus erfolgt die Freisetzung von Magnesium in die Umwelt in gelöster und partikulärer Form im Zuge der industriellen Gewinnung und Verarbeitung der Rohstoffe. In Form von Magnesiumphosphat und Dolomit wird Magnesium als Dünger in der Land- und Forstwirtschaft eingesetzt. Typische Magnesiumkonzentrationen in süßen Grundwässern liegen meist im Bereich von etwa 4 bis 40 mg/l.

Die Magnesiumgehalte in den quartären Grundwasserleitern liegen im Bereich von etwa 12 bis 30 mg/l (Medianwerte). Deutlich höhere Gehalte werden auf anthropogene bzw. landwirtschaftliche Einflüsse zurückgeführt.

Die Grundwässer der karbonatischen tertiären Einheiten (t-s1 und t-s2) sowie der Keuper (ts-s1) und Muschelkalk (ts-s3) weisen mit 47 bis 60 mg/l (Medianwerte) im Vergleich höhere Magnesiumkonzentrationen auf.

Der geringe Magnesiumgehalt bei den Grundwässern des Lias (j-s1) ist ebenso wie beim Calcium und Hydrogenkarbonat auf die weitgehende Auslaugung des karbonatischen Zements entlang der Wasserwegsamkeiten zurückzuführen.

Die Grundwässer der devonischen Karbonate (d-s2) und karbonatischen Sandsteine und Schiefer (d-s3) führen nur etwa 17 mg/l (Medianwerte) Magnesium und weisen auf überwiegend Kalzit basierende Karbonate hin.

Bei den Magmatiten liegen die Magnesiumgehalte im Wesentlichen im Bereich von 2 bis 17 mg/l (Medianwerte). Im Kristallin (k-1) ist das Magnesium mit ca. 24 mg/l erhöht (Einzelwert). bei den basischen Magmatiten des Perm (p-m1) ist der Gehalt mit ca. 3 mg/l bemerkenswert gering (Medianwerte).

Die Grundwässer des überwiegend aus Quarzmineralen bestehenden Buntsandstein und den devonischen Sandsteinen und Quarziten enthalten etwa 3 mg/l Magnesium.

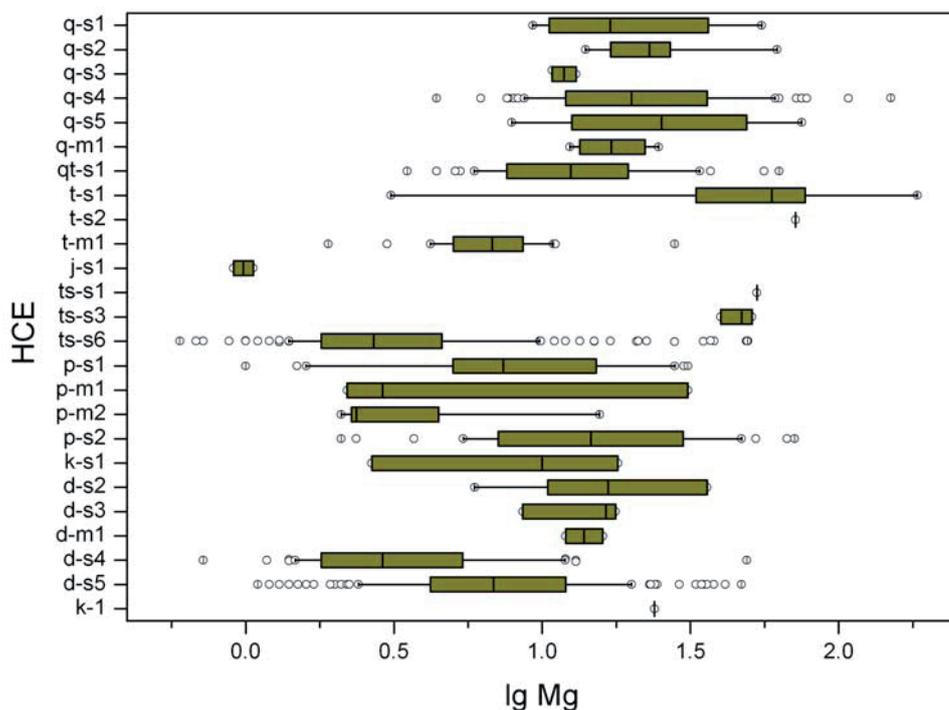


Abb. 3.9a, b: Box-Whisker-Diagramme für Magnesium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [mg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							Komponenten-separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	4	9.3	55.0	25.1	9.3	9.3	10.7	18.0	39.5	55.0	55.0	
q-s2	5	14.0	62.0	28.6	14.0	14.0	17.0	23.0	27.0	62.0	62.0	
q-s3	2	10.8	13.0	11.9	10.8	10.8	10.8	11.9	13.0	13.0	13.0	
q-s4	61	4.4	150.0	29.6	7.7	8.7	12.0	20.0	36.0	61.0	75.0	30.0
q-s5	4	7.9	75.0	35.7	7.9	7.9	18.0	30.0	53.5	75.0	75.0	
q-m1	8	12.4	24.7	17.8	12.4	12.4	13.4	17.2	22.2	24.7	24.7	
qt-s1	48	3.5	63.0	15.9	5.1	5.9	7.6	12.5	19.5	34.0	37.0	23.0
t-s1	6	3.1	184.0	69.5	3.1	3.1	33.0	60.0	77.0	184.0	184.0	
t-s2	1	71.5	71.5	71.5								
t-m1	28	1.9	28.0	7.4	3.0	4.2	5.0	6.8	8.6	10.9	11.1	10.0
j-s1	2	0.9	10.6	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	
ts-s1	1	53.0	53.0	53.0								
ts-s3	3	40.0	51.0	46.0	40.0	40.0	40.0	47.0	51.0	51.0	51.0	
ts-s6	177	0.6	49.4	5.3	1.2	1.4	1.8	2.7	4.6	9.8	21.1	5.0
p-s1	29	1.0	31.0	10.5	1.5	1.6	5.0	7.4	15.2	28.0	30.0	10.0
p-m1	3	2.2	31.0	12.0	2.2	2.2	2.2	2.9	31.0	31.0	31.0	
p-m2	5	2.1	15.6	5.4	2.1	2.1	2.3	2.4	4.5	15.6	15.6	
p-s2	31	2.1	71.0	20.5	2.4	5.4	7.1	14.6	29.9	47.0	67.0	24.0
k-s1	3	2.3	18.0	10.2	2.7	2.7	2.7	10.0	18.0	18.0	18.0	
d-s2	6	5.9	36.0	20.5	5.9	5.9	10.5	17.2	36.0	36.0	36.0	
d-s3	3	8.6	17.7	14.2	8.6	8.6	8.6	16.4	17.7	17.7	17.7	
d-m1	2	12.0	16.0	14.0	12.0	12.0	12.0	14.0	16.0	16.0	16.0	
d-s4	42	0.7	49.0	5.4	1.4	1.5	1.8	2.9	5.4	12.0	13.0	4.5
d-s5	122	1.1	47.0	9.9	1.7	2.4	4.2	6.8	12.0	20.0	33.0	10.0
k-1	1	23.9	23.9	23.9								

Anhang 3.10 Natrium (Na)

Natrium ist das sechsthäufigste Element der Erdkruste (ca. 2,8 Gewichts-%). Es liegt in gebundener Form in Feldspäten, Hornblenden, Glimmern und Tonmineralen sowie Halogenverbindungen vor.

Die Löslichkeit der Natriumsalze ist sehr hoch. Dies führt bei langsamer Grundwasserbewegung zu relativ erhöhten Konzentrationen bzw. entsprechender Abreicherung in den Resistaten. Die begrenzte sorptive Bindung an Tonminerale und andere Sorbenten bedingt die Anreicherung im Meerwasser (wichtigstes Kation) und in Verdunstungslagerstätten (vor allem Halit).

Die Freisetzung von Natrium erfolgt durch Verwitterungsprozesse sowie durch Ionenaustausch- und Membraneffekte bei Ersatz durch Calcium-Ionen.

Die Natriumgehalte im Niederschlagswasser liegen im Bereich von 0,2 mg/l bis wenige Milligramm pro Liter. In Meeresnähe können die Gehalte erhöht sein. Im Wesentlichen wird die Herkunft jedoch terrestrischem Staub zugeschrieben.

Als ein wesentlicher Grundstoff der chemischen Industrie wird Natrium durch anthropogene Aktivitäten in Form verschiedenster Verbindungen in erheblichem Maße in die Umwelt freigesetzt und gelangt in das Grundwasser.

Die Natriumgehalte in süßen Grundwässern humider Klimate liegen meist im Bereich von 1 bis 20 mg/l.

Die Medianwerte der Grundwässer in den quartären Grundwasserleitern liegen im Bereich von 9 bis 42 mg/l. Der Vergleich mit den übrigen, nicht salinaren Einheiten lässt vermuten, dass die Datensätze eine, die geogene Komponente des oberflächennahen Grundwassers überlagernde Komponente enthalten.

Vergleicht man den durch Komponentenseparation abgeschätzten geogenen Anteil der Einheit q-s4 (36 mg/l) mit dem des Chlorids (95 mg/l), so fällt ein Verhältnis der Äquivalentkonzentrationen von etwa 1:2 auf. Dies könnte in Teilgebieten auf der hydraulisch bedingten Zumischung von Natriumchlorid-haltigen Wässern tieferer Grundwasserleiter beruhen (Bildung von CaCl-Wässern, vgl. Schwille 1953, Mattheß 1990).

Die Grundwässer der Pliozän-quartären Terrassensedimente (qt-s1) hingegen sind offenbar frei von Einflüssen überlagernder Komponenten (Medianwert 9,3 mg/l).

Der mit 30,5 mg/l hohe Medianwert der Einheit t-s1 wird auf eine im Datensatz noch enthaltene anthropogene Komponente zurückgeführt. Für die Einheit t-s2 (Mittelwert 28,5 mg/l) lässt sich dies nicht klären, da die Einheit primär als anteilig salinar gilt.

Die salinare Einheit des Keupers (ts-s1) ist offensichtlich weitgehend ausgelaugt (Mittelwert 5,3 mg/l).

Die übrigen Einheiten weisen Medianwerte im Bereich von 5 bis 10 mg/l auf; Ausnahme bilden die basischen Magmatite des Rotliegend (16 mg/l; Medianwert).

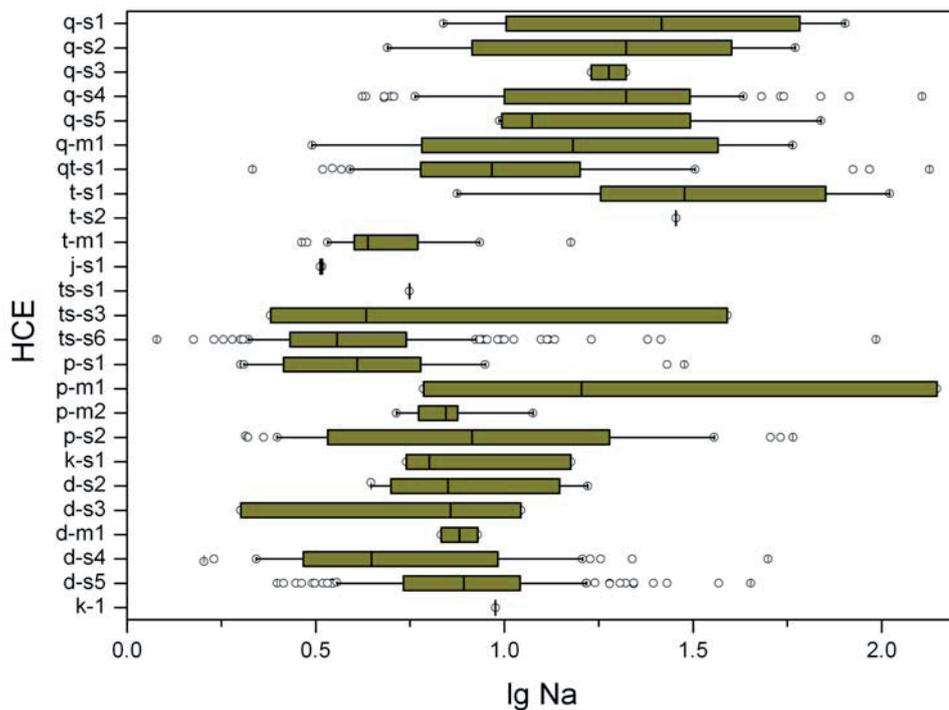


Abb. 3.10a, b: Box-Whisker-Diagramme für Natrium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [mg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							Komponenten-separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	4	6.9	80.0	36.9	6.9	6.9	10.9	30.4	63.0	80.0	80.0	
q-s2	5	4.9	59.0	26.6	4.9	4.9	8.2	21.0	40.0	59.0	59.0	
q-s3	2	17.0	21.0	19.0	17.0	17.0	17.0	19.0	21.0	21.0	21.0	
q-s4	61	4.2	128.0	24.3	4.8	5.8	10.0	21.0	31.0	43.0	55.0	36.0
q-s5	4	10.0	330.0	105.8	10.0	10.0	12.0	41.5	199.5	330.0	330.0	
q-m1	8	3.1	58.1	22.2	3.1	3.1	6.0	15.2	37.0	58.1	58.1	
qt-s1	48	2.2	134.0	18.1	3.5	3.9	6.0	9.3	16.0	32.0	84.0	15.0
t-s1	6	7.5	105.0	43.8	7.5	7.5	18.0	30.5	71.0	105.0	105.0	
t-s2	1	28.5	28.5	28.5								
t-m1	28	2.9	15.0	5.5	3.0	3.4	4.0	4.4	5.9	8.6	15.0	6.0
j-s1	2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	
ts-s1	1	5.6	5.6	5.6								
ts-s3	3	2.4	39.0	15.2	2.4	2.4	2.4	4.3	39.0	39.0	39.0	
ts-s6	177	1.2	96.7	5.1	1.8	2.1	2.7	3.6	5.5	8.4	10.6	6.0
p-s1	29	2.0	30.0	5.8	2.0	2.0	2.6	4.1	6.0	8.9	27.0	6.0
p-m1	3	6.1	140.0	54.0	6.1	6.1	6.1	16.0	140.0	140.0	140.0	
p-m2	5	5.2	11.9	7.5	5.2	5.2	5.9	7.0	7.5	11.9	11.9	
p-s2	31	2.1	58.3	14.8	2.1	2.5	3.4	8.2	19.0	36.0	53.9	14.0
k-s1	3	5.5	15.0	8.9	5.5	5.5	5.5	6.3	15.0	15.0	15.0	
d-s2	6	4.4	16.6	9.1	4.4	4.4	5.0	7.2	14.0	16.6	16.6	
d-s3	3	2.0	11.1	6.8	2.0	2.0	2.0	7.2	11.1	11.1	11.1	
d-m1	2	6.8	8.5	7.7	6.8	6.8	6.8	7.7	8.5	8.5	8.5	
d-s4	42	1.6	50.0	7.6	1.7	2.2	2.9	4.5	9.6	16.1	18.0	5.5
d-s5	122	2.5	45.0	9.3	3.1	3.6	5.4	7.8	11.0	16.5	21.0	19.0
k-1	1	9.5	9.5	9.5								

Anhang 3.11 Stickstoff (N) – Nitrat

Etwa $\frac{3}{4}$ des gesamten Stickstoffs ist als Stickstoffgas in der Atmosphäre enthalten. Weiterer erhebliche Anteil ist in den Böden und in den organischen Substanzen gebunden. Für die Lithosphäre wird der Anteil mit 600 mg/kg angegeben (feinkörnige Sedimente).

Lösliche Stickstoffverbindungen können sich in abflusslosen Becken arider Gebiete anreichern und mineralische Lagerstätten bilden.

Stickstoffverbindungen werden bei biologischen Prozessen umgesetzt. Stickstoff wird von Pflanzen in Form von Nitrat aufgenommen. Organisch gebundener Stickstoff kann über verschiedene Stufen unter Gegenwart von Sauerstoff zu Nitrat oxidiert werden. Umgekehrt können Mikroorganismen bei Anwesenheit von Reduktionsmitteln Nitrat zu elementarem Stickstoff oder Ammonium reduzieren.

Neben der Steuerung des Stickstoffhaushalts im Boden durch die Pflanzen können Düngung (Nitratminerale) und Massentierhaltung sowie feste und flüssige Abfallstoffe das örtliche Angebot an löslichen Stickstoffverbindungen erhöhen. Ebenfalls tragen Stockoxide aus Abgasen zu einem wesentlichen flächigen Stickstoffeintrag in den Boden und das Grundwasser bei.

Die Nitratgehalte in den Grundwässern liegen überwiegend unter 15 mg/l, können in landwirtschaftlich genutzten Gebieten jedoch um etwa eine Größenordnung höher sein.

Ammonium erreicht unter reduzierenden Bedingungen nur geringe Konzentrationen im Grundwasser. Nitrit ist selten und in nur sehr geringen Mengen im Grundwasser nachzuweisen.

Bei der Auswertung der Daten zur Beschaffenheit der Grundwässer in Rheinland-Pfalz wurde ein Nitratgehalt >15 mg/l als Präselektionskriterium verwendet.

Die Medianwerte der ausgewerteten Datensätze liegen zwischen 0,4 bis 10,3 mg/l.

Bemerkenswert sind die sehr geringen Gehalte in den jüngeren (q-s4) und Älteren (q-s5) Rhein-Terrassen, den Pliozän-quartären Terrassensedimenten (qt-s1) sowie den tertiären Einheiten t-s1 und ts-2 (Medianwerte 0,4 bis 1,8 mg/l). Bei gleichzeitig intensiver landwirtschaftlicher Flächennutzung im Verbreitungsbereich dieser Einheiten werden sie auf Nitratreduktion bei reduzierenden Verhältnissen im Grundwasser zurückgeführt.

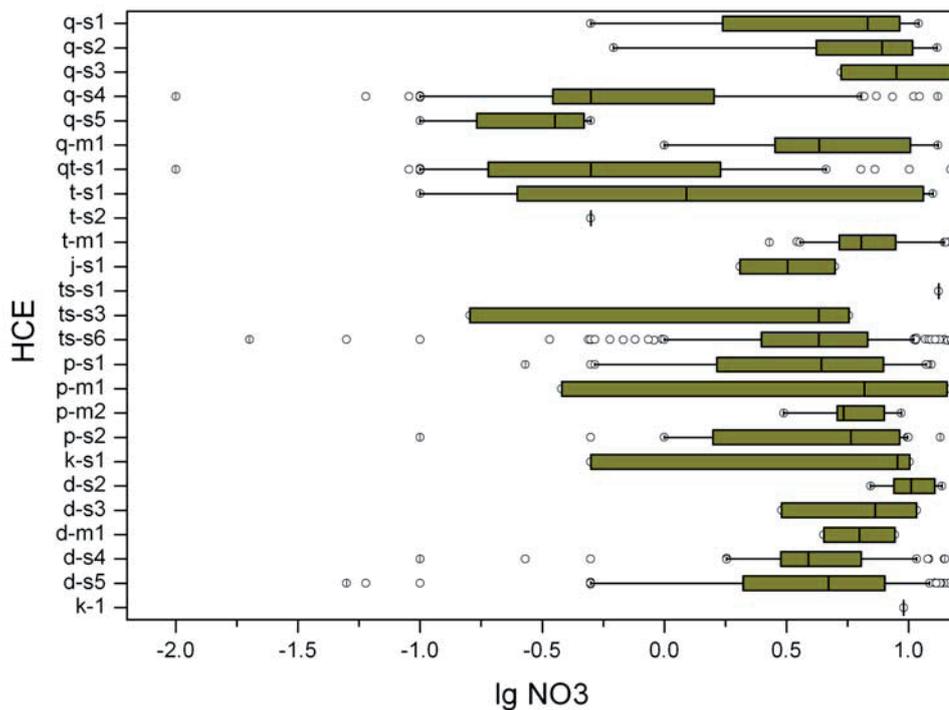


Abb. 3.11a, b: Box-Whisker-Diagramme für Nitrat (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [mg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							Komponenten-separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	4	0.5	11.0	6.3	0.5	0.5	3.3	6.9	9.4	11.0	11.0	
q-s2	5	0.6	13.1	7.2	0.6	0.6	4.2	7.8	10.4	13.1	13.1	
q-s3	2	5.3	15.0	10.2	5.3	5.3	5.3	10.2	15.0	15.0	15.0	
q-s4	61	0.1	13.2	1.8	0.1	0.1	0.4	0.5	1.6	6.4	8.6	1.0
q-s5	4	0.1	14.7	3.9	0.1	0.1	0.2	0.4	7.6	14.7	14.7	
q-m1	8	1.0	13.2	6.2	1.0	1.0	2.9	4.4	10.4	13.2	13.2	
qt-s1	48	0.1	14.9	1.6	0.1	0.1	0.2	0.5	1.7	4.6	7.3	1.0
t-s1	6	0.1	12.6	4.7	0.1	0.1	0.3	1.8	11.5	12.6	12.6	
t-s2	1	0.5	0.5	0.5								
t-m1	28	2.7	14.8	7.3	3.5	3.6	5.2	6.4	8.9	14.0	14.2	9.0
j-s1	2	2.0	5.0	3.5	2.0	2.0	2.0	3.5	5.0	5.0	5.0	
ts-s1	1	13.3	13.3	13.3								
ts-s3	3	0.2	5.7	3.4	0.2	0.2	0.2	4.3	5.7	5.7	5.7	
ts-s6	177	0.1	15.0	5.0	0.5	1.0	2.5	4.3	6.8	10.5	12.4	6.0
p-s1	29	0.3	12.4	5.2	0.5	0.5	1.6	4.4	7.9	11.8	12.0	6.0
p-m1	3	0.4	14.4	7.1	0.4	0.4	0.4	6.6	14.4	14.4	14.4	
p-m2	5	3.1	9.4	6.2	3.1	3.1	5.1	5.4	7.9	9.4	9.4	
p-s2	31	0.1	13.5	5.9	0.1	1.0	1.6	5.8	9.2	9.9	13.5	10.0
k-s1	3	0.5	10.1	6.5	0.5	0.5	0.5	9.0	10.1	10.1	10.1	
d-s2	6	7.0	13.7	10.5	7.0	7.0	8.7	10.3	12.8	13.7	13.7	
d-s3	3	3.0	10.8	7.0	3.0	3.0	3.0	7.3	10.8	10.8	10.8	
d-m1	2	4.5	8.8	6.7	4.5	4.5	4.5	6.7	8.8	8.8	8.8	
d-s4	42	0.1	14.1	5.1	0.5	1.8	3.0	3.9	6.4	10.8	12.1	4.6
d-s5	122	0.1	14.8	5.4	0.1	0.5	2.0	4.6	8.0	12.2	13.5	6.2
k-1	1	9.6	9.6	9.6								

Anhang 3.12 Schwefel (S) – Sulfat

Der Anteil von Schwefel in der oberen Erdkruste beträgt etwa 0,05 %. Schwefel tritt in vier Oxidationsstufen auf.

Die Gase Schwefelwasserstoff und Schwefeldioxid werden als Ausgasungen von Schwefelquellen und in Vulkangasen freigesetzt. Sie sind wasserlöslich. Bei der Lösung in Wasser entsteht schweflige Säure bis Schwefelsäure.

Schwefel ist überwiegend als Sulfid und Sulfat in magmatischen und metamorphen Gesteinen sowie in Sedimenten enthalten. Am stärksten angereichert ist der Schwefel in Evaporiten.

Schwefel ist ein biophiler Stoff, der in organischen Verbindungen in Pflanzen und Tieren enthalten ist.

Schwefelverbindungen werden durch den Menschen vor allem beim Verbrennen fossiler Brennstoffe in Form von Schwefeldioxid sowie beim Düngen als Sulfat freigesetzt.

Im Grundwasser liegt der Schwefel fast ausschließlich als Sulfat vor; bei stark reduzierenden Verhältnissen im Wesentlichen als Schwefelwasserstoff. Elementarer Schwefel bildet sich durch Sublimation in Vulkanen und Schwefelquellen sowie durch Reduktion organischer Substanz.

Niederschlagswässer in ländlichen Gebieten enthalten meist weniger als 15 mg/l Sulfat; in Industriegebieten können 30 bis 450 mg/l erreicht werden.

Die Sulfatgehalte in Grundwässern weisen meist Konzentrationen unterhalb etwa 125 mg/l auf. In gipsführenden Gesteinen können die Sulfatgehalte die Sättigungskonzentration des Gipses erreichen (ca. 1.400 mg/l).

Die in den hydrochemischen Einheiten gemessenen Sulfatgehalte liegen zwischen 6 bis 210 mg/l (Medianwerte).

Die höchsten Konzentrationen wurden in den Grundwässern der tertiären Einheiten t-s1 bzw. t-s2 festgestellt (Median 210 mg/l bzw. Einzelwert 305 mg/l). Zumindest die Einheit t-s2 ist als primär sulfatisch eingestuft.

In den Grundwässern der quartären Einheiten (q-s1 bis q-s5 sowie qt-s1) sind die Sulfatgehalte mit 48 bis 96 mg/l gegenüber den Werten der mesozoischen und paläozoischen Einheiten leicht erhöht (6 bis 60 mg/l; jeweils Medianwerte). Auffallend ist bei den quartären Einheiten des nördlichen Oberrheingrabens die große Spanne zwischen Medianwert und Wert des 90 %-Perzentils. Sie wird auf eine deutliche ubiquitäre Überprägung zurückgeführt.

Der geringe Sulfatgehalt (14 mg/l; Median) für das Grundwasser des Keuper (ts-s1) lässt auf die weitgehende Auslaugung der ehemals vorhandenen Sulfatminerale schließen.

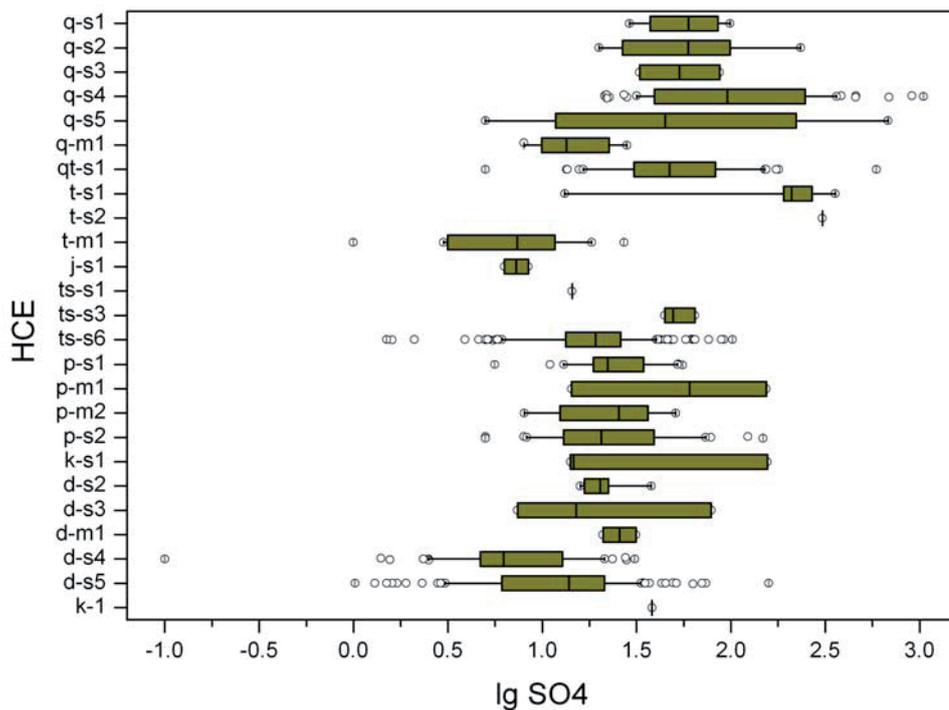


Abb. 3.12a, b: Box-Whisker-Diagramme für Sulfat (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [mg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							Komponenten-separation
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	4	29.0	99.0	62.5	29.0	29.0	38.5	60.9	86.5	99.0	99.0	
q-s2	5	20.0	234.0	87.8	20.0	20.0	26.6	59.4	99.1	234.0	234.0	
q-s3	2	32.8	87.2	60.0	32.8	32.8	32.8	60.0	87.2	87.2	87.2	
q-s4	61	21.4	1050.0	177.8	22.7	31.7	39.4	95.5	248.0	363.0	460.5	130.0
q-s5	4	5.0	680.0	219.6	5.0	5.0	38.8	96.8	400.5	680.0	680.0	
q-m1	8	8.0	28.1	16.1	8.0	8.0	10.0	13.7	22.7	28.1	28.1	
qt-s1	48	5.0	590.2	71.8	13.6	16.5	30.7	47.5	83.0	151.0	174.0	105.0
t-s1	6	13.2	357.0	208.2	13.2	13.2	190.0	209.7	269.5	357.0	357.0	
t-s2	1	305.0	305.0	305.0								
t-m1	28	1.0	27.1	8.3	1.0	3.0	3.2	7.4	11.7	18.3	18.3	16.0
j-s1	2	6.3	8.4	7.4	6.3	6.3	6.3	7.4	8.4	8.4	8.4	
ts-s1	1	14.4	14.4	14.4								
ts-s3	3	44.6	64.5	52.8	44.6	44.6	44.6	49.4	64.5	64.5	64.5	
ts-s6	177	1.5	102.1	22.3	5.0	6.1	13.3	19.2	26.0	40.2	57.8	31.0
p-s1	29	5.6	55.5	25.9	11.0	13.0	18.7	22.2	34.5	52.1	52.6	25.0
p-m1	3	14.3	154.0	76.2	14.3	14.3	14.3	60.3	154.0	154.0	154.0	
p-m2	5	8.1	51.0	26.6	8.1	8.1	12.4	25.5	36.3	51.0	51.0	
p-s2	31	5.0	148.0	20.6	5.0	8.3	13.0	20.6	39.2	73.5	123.0	23.0
k-s1	3	14.1	156.0	61.6	14.1	14.1	14.1	14.7	156.0	156.0	156.0	
d-s2	6	15.9	37.8	22.3	15.9	15.9	16.7	20.3	22.5	37.8	37.8	
d-s3	3	7.4	78.7	33.7	7.4	7.4	7.4	15.1	78.7	78.7	78.7	
d-m1	2	21.0	31.4	26.2	21.0	21.0	21.0	26.2	31.4	31.4	31.4	
d-s4	42	0.1	30.9	9.1	1.6	2.5	4.7	6.3	12.8	21.4	27.6	9.5
d-s5	122	1.0	159.0	17.1	1.7	3.1	6.1	13.9	21.4	33.3	45.1	21.0
k-1	1	38.2	38.2	38.2								

NEBENINHALTSSTOFFE

Anhang 3.13 Bor (B)

Die Borkonzentrationen in Magmatiten liegen im Bereich um 7,5 mg/kg (Spurenstoff). Aufgrund von Anreicherung des relativ verwitterungsresistenten borhaltigen Schwerminerals Turmalin ist Bor in Sedimentgesteinen relativ angereichert. Bor tritt ferner u.a. in Biotit, Amphibol sowie in vulkanischen Gasen auf. In ariden Gebieten kann es zur Bildung von Verdunstungslagerstätten kommen.

Bor ist ein wesentlicher Pflanzennährstoff.

In der Industrie wird Bor u.a bei der Herstellung von Stahllegierungen, Halbleitern und Gläsern verwendet. Es wird ferner genutzt zur Produktion von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie Arznei- und Lebensmitteln. Bor kann Indikator für Grundwasserverunreinigungen genutzt werden. Als Bestandteil von Waschmitteln findet es sich in Abwässern und Industrieabfällen.

Die Borkonzentrationen im Grundwasser liegen meist deutlich unter 1 mg/l. Grundwässer in Vulkangebieten, vulkanogene Thermalquellen sowie Formationswässer aus Ölfeldern können erhebliche Borgehalte erreichen (10 mg/l bis >100 mg/l).

Die Medianwerte der Borkonzentrationen in den rheinland-pfälzischen Grundwässern liegen im Bereich von 5 bis 113 µg/l. Dieser Wertebereich ist in guter Übereinstimmung mit Gehalten, die für Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelt wurde (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Borkonzentrationen größer ca. 75 µg/l treten in den Grundwässern tertiärer und quartärer Grundwasserleiter auf. Insbesondere im dicht besiedelten Verbreitungsbereich der Jüngeren und Älteren Rhein-Terrassen im ORG (q-s4 und q-s5) sowie der Sande und Kiese der Niederterrassen (q-s2) sind hohe Borgehalte belegt und könnten dort eine anthropogene Beeinflussung andeuten.

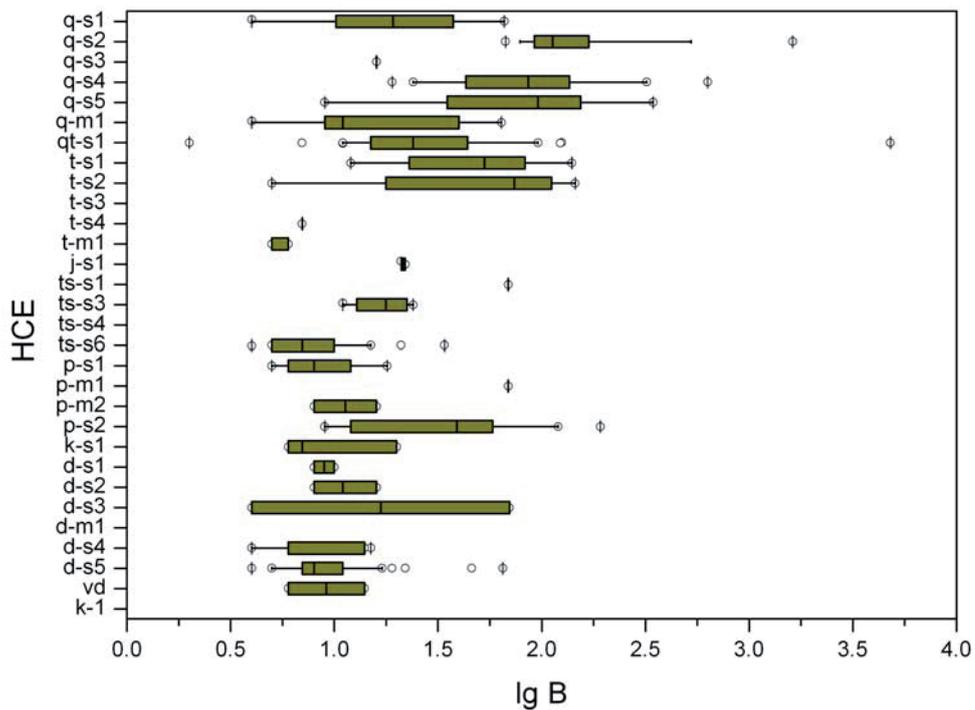


Abb. 3.13a, b: Box-Whisker-Diagramme für Bor (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [$\mu\text{g/l}$]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	8	4	66	26	5.4	6.8	11.8	19.5	35.0	50.6	58.3
q-s2	10	67	1622	271	78.3	89.5	95.5	113.0	167.3	315.2	968.6
q-s3	2	16	16	16	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
q-s4	15	19	631	139	22.5	26.4	48.0	86.0	132.0	291.8	414.0
q-s5	9	9	345	119	17.0	25.0	35.0	96.0	154.0	230.6	287.8
q-m1	9	4	64	24	4.8	5.6	9.0	11.0	40.0	54.4	59.2
qt-s1	35	2	4804	171	9.8	11.0	15.0	24.0	44.0	95.2	123.6
t-s1	7	12	140	56	15.3	18.6	26.0	53.0	69.0	105.8	122.9
t-s2	4	5	145	75	13.7	22.4	48.5	74.5	100.8	127.3	136.2
t-s3	0										
t-s4	1	7	7	7							
t-m1	3	5	6	5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.8	5.9
j-s1	2	21	22	22	21.1	21.1	21.3	21.5	21.8	21.9	22.0
ts-s1	1	69	69	69							
ts-s3	4	11	24	18	11.6	12.2	14.0	18.0	21.8	23.1	23.6
ts-s4	0										
ts-s6	25	4	34	9	5.0	5.0	5.0	7.0	10.0	13.8	19.8
p-s1	9	5	18	9	5.4	5.8	6.0	8.0	12.0	14.8	16.4
p-m1	1	69	69	69							
p-m2	2	8	16	12	8.4	8.8	10.0	12.0	14.0	15.2	15.6
p-s2	13	9	192	52	9.0	9.0	12.0	39.0	58.0	114.0	148.8
k-s1	3	6	20	11	6.1	6.2	6.5	7.0	13.5	17.4	18.7
d-s1	2	8	10	9	8.1	8.2	8.5	9.0	9.5	9.8	9.9
d-s2	3	8	16	12	8.3	8.6	9.5	11.0	13.5	15.0	15.5
d-s3	2	4	70	37	7.3	10.6	20.5	37.0	53.5	63.4	66.7
d-m1	0										
d-s4	11	4	15	9	4.0	4.0	6.0	6.0	12.5	14.0	14.5
d-s5	52	4	65	11	5.0	5.0	7.0	8.0	11.0	16.9	22.0
vd-1	2	6	14	10	6.4	6.8	8.0	10.0	12.0	13.2	13.6
k-1	0										

Anhang 3.14 Eisen (Fe)

Eisen ist mit einem Massenanteil von etwa 6 % das fünfthäufigste Element in der Erdkruste. Es ist eines der wichtigsten Bestandteile der Magmatite und kommt vor allem in den dunklen Mineralen vor. Bei der Verwitterung freiwerdendes Eisen wird in wenig lösliche Oxide und Hydroxide überführt. Der niedrige Eisengehalt im Meerwasser zeigt die geringe hydrochemische Beweglichkeit des Eisens an.

Eisen spielt eine wichtige Rolle bei biochemischen Prozessen von Pflanzen und Tieren.

Die häufigste im Grundwasser gelöste Eisenspezies ist das zweiwertige Eisenion. Die Löslichkeit ist abhängig vom EH- und pH-Wert. Sein Vorkommen wird durch Mikroorganismen beeinflusst. Erhöhte Gehalte an zweiwertigem Eisen können Anzeiger reduzierender Verhältnisse auch durch anthropogene Verunreinigungen sein. In den meisten sauerstoffhaltigen Grundwässern ist Eisen nur in Spuren nachweisbar. Unter entsprechenden EH-Bedingungen treten Konzentrationen zwischen 1 bis 10 mg/l auf. Höhere Werte sind aus Wässern von Ölfeldern, sauren Bergwerksabwässern sowie von Abfalldeponien bekannt.

Die Eisenkonzentrationen der Grundwässer (obere Grundwasserleiter) in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich von 5 µg/l bis 2,8 mg/l (Medianwerte).

Medianwerte im Bereich von ≥ 1 mg/l wurden in den hydrochemischen quartären hydrochemischen Einheiten q-s4, q-s5 und qt-s1 nachgewiesen, für die häufig reduzierende Verhältnisse bekannt sind. Ursache hierfür sind die geringen Flurabstände verbunden mit hohen Gehalten an organischem Kohlenstoff im Aquifer.

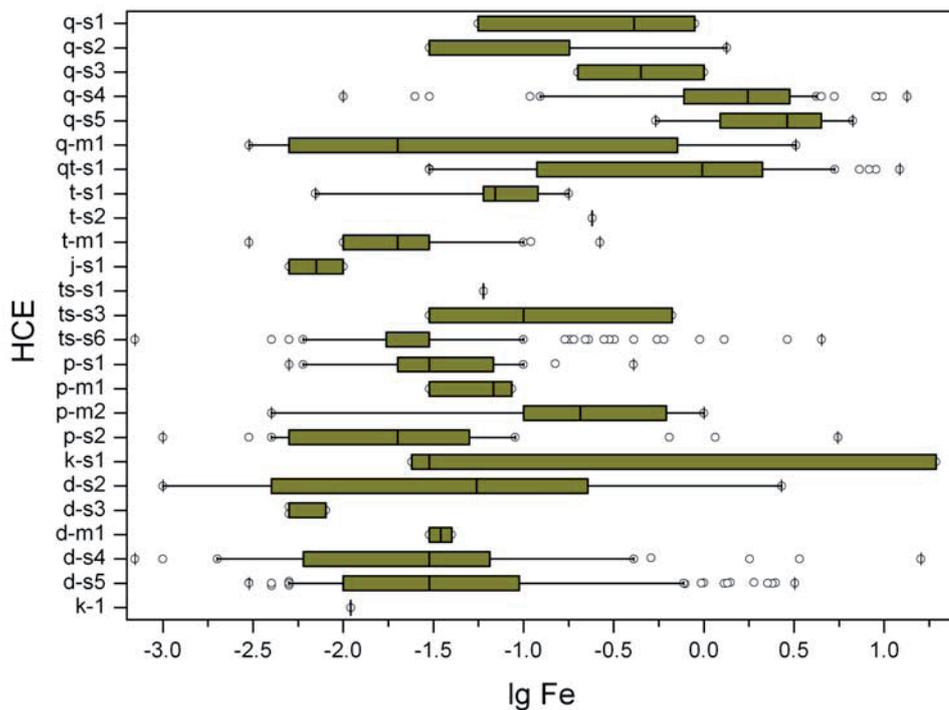


Abb. 3.14a, b: Box-Whisker-Diagramme für Eisen (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [mg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	4	0.001	0.890	0.339	0.001	0.000	0.028	0.233	0.650	0.890	0.890	
q-s2	5	0.03	1.340	0.322	0.03	0.03	0.030	0.030	0.180	1.340	1.340	
q-s3	2	0.200	1.000	0.600	0.200	0.200	0.200	0.600	1.000	1.000	1.000	
q-s4	61	0.010	13.400	2.342	0.030	0.124	0.775	1.750	3.000	4.210	9.000	
q-s5	4	0.220	6.700	2.652	0.220	0.220	0.380	1.770	4.850	6.700	6.700	
q-m1	8	0.003	3.240	0.664	0.003	0.003	0.005	0.029	1.000	3.240	3.240	
qt-s1	48	0.030	12.200	1.845	0.030	0.030	0.120	0.983	2.118	5.320	8.245	
t-s1	6	0.007	0.178	0.084	0.007	0.007	0.060	0.070	0.120	0.178	0.178	
t-s2	1	0.240	0.240	0.240								
t-s3	0											
t-s4	0											
t-m1	28	0.003	0.265	0.034	0.010	0.010	0.010	0.020	0.030	0.100	0.110	
j-s1	2	0.005	0.010	0.008	0.005	0.005	0.005	0.008	0.010	0.010	0.010	
ts-s1	1	0.060	0.060	0.060								
ts-s2	0											
ts-s3	3	0.030	0.670	0.270	0.030	0.030	0.030	0.100	0.665	0.665	0.665	
ts-s4	0											
ts-s5	0											
ts-s6	177	0.000	4.500	0.100	0.004	0.005	0.013	0.030	0.030	0.100	0.300	
p-s1	29	0.005	0.408	0.051	0.006	0.006	0.020	0.030	0.068	0.100	0.150	
p-m1	3	0.030	0.086	0.061	0.030	0.030	0.030	0.068	0.086	0.086	0.086	
p-m2	5	0.004	1.000	0.386	0.004	0.004	0.100	0.206	0.620	1.000	1.000	
p-s2	31	0.001	5.541	0.258	0.003	0.004	0.005	0.020	0.050	0.090	1.160	
k-s1	3	0.024	19.400	6.485	0.024	0.024	0.024	0.030	19.400	19.400	19.400	
d-s1	0											
d-s2	6	0.001	2.700	0.510	0.001	0.001	0.004	0.065	0.227	2.700	2.700	
d-s3	3	0.005	0.008	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.008	0.008	0.008	
d-m1	2	0.030	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.035	0.040	0.040	0.040	
d-s4	42	0.000	16.000	0.558	0.001	0.001	0.005	0.030	0.065	0.409	1.800	
d-s5	122	0.003	0.320	0.225	0.003	0.005	0.010	0.030	0.085	0.700	1.351	
vd-1	0											
k-1	1	0.011	0.011	0.011								

Anhang 3.15 Fluor (F)

Fluor tritt in Magmatiten wesentlich häufiger auf als Chlor. Dennoch ist es in der Erdkruste wesentlich seltener. Gebunden ist es vor allem in den Mineralen Fluorit, Apatit sowie in Amphibolen und Glimmern.

Fluoridionen können im Wasser mit Aluminium, Beryllium und dreiwertigem Eisen lösliche Komplexe bilden. Der Fluoridgehalt in wässrigen Lösungen wird durch die Gegenwart von Calcium beeinflusst. In calciumarmen Grundwässern wurden in der Größenordnung bis mehrere hundert Milligramm pro Liter nachgewiesen. Untersuchungen in bayerischen Mineralquellen lieferten Werte im Bereich von 0,02 bis 17 mg/l. Sehr hohe Fluoridgehalte können in vulkanischen Thermalwässern auftreten.

Die Fluoridkonzentrationen in den Grundwässern von Rheinland-Pfalz liegen im Bereich von 65 bis 337 µg/l (Medianwerte). Der Wertebereich ist in guter Übereinstimmung mit den Angaben für die Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Daten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Vergleichsweise hohe Fluoridkonzentrationen (>200 µg/l) wurden in den Grundwässern der hydrochemischen Einheiten k-s1 und t-s2 (Sedimentgesteine) sowie t-m1 und q-m1 (Magmatite) gemessen.

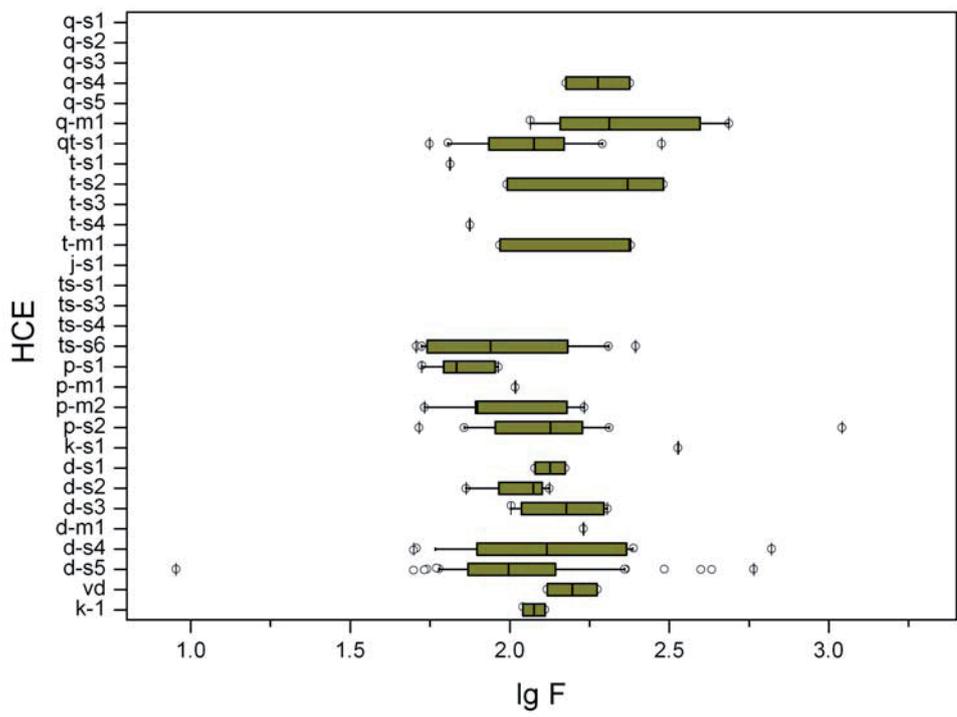


Abb. 3.15a, b: Box-Whisker-Diagramme für Fluorid (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	0										
q-s2	0										
q-s3	0										
q-s4	2	150.0	238.0	194.0	154.4	158.8	172.0	194.0	216.0	229.2	233.6
q-s5	0										
q-m1	5	116.0	486.0	269.2	121.6	127.2	144.0	205.0	395.0	449.6	467.8
qt-s1	17	56.0	299.0	126.6	62.4	68.8	86.0	119.0	148.0	182.4	215.8
t-s1	1	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
t-s2	3	98.0	303.0	211.7	111.6	125.2	166.0	234.0	268.5	289.2	296.1
t-s3	0										
t-s4	1	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
t-m1	3	93.0	239.0	189.7	107.4	121.8	165.0	237.0	238.0	238.6	238.8
j-s1	0										
ts-s1	0										
ts-s3	0										
ts-s4	0										
ts-s6	19	51.0	248.0	108.3	52.8	53.8	56.0	87.0	138.0	196.8	208.4
p-s1	6	53.0	92.0	72.2	55.3	57.5	63.5	68.0	84.5	91.0	91.5
p-m1	1	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0
p-m2	5	54.0	171.0	106.6	58.8	63.6	78.0	79.0	151.0	163.0	167.0
p-s2	15	52.0	1100.0	190.9	66.0	72.8	92.0	134.0	165.5	195.8	473.5
k-s1	1	337.0	337.0	337.0	337.0	337.0	337.0	337.0	337.0	337.0	337.0
d-s1	2	120.0	149.0	134.5	121.5	122.9	127.3	134.5	141.8	146.1	147.6
d-s2	4	73.0	133.0	110.8	79.6	86.2	106.0	118.5	123.3	129.1	131.1
d-s3	4	101.0	202.0	153.3	103.4	105.8	113.0	155.0	195.3	199.3	200.7
d-m1	1	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0
d-s4	20	50.0	661.0	171.1	51.0	65.4	79.5	131.0	231.3	241.3	264.9
d-s5	55	9.0	582.0	127.9	54.7	61.6	74.5	99.0	134.0	219.0	332.6
vd-1	2	131.0	188.0	159.5	133.9	136.7	145.3	159.5	173.8	182.3	185.2
k-1	2	110.0	129.0	119.5	111.0	111.9	114.8	119.5	124.3	127.1	128.1

Anhang 3.16 Strontium (Sr)

Strontium ist häufiger Bestandteil insbesondere in basischen Magmatiten. Dort ersetzt es in den Mineralen teilweise Calcium und Kalium. In Kalksteinen beträgt das Sr/Ca-Verhältnis meist weniger als 1:1.000.

In Grundwässern liegen die Strontiumgehalte meist in der Größenordnung 0,01 bis 1,0 mg/l. In Thermalwässern und Formationswässern von Ölfeldern wurden Konzentrationen bis ca. 3.500 mg/l gemessen.

Die Strontiumkonzentrationen der Grundwässer in Rheinland-Pfalz (obere Grundwasserleiter) wurden im Bereich von 29 µg/l bis 1.063 µg/l nachgewiesen (Medianwerte). Der ermittelte Wertebereich ist in guter Übereinstimmung mit den Werten für die Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste Wert wurde für die Einheit t-s2 (Mergel, Ton- und Siltsteine) mit 1.063 µg/l festgestellt (Median). Hohe Medianwerte über 500 µg/l wurden ebenfalls ermittelt für die Grundwässer der quartären Einheiten q-s3, q-s4 und q-s5 (höhere Terrassen, Jüngere und Ältere Rhein-Terrasse des ORG) sowie die tertiären tonigen Sande und Kiese (t-s4). Die Medianwerte für die Grundwässer aus Grundwasserleitern magmatischer Gesteine wurden im Bereich 76 bis 286 µg/l festgestellt (Medianwerte).

Mit Ausnahme der Sande, Kiese und Schluffe der Talauen (q-s1) wurden in allen tertiären und quartären sedimentären Einheiten Konzentrationen >300 µg/l (Median) gemessen.

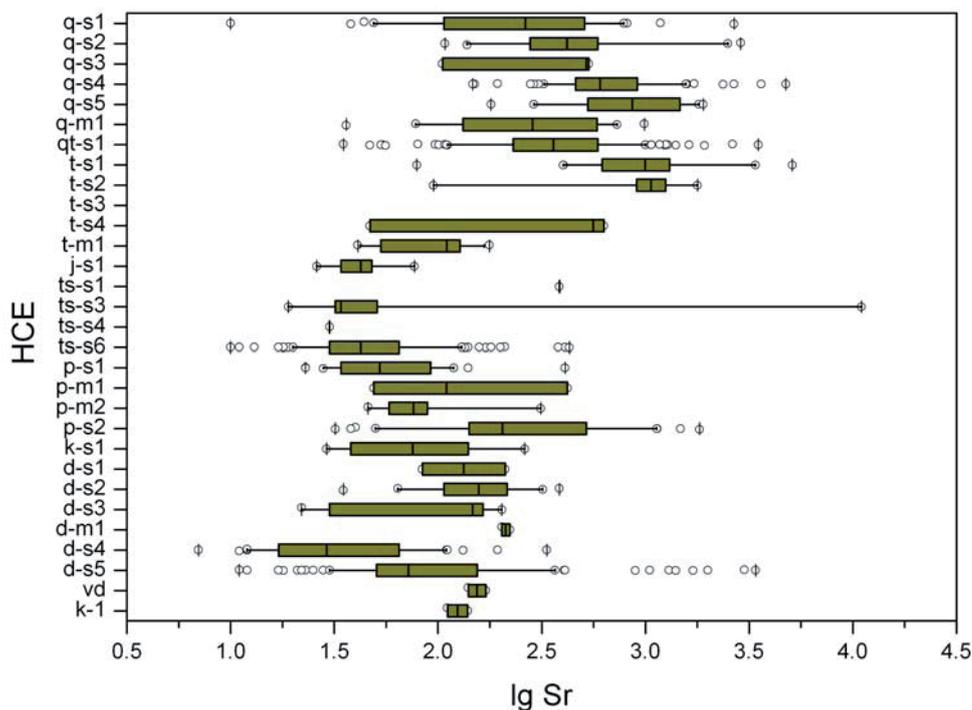


Abb. 3.16a, b: Box-Whisker-Diagramme für Strontium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	35	10	2675	400	42.20	54.60	115.00	264.00	477.50	786.60	925.90
q-s2	17	108	2880	696	132.00	211.20	278.00	418.00	589.00	1582.00	2576.00
q-s3	3	105	533	386	146.40	187.80	312.00	519.00	526.00	530.20	531.60
q-s4	68	147	4755	825	283.50	340.80	460.00	604.50	903.75	1520.40	2144.80
q-s5	17	180	1899	934	268.00	342.20	528.00	865.00	1470.00	1676.60	1828.60
q-m1	15	36	988	345	65.43	98.00	136.00	286.00	499.00	688.00	807.40
qt-s1	114	35	3503	504	71.60	115.80	230.50	360.00	585.50	998.50	1262.40
t-s1	23	79	5110	1318	401.20	422.40	642.50	997.00	1304.50	3111.20	3389.90
t-s2	9	95	1784	1061	377.00	659.00	908.00	1063.00	1250.00	1556.80	1670.40
t-s3	0										
t-s4	3	47	630	412	98.30	149.60	303.50	560.00	595.00	616.00	623.00
t-m1	10	41	177	102	41.90	42.80	57.25	110.50	127.50	159.00	168.00
j-s1	6	26	77	45	28.00	30.00	35.25	42.50	47.50	62.50	69.75
ts-s1	1	385	385	385							
ts-s3	9	19	11000	1274	20.20	21.40	32.00	34.00	51.00	2390.40	6695.20
ts-s4	1	30	30	30							
ts-s6	118	10	430	63	16.40	21.40	30.00	42.50	64.25	122.30	171.50
p-s1	22	23	410	76	23.25	28.30	34.00	52.50	92.00	116.90	138.95
p-m1	3	49	421	193	55.10	61.20	79.50	110.00	265.50	358.80	389.90
p-m2	5	46	313	116	48.40	50.80	58.00	76.00	89.00	223.40	268.20
p-s2	38	32	1826	401	39.70	68.90	141.50	205.00	496.75	1048.60	1192.55
k-s1	6	29	262	104	31.25	33.50	45.25	76.00	126.25	201.00	231.50
d-s1	2	84	211	148	90.35	96.70	115.75	147.50	179.25	198.30	204.65
d-s2	11	35	385	172	49.50	64.00	108.00	157.00	210.00	320.00	352.50
d-s3	5	22	203	113	23.60	25.20	30.00	147.00	165.00	187.80	195.40
d-m1	2	203	222	213	203.95	204.90	207.75	212.50	217.25	220.10	221.05
d-s4	42	7	335	51	12.00	12.03	17.00	29.00	64.25	107.70	130.95
d-s5	108	11	3400	228	22.35	30.70	50.75	72.00	153.75	328.50	1212.50
vd-1	2	140	170	155	141.50	143.00	147.50	155.00	162.50	167.00	168.50
k-1	2	111	139	125	112.40	113.80	118.00	125.00	132.00	136.20	137.60

SPURENINHALTSSTOFFE

Anhang 3.17 Silber (Ag)

Silber ist ein geochemisch seltenes Element. In sauerstoffhaltigem Wasser ist es im Bereich von 0,1 bis 10 µg/l löslich.

In den Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz wurden Silbergehalte im Bereich von 0,01 bis 0,15 µg/l gemessen (Medianwerte). Diese Größenordnung entspricht i.W. den für die Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Silberkonzentrationen (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste, für die Einheit j-s1 ermittelte Wert liegt um etwa eine Größenordnung über den Werten für die übrigen Einheiten. Mit nur zwei Messpunkten ist er vergleichsweise gering abgesichert.

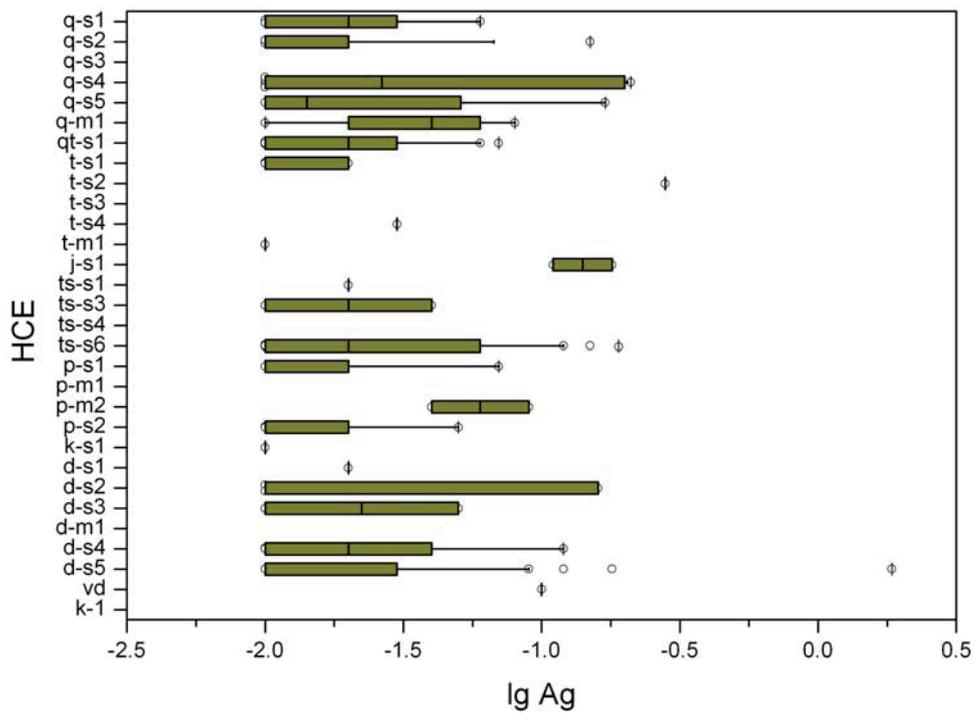


Abb. 3.17a, b: Box-Whisker-Diagramme für Silber (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	5	0.01	0.06	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.05
q-s2	10	0.01	0.15	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.10
q-s3	0										
q-s4	10	0.01	0.21	0.08	0.01	0.01	0.01	0.04	0.17	0.20	0.21
q-s5	8	0.01	0.17	0.05	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.14	0.16
q-m1	5	0.01	0.08	0.04	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.07	0.08
qt-s1	19	0.01	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06
t-s1	6	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
t-s2	1	0.28	0.28	0.28							
t-s3	0										
t-s4	1	0.03	0.03	0.03							
t-m1	2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
j-s1	2	0.11	0.18	0.15	0.11	0.12	0.13	0.15	0.16	0.17	0.18
ts-s1	1	0.02	0.02	0.02							
ts-s3	2	0.01	0.04	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04
ts-s4	0										
ts-s6	22	0.01	0.19	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.06	0.12	0.15
p-s1	9	0.01	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.06
p-m1	0										
p-m2	2	0.04	0.09	0.07	0.04	0.05	0.05	0.07	0.08	0.09	0.09
p-s2	9	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
k-s1	2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
d-s1	2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
d-s2	3	0.01	0.16	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09	0.13	0.15
d-s3	2	0.01	0.05	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
d-m1	0										
d-s4	9	0.01	0.12	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.10	0.11
d-s5	35	0.01	1.85	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.09	0.14
vd-1	1	0.10	0.10	0.10							
k-1	0										

Anhang 3.18 Aluminium (Al)

Aluminium ist das dritthäufigste Element in Magmatiten. Es ist Bestandteil vieler Silikate (z.B. Feldspäte, Glimmer, Amphibole). Es kann in Silikatgittern Magnesium und Eisen in gewissem Umfang ersetzen. In den Sedimentgesteinen findet es sich am häufigsten in den Tonmineralen. Seine geochemische Beweglichkeit ist gering. Der Aluminiumgehalt im Meerwasser beträgt nur etwa 0,001 mg/l. Die Löslichkeit ist im stark sauren sowie im stärker alkalischen Bereich relativ erhöht.

In süßem Grundwasser betragen die Aluminiumgehalte meist wenige Hundertstel bis Zehntel Milligramm pro Liter. In versauerten Grundwässern Deutschlands wurden Aluminiumgehalte bis zu 10er Milligramm pro Liter vorgefunden.

Die Medianwerte der Aluminiumkonzentrationen der Grundwässer in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich von 8 bis 102 µg/l. Mehrheitlich werden 30 µg/l nicht überschritten. Die ermittelten Werte sind in guter Übereinstimmung mit Gehalten, wie sie für Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelt wurde (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste Aluminiumgehalt (Median) wurden für die hydrochemische Einheit p-m2 (saure Magmatite des Rotliegend) ermittelt. Für die Sand- und Siltsteine des Karbon (k-s1) wurden mit 73 µg/l ebenfalls vergleichsweise hohe Werte festgestellt.

Bei den devonischen Quarziten (d-s4) sowie beim Buntsandstein (ts-s6) wird der große Wertebereich zwischen Median und 90 %-Perzentil auf eine versauerungsbedingt stärkere Lösung von Aluminium aus dem Aquifer zurückgeführt (anthropogene Komponente).

Die Aluminiumkonzentrationen bei den übrigen Einheiten liegen im Bereich von 8 bis 40 µg/l (Medianwerte).

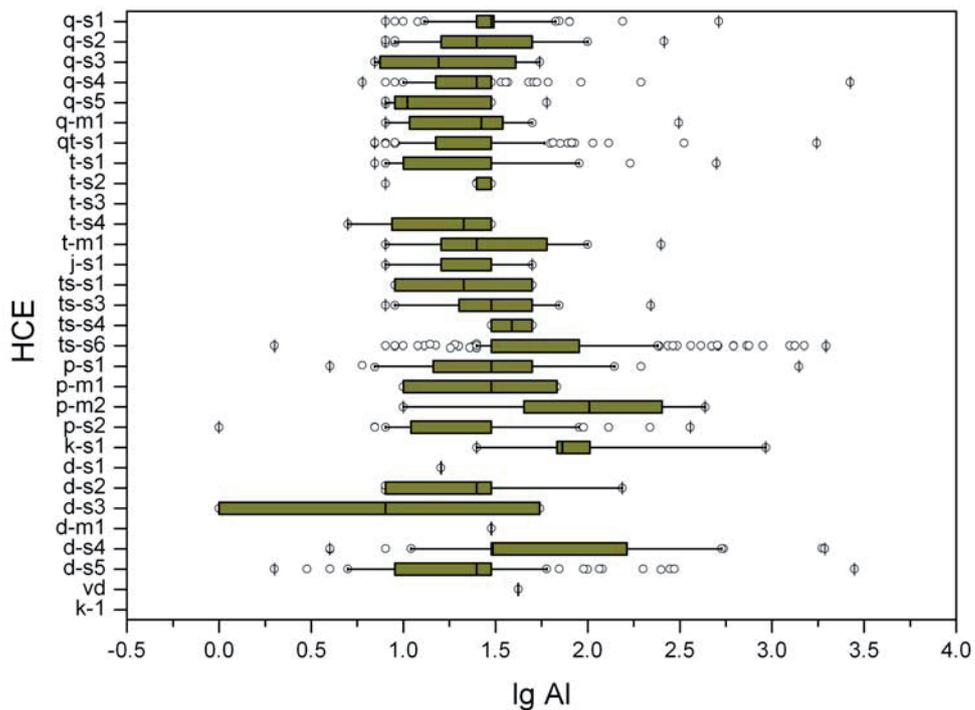


Abb. 3.18a, b: Box-Whisker-Diagramme für Aluminium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	58	8	515	42	9.9	14.4	25.0	30.0	30.8	66.3	80.0	
q-s2	45	8	260	42	8.0	9.0	16.0	25.0	50.0	100.0	100.0	
q-s3	4	7	55	25	7.2	7.3	7.8	19.0	36.3	47.5	51.3	
q-s4	114	6	2660	48	8.7	10.0	15.0	25.0	30.0	30.0	49.1	
q-s5	14	8	60	19	8.0	8.0	9.0	10.5	28.8	30.0	40.5	
q-m1	16	8	312	43	8.0	8.5	12.0	26.5	32.5	50.0	115.5	
qt-s1	111	7	1750	47	8.5	10.0	15.0	30.0	30.0	54.9	82.0	
t-s1	26	7	500	52	8.0	8.5	11.3	30.0	30.0	90.0	150.0	
t-s2	11	8	30	27	16.5	25.0	25.0	30.0	30.0	30.0	30.0	
t-s3	0											
t-s4	4	5	30	20	6.5	8.0	12.5	22.5	30.0	30.0	30.0	
t-m1	11	8	250	52	8.0	8.0	20.5	25.0	45.0	100.0	175.0	
j-s1	5	8	50	27	9.6	11.2	16.0	30.0	30.0	42.0	46.0	
ts-s1	2	9	50	30	11.1	13.1	19.3	29.5	39.8	45.9	48.0	
ts-s3	17	8	220	41	8.8	10.2	20.0	30.0	50.0	58.0	100.0	
ts-s4	2	30	50	40	31.0	32.0	35.0	40.0	45.0	48.0	49.0	
ts-s6	181	2	1966	118	18.0	25.0	30.0	30.0	90.0	240.0	510.0	
p-s1	28	4	1400	92	6.4	8.4	14.8	30.0	50.0	115.5	175.8	
p-m1	3	10	68	36	12.0	14.0	20.0	30.0	49.0	60.4	64.2	
p-m2	5	10	434	169	17.0	24.0	45.0	102.0	253.0	361.6	397.8	
p-s2	46	1	360	41	7.3	8.0	13.5	30.0	30.0	70.0	121.3	
k-s1	5	25	926	239	33.6	42.2	68.0	73.0	103.0	596.8	761.4	
d-s1	1	16	16	16								
d-s2	9	8	154	35	8.0	8.0	8.0	25.0	30.0	54.8	104.4	
d-s3	3	1	55	21	1.7	2.4	4.5	8.0	31.5	45.6	50.3	
d-m1	1	30	30	30								
d-s4	38	4	1935	208	7.4	20.8	30.0	30.5	159.8	460.2	743.7	
d-s5	118	2	2800	56	4.0	5.7	9.0	25.0	30.0	60.0	116.6	
vd-1	1	42	42	42								
k-1	0											

Anhang 3.19 Arsen (As)

In der Rangfolge der häufigsten Elemente liegt Arsen an der 53. Stelle. Seine geringe Häufigkeit entspricht etwa der des Urans. Arsen kommt selten gediegen und überwiegend in Form von Sulfiden vor. Als Halbmetall kann es, je nach Modifikation, metallische oder nichtmetallische Eigenschaften aufweisen.

In wässriger Lösung liegt es meist als Arsenat vor. Die Arsengehalte des Grundwassers liegen vorwiegend unter 0,1 mg/l. In Mineral-, Ölfeld- und Thermalwässern können erheblich höhere Gehalte auftreten (Maxquelle Bad Dürkheim etwa 17 mg/l).

Für die Grundwässer der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz wurden Medianwerte der Arsenkonzentrationen im Bereich 0,5 bis 3,11 µg/l ermittelt. Dies ist in guter Übereinstimmung mit den Angaben, wie sie für die oberflächennahen Grundwässern in Bayern und Baden-Württemberg vorliegen (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Medianwerte >2 µg/l wurden für die basischen Rotliegendmagmatite (p-m1) und den Zechstein (p-s1) festgestellt. Die im Rahmen der Trinkwassergewinnung aus dem Zechstein der Pfalz gelegentlich in der Größenordnung des Grenzwertes nach der TrinkwV (10 µg/l) gemessenen Arsengehalte stellen offenbar Ausnahmen dar (s. auch 90 %-Perzentil) und sind geogen bedingt.

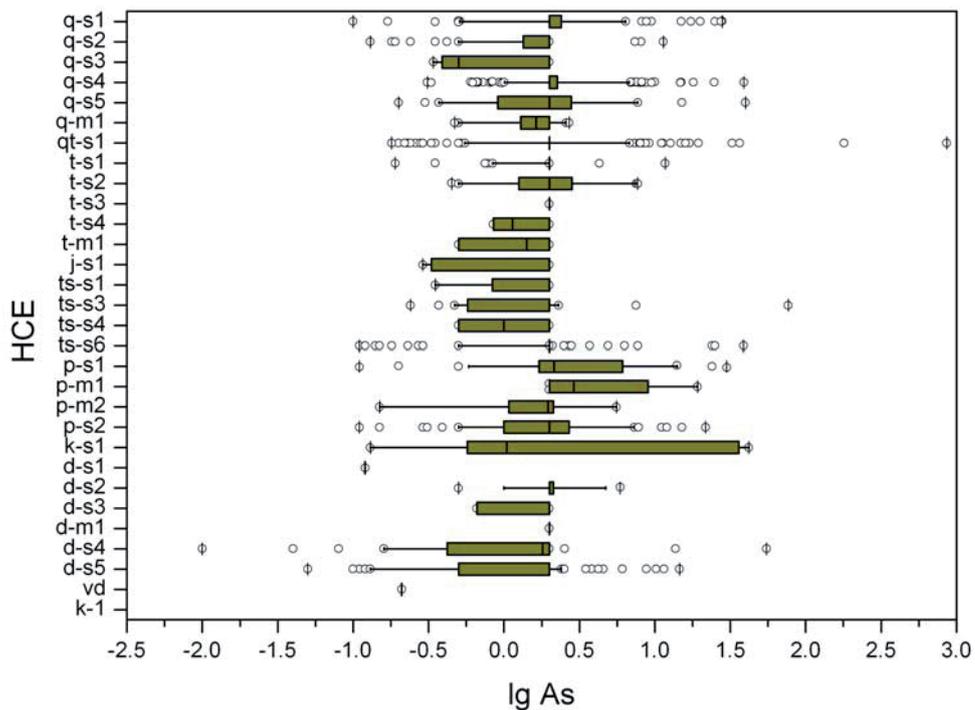


Abb. 3.19a, b: Box-Whisker-Diagramme für Arsen (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	97	0.10	28.00	3.56	0.50	0.53	2.00	2.00	2.40	6.28	15.48
q-s2	85	0.13	11.40	1.88	0.26	0.51	1.34	2.00	2.00	2.00	2.00
q-s3	5	0.34	2.00	1.05	0.35	0.36	0.39	0.50	2.00	2.00	2.00
q-s4	200	0.31	39.00	3.09	0.81	1.02	2.00	2.00	2.23	6.63	8.22
q-s5	26	0.20	40.00	4.15	0.32	0.38	0.93	2.00	2.70	7.20	13.25
q-m1	18	0.47	2.70	1.58	0.50	0.58	1.32	1.63	2.00	2.17	2.60
qt-s1	206	0.18	862.00	8.06	0.33	0.56	2.00	2.00	2.00	6.59	11.25
t-s1	46	0.19	11.70	2.00	0.76	0.87	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
t-s2	16	0.45	7.70	2.61	0.49	0.53	1.70	2.00	2.50	5.85	7.55
t-s3	1	2.00	2.00	2.00							
t-s4	3	0.85	2.00	1.33	0.88	0.91	1.00	1.14	1.57	1.83	1.91
t-m1	10	0.50	2.00	1.35	0.50	0.50	0.63	1.50	2.00	2.00	2.00
j-s1	7	0.29	2.00	1.30	0.30	0.31	0.42	2.00	2.00	2.00	2.00
ts-s1	4	0.35	2.00	1.59	0.60	0.85	1.59	2.00	2.00	2.00	2.00
ts-s3	28	0.24	76.70	4.41	0.41	0.48	0.58	2.00	2.00	2.16	5.68
ts-s4	2	0.50	2.00	1.25	0.58	0.65	0.88	1.25	1.63	1.85	1.93
ts-s6	178	0.11	38.80	2.24	0.26	0.50	2.00	2.00	2.00	2.00	2.53
p-s1	30	0.11	30.00	5.37	0.34	0.66	1.78	2.15	5.95	14.01	19.52
p-m1	4	2.00	19.20	6.86	2.00	2.00	2.00	3.11	7.97	14.71	16.95
p-m2	6	0.15	5.56	2.14	0.38	0.62	1.29	1.96	2.10	3.85	4.70
p-s2	51	0.11	21.70	3.04	0.30	0.50	1.03	2.00	2.66	7.30	11.55
k-s1	6	0.13	41.93	13.45	0.24	0.35	0.68	1.05	27.28	38.97	40.45
d-s1	1	0.12	0.12	0.12							
d-s2	10	0.50	5.90	2.43	1.18	1.85	2.00	2.00	2.10	3.99	4.95
d-s3	3	0.66	2.00	1.55	0.79	0.93	1.33	2.00	2.00	2.00	2.00
d-m1	1	2.00	2.00	2.00							
d-s4	37	0.01	55.00	2.96	0.07	0.17	0.42	1.80	2.00	2.00	4.76
d-s5	118	0.05	14.60	1.81	0.11	0.13	0.50	2.00	2.00	2.33	4.27
vd-1	1	0.21	0.21	0.21							
k-1	0										

Anhang 3.20 Gold (Au)

Der Goldanteil in der kontinentalen Erdkruste beträgt im Mittel etwa 0,004 ppm. In Lagerstätten, die abgebaut werden, liegt der Goldanteil oft bei mehreren Gramm pro Tonne. Gold kommt auf der Erde in primären Rohstoffvorkommen als goldhaltiges Gestein (Golderz) und in sekundären Vorkommen als gediegenes Metall vor.

Bedeutende Goldmengen fallen bei der Raffination anderer Metalle wie Kupfer, Nickel oder der anderen Edelmetalle an.

Extraktionsversuche im 20. Jahrhundert erbrachten Goldgehalte von 0,004 Milligramm pro Tonne Meerwasser.

In den oberflächennahen Grundwässern der hydrochemischen Einheit d-s5 wurden Goldgehalte von 0,11 µg/l festgestellt (Median). Der Gehalt liegt etwa um das 10-fach über dem Silbergehalt derselben Einheit.

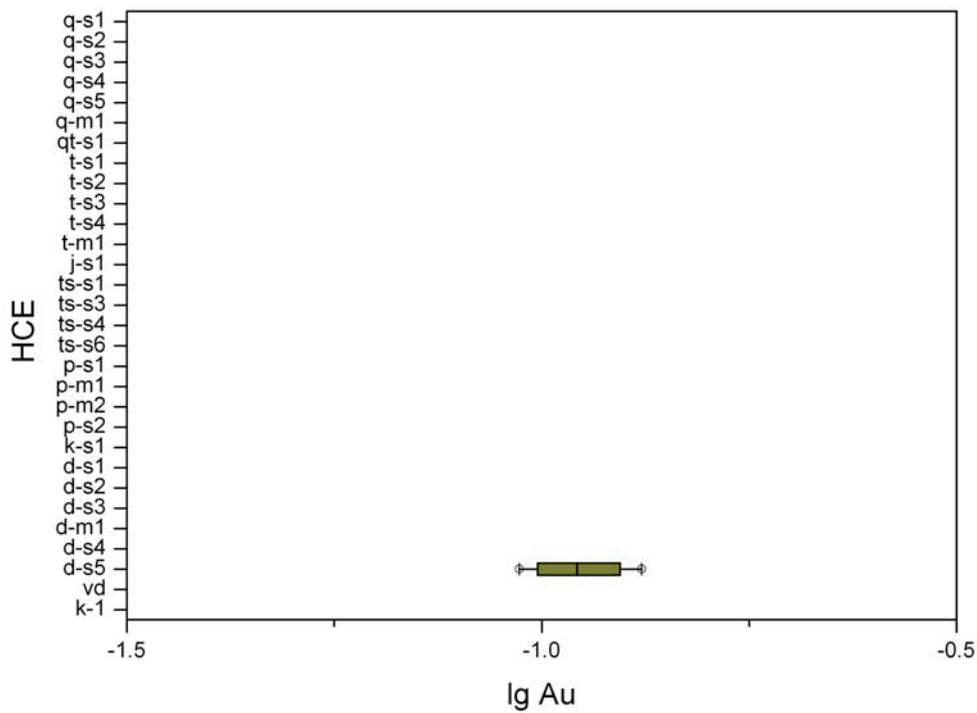


Abb. 3.20a, b: Box-Whisker-Diagramme für Gold (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [$\mu\text{g}/\text{l}$]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	0										
q-s2	0										
q-s3	0										
q-s4	0										
q-s5	0										
q-m1	0										
qt-s1	0										
t-s1	0										
t-s2	0										
t-s3	0										
t-s4	0										
t-m1	0										
j-s1	0										
ts-s1	0										
ts-s3	0										
ts-s4	0										
ts-s6	0										
p-s1	0										
p-m1	0										
p-m2	0										
p-s2	0										
k-s1	0										
d-s1	0										
d-s2	0										
d-s3	0										
d-m1	0										
d-s4	0										
d-s5	4	0.09	0.13	0.11	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13
vd-1	0										
k-1	0										

Anhang 3.21 Barium (Ba)

Barium ist das 14. häufigste Element der Erdkruste. Die geringe geochemische Beweglichkeit spiegelt sich in den geringen Konzentrationen im Meerwasser wider. Barium tritt mineralisch meist als Sulfat oder Karbonat auf.

Grundwässer enthalten Barium häufig in Konzentrationen von etwa einem Hundertstel- bis wenige Milli-Gramm pro Liter. Hoch mineralisierte Wässer weisen mitunter einige Zehner bis über Tausend Milligramm pro Liter auf.

Die ermittelten Bariumgehalte für die Grundwässer der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich 7 bis 209 $\mu\text{g/l}$ (Medianwerte). Der Wertebereich ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für die oberflächennahen Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg vorliegenden Ergebnissen (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Mit Medianwerten $>100 \mu\text{g/l}$ vergleichsweise hohe Konzentrationen wurden ermittelt für die Einheiten k-s1, qt-s1, p-s2 und q-s4. Ein genetisch oder stratigrafisch begründbares Verteilungsmuster der Medianwerte ist nicht erkennbar.

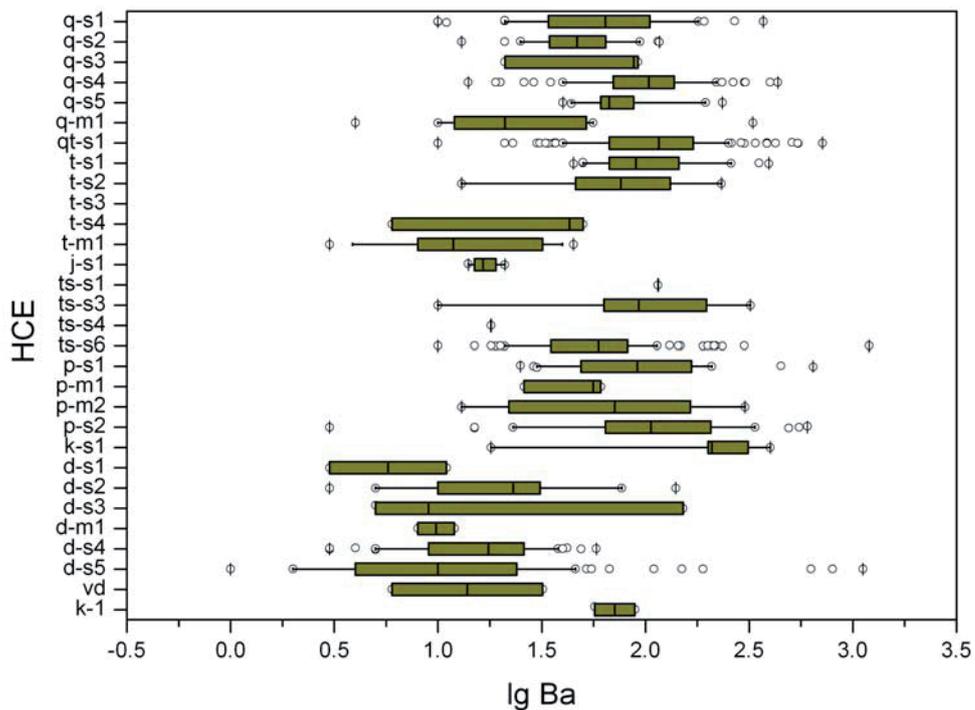


Abb. 3.21a, b: Box-Whisker-Diagramme für Barium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	35	10	370	81	10.7	21.0	36.0	64.0	97.5	162.0	215.4
q-s2	24	13	117	53	21.6	26.2	34.8	47.0	62.8	86.8	111.9
q-s3	3	21	92	67	27.7	34.4	54.5	88.0	90.0	91.2	91.6
q-s4	67	14	435	116	26.9	40.0	70.0	104.0	136.5	196.0	289.5
q-s5	17	40	235	90	43.2	47.6	61.0	67.0	88.0	174.0	203.0
q-m1	15	4	330	45	8.2	10.0	14.0	21.0	40.5	55.2	138.2
qt-s1	114	10	715	142	33.7	41.2	67.8	116.0	170.0	251.4	385.0
t-s1	23	45	394	121	50.0	52.4	68.5	90.0	142.5	239.4	343.6
t-s2	9	13	233	105	24.6	36.2	46.0	76.0	132.0	232.2	232.6
t-s3	0										
t-s4	3	6	50	33	9.7	13.4	24.5	43.0	46.5	48.6	49.3
t-m1	10	3	45	19	3.9	4.8	8.5	12.0	29.8	36.0	40.5
j-s1	6	14	21	17	14.3	14.5	15.3	16.5	18.5	20.0	20.5
ts-s1	1	115	115	115							
ts-s3	9	10	321	139	21.6	33.2	63.0	93.0	197.0	263.4	292.2
ts-s4	1	18	18	18							
ts-s6	118	10	1200	77	17.6	23.1	35.0	59.5	81.5	112.6	201.4
p-s1	22	25	644	134	29.1	30.7	51.8	91.5	160.5	208.5	438.0
p-m1	3	26	61	48	29.0	32.0	41.0	56.0	58.5	60.0	60.5
p-m2	5	13	302	115	14.8	16.6	22.0	71.0	165.0	247.2	274.6
p-s2	38	3	604	160	15.0	23.7	64.5	107.0	204.0	329.6	500.3
k-s1	6	18	400	225	63.5	109.0	200.8	209.0	288.5	356.5	378.3
d-s1	2	3	11	7	3.4	3.8	5.0	7.0	9.0	10.2	10.6
d-s2	11	3	140	35	4.0	5.0	11.5	23.0	29.5	77.0	108.5
d-s3	3	5	152	55	5.4	5.8	7.0	9.0	80.5	123.4	137.7
d-m1	2	8	12	10	8.2	8.4	9.0	10.0	11.0	11.6	11.8
d-s4	42	3	58	19	3.1	5.0	9.3	17.5	26.0	37.6	41.9
d-s5	105	1	1120	50	1.0	2.0	4.0	10.0	24.0	46.0	142.0
vd-1	2	6	32	19	7.3	8.6	12.5	19.0	25.5	29.4	30.7
k-1	2	57	89	73	58.6	60.2	65.0	73.0	81.0	85.8	87.4

Anhang 3.22 Beryllium (Be)

Beryllium ist ein Spurenelement der Magmatite. Die Löslichkeit von Berylliumoxiden und -hydroxiden ist gering (Größenordnung um $1 \mu\text{g/l}$). In stärker mineralisierten Wässern und Solen sind Konzentrationen $>100 \mu\text{g/l}$ möglich. Werte über 1 mg/l sind in sauren Bergwerks- und Industrieabwässern möglich.

Die Berylliumkonzentrationen von Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich $0,27$ bis $3,62 \mu\text{g/l}$ (Medianwerte). Dies ist in guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässern in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste Medianwert ($3,62 \mu\text{g/l}$) wurde für die Einheit p-m2 ermittelt. Der für den Buntsandstein (ts-s6) festgestellte Medianwert ($1,08 \mu\text{g/l}$) ist ebenfalls vergleichsweise hoch. Für die übrigen Einheiten liegen die Medianwerte unterhalb $0,9 \mu\text{g/l}$.

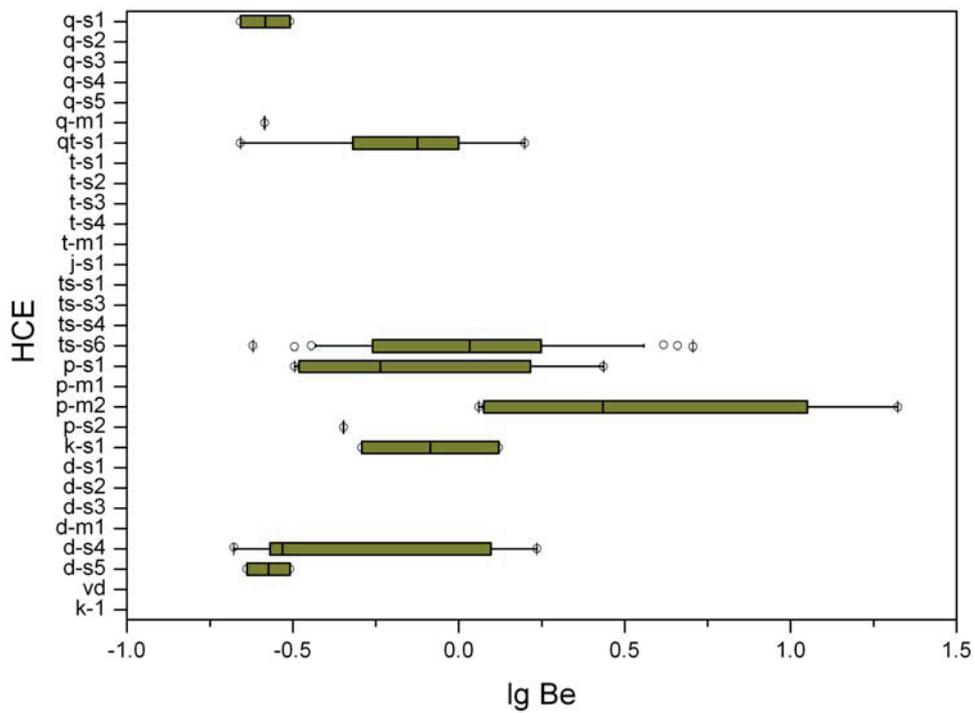


Abb. 3.22a, b: Box-Whisker-Diagramme für Beryllium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [$\mu\text{g}/\text{l}$]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	2	0.22	0.31	0.27	0.22	0.23	0.24	0.27	0.29	0.30	0.31
q-s2	0										
q-s3	0										
q-s4	0										
q-s5	0										
q-m1	1	0.26	0.26	0.26							
qt-s1	9	0.22	1.58	0.81	0.30	0.39	0.48	0.75	1.00	1.21	1.40
t-s1	0										
t-s2	0										
t-s3	0										
t-s4	0										
t-m1	0										
j-s1	0										
ts-s1	0										
ts-s3	0										
ts-s4	0										
ts-s6	30	0.24	5.08	1.46	0.34	0.38	0.57	1.08	1.75	3.24	4.38
p-s1	4	0.32	2.73	1.10	0.32	0.33	0.34	0.67	1.43	2.21	2.47
p-m1	0										
p-m2	4	1.15	21.06	7.36	1.16	1.17	1.21	3.62	9.77	16.54	18.80
p-s2	1	0.45	0.45	0.45							
k-s1	2	0.51	1.32	0.92	0.55	0.59	0.71	0.92	1.12	1.24	1.28
d-s1	0										
d-s2	0										
d-s3	0										
d-m1	0										
d-s4	6	0.21	1.72	0.67	0.23	0.24	0.27	0.30	1.02	1.49	1.60
d-s5	2	0.23	0.31	0.27	0.23	0.24	0.25	0.27	0.29	0.30	0.31
vd-1	0										
k-1	0										

Anhang 3.23 Bismut (Bi)

Bismut tritt in der Natur u.a. gediegen (d.h. in elementarer Form) auf. Es bildet sich in Hydrothermalgängen von Pegmatiten und topashaltigen Zinn-Wolfram-Quarzadern und meist zusammen mit verschiedenen Kupfer-, Nickel-, Silber und Zinnerzen.

Weitere bismuthaltige Minerale sind Sulfide, Selenide und Oxide. Insgesamt sind einschließlich gediegen Bismut rund 230 Bismutminerale bekannt.

In den oberflächennahen Grundwässern in Rheinland-Pfalz wurden Bismutkonzentrationen im Bereich 0,01 bis 0,03 µg/l festgestellt (Medianwerte). Der Wertebereich ist in guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg festgestellten Ergebnissen (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

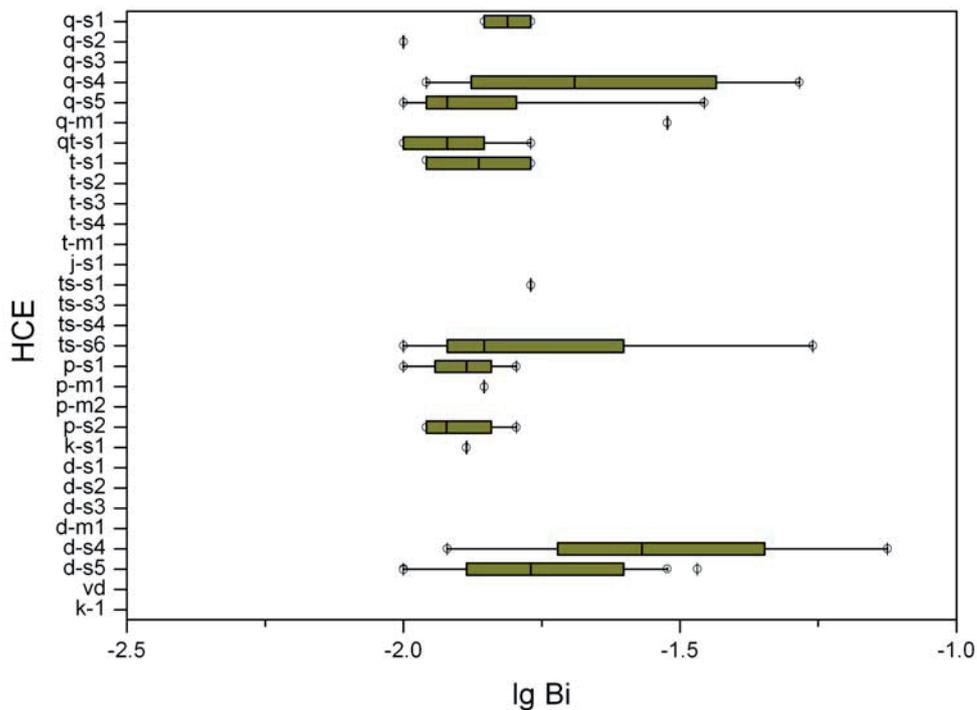


Abb. 3.23a, b: Box-Whisker-Diagramme für Bismut (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in $[\mu\text{g}/\text{l}]$; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	2	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
q-s2	2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
q-s3	0										
q-s4	4	0.01	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
q-s5	5	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03
q-m1	1	0.03	0.03	0.03							
qt-s1	7	0.01	0.02	0.01							
t-s1	2	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
t-s2	0										
t-s3	0										
t-s4	0										
t-m1	0										
j-s1	0										
ts-s1	1	0.02	0.02	0.02							
ts-s3	0										
ts-s4	0										
ts-s6	9	0.01	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.05
p-s1	4	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
p-m1	1	0.01	0.01	0.01							
p-m2	0										
p-s2	4	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
k-s1	1	0.01	0.01	0.01							
d-s1	0										
d-s2	0										
d-s3	0										
d-m1	0										
d-s4	5	0.01	0.08	0.04	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07
d-s5	11	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
vd-1	0										
k-1	0										

Anhang 3.24 Brom (Br)

Brom ist i.W. durch vulkanische Freisetzung in den Stoffkreislauf der Erdkruste und Hydrosphäre eingebracht worden. Es ist seltener als das geochemisch ähnliche Chlor. Im Vergleich zu den Eruptivgesteinen ist es im Meerwasser angereichert. In wässrigen Lösungen liegt es als Bromidion vor.

Der Bromidgehalt in süßen Grundwässern wird in der Größenordnung unter 0,1 mg/l erwartet. In Ölfeldwässern wurden mitunter Bromidgehalte bis mehrere Tausend Milligramm pro Liter gemessen.

Die ermittelten Bromidgehalte für die Grundwässer der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich 38 bis 565 µg/l (Medianwerte).

Vergleichsweise hohe Konzentrationen (>150 µg/l) wurden für die hydrochemischen Einheiten der tertiären Vulkanite (t-m1) und der basischen Rotliegendmagmatite (p-m1) festgestellt.

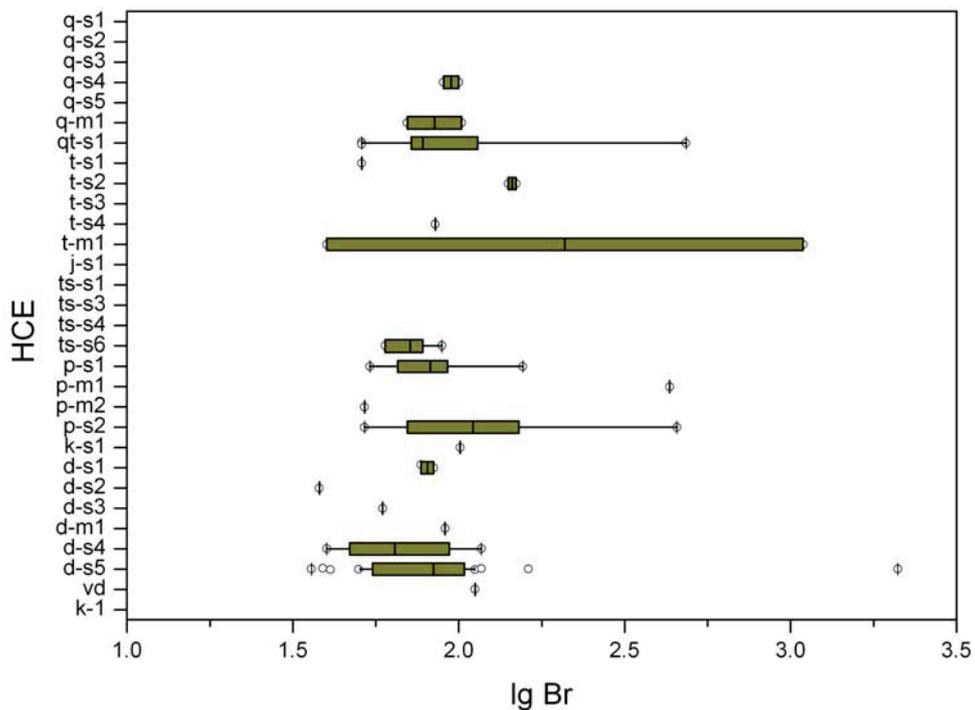


Abb. 3.24a, b: Box-Whisker-Diagramme für Bromid (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [$\mu\text{g}/\text{l}$]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	0										
q-s2	0										
q-s3	0										
q-s4	2	90.0	100.0	95.0	90.5	91.0	92.5	95.0	97.5	99.0	99.5
q-s5	0										
q-m1	2	70.0	102.0	86.0	71.6	73.2	78.0	86.0	94.0	98.8	100.4
qt-s1	9	51.0	484.0	134.2	51.0	51.0	72.0	78.0	114.0	252.0	368.0
t-s1	1	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0
t-s2	2	141.0	149.0	145.0	141.4	141.8	143.0	145.0	147.0	148.2	148.6
t-s3	0										
t-s4	1	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
t-m1	2	40.0	1091.0	565.5	92.6	145.1	302.8	565.5	828.3	985.9	1038.5
j-s1	0										
ts-s1	0										
ts-s3	0										
ts-s4	0										
ts-s6	8	60.0	89.0	71.0	60.0	60.0	60.0	71.5	77.0	82.7	85.9
p-s1	8	54.0	156.0	86.3	57.2	60.3	66.8	82.0	91.8	112.6	134.3
p-m1	1	432.0	432.0	432.0	432.0	432.0	432.0	432.0	432.0	432.0	432.0
p-m2	1	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0
p-s2	6	52.0	454.0	159.3	56.5	61.0	74.0	114.0	149.5	303.0	378.5
k-s1	1	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0
d-s1	2	77.0	84.0	80.5	77.4	77.7	78.8	80.5	82.3	83.3	83.7
d-s2	1	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
d-s3	1	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0
d-m1	1	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0
d-s4	4	40.0	117.0	71.8	42.3	44.5	51.3	65.0	85.5	104.4	110.7
d-s5	40	36.0	2105.0	130.3	40.9	50.9	55.0	84.0	104.0	111.1	119.3
vd-1	1	112.0	112.0	112.0	112.0	112.0	112.0	112.0	112.0	112.0	112.0
k-1	0										

Anhang 3.25 Cadmium (Cd)

Das geochemisch seltene Cadmium tritt zusammen mit Blei- und Zinkerzen auf. Zinksulfide und -karbonate enthalten bis zu 0,5 Massen- % Cadmium. Es tritt in wässrigen Lösungen meist als zweiwertiges Ion auf; bei pH-Werten >8 als vierwertiges. Cadmium bildet Komplexe u.a. mit Chlorid- und Sulfationen. Es wird zusammen mit Manganoxiden mitgefällt.

Bei metallurgischen Prozessen und der Verbrennung fossiler Brennstoffe wird es in die Atmosphäre freigesetzt und erreicht die Erdoberfläche wieder als trockene oder nasse Deposition. Aufgrund seiner technischen Verwertung tritt Cadmium als Abfallstoff auf.

Die Gehalte im Grundwasser können bis wenige Mikrogramm pro Liter betragen. In Marschablagerungen mit hohem Anteil an organischem Material wurden mitunter 10er Mikrogramm pro Liter gemessen.

Die Cadmiumkonzentrationen von Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich 0,1 bis 0,28 µg/l (Medianwerte). Dies ist in guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste Medianwert (0,28 µg/l) wurde für die Einheit k-s1 ermittelt. Für die übrigen Einheiten liegen die Medianwerte unterhalb 0,16 µg/l.

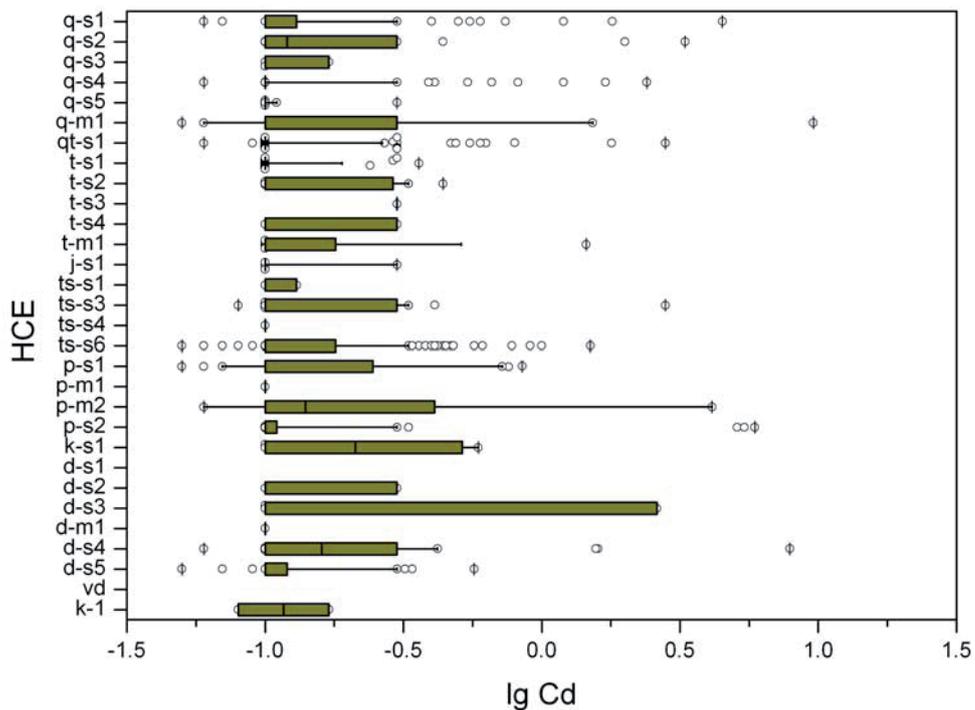


Abb. 3.25a, b: Box-Whisker-Diagramme für Cadmium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	92	0.06	4.50	0.23	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13	0.30	0.57
q-s2	75	0.10	3.30	0.26	0.10	0.10	0.10	0.12	0.30	0.30	0.30
q-s3	3	0.10	0.17	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14	0.16	0.16
q-s4	188	0.06	2.40	0.17	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.30	0.30
q-s5	17	0.10	0.30	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15
q-m1	15	0.05	9.60	0.90	0.06	0.07	0.10	0.10	0.29	1.25	3.95
qt-s1	180	0.06	2.80	0.16	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.26	0.30
t-s1	40	0.10	0.36	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.16	0.29
t-s2	16	0.10	0.44	0.17	0.10	0.10	0.10	0.10	0.29	0.32	0.36
t-s3	1	0.30	0.30	0.30							
t-s4	3	0.10	0.30	0.17	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20	0.26	0.28
t-m1	10	0.10	1.45	0.25	0.10	0.10	0.10	0.10	0.16	0.31	0.88
j-s1	5	0.10	0.30	0.14	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.22	0.26
ts-s1	3	0.10	0.13	0.12	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13
ts-s3	26	0.08	2.80	0.26	0.10	0.10	0.10	0.10	0.28	0.32	0.39
ts-s4	2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
ts-s6	191	0.05	1.50	0.18	0.08	0.10	0.10	0.10	0.18	0.33	0.45
p-s1	24	0.05	0.85	0.22	0.06	0.07	0.10	0.10	0.23	0.65	0.75
p-m1	3	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
p-m2	5	0.06	4.13	0.97	0.07	0.08	0.10	0.14	0.41	2.64	3.39
p-s2	41	0.10	5.90	0.52	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.30	5.10
k-s1	4	0.10	0.59	0.31	0.10	0.10	0.10	0.28	0.49	0.55	0.57
d-s1	0										
d-s2	8	0.10	0.30	0.18	0.10	0.10	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30
d-s3	3	0.10	2.61	0.94	0.10	0.10	0.10	0.10	1.36	2.11	2.36
d-m1	1	0.10	0.10	0.10							
d-s4	33	0.06	7.90	0.50	0.10	0.10	0.10	0.16	0.30	0.42	1.58
d-s5	89	0.05	0.57	0.14	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.30	0.30
vd-1	0										
k-1	2	0.08	0.17	0.13	0.08	0.09	0.10	0.13	0.15	0.16	0.17

Anhang 3.26 Cer (Ce)

Cer ist ein Metall der seltenen Erden aus der Gruppe der Lanthanide. In der Natur kommt es vergesellschaftet mit anderen Lanthaniden in sogenannten Ceriterden vor. Bekannte Cer-führende Minerale sind Allanit, Monazit sowie Bastnäsit.

Cer wird selten in Reinform eingesetzt, sondern in einer Mischung aus den Seltenerden. In der Metallurgie dient cerhaltiges Mischmetall als Zusatz für Aluminiumlegierungen und hochtemperaturbeständige Eisenbasislegierungen. Die Eisen-Mischmetall-Legierung Cereisen dient als Ausgangsstoff für Zündsteine bei der Herstellung von Feuerzeugen und zur Erzeugung von Funkenregen. Cerdioxid wird für Autoabgaskatalysatoren verwendet. Es ist u.a. Bestandteil einiger Spezialgläser, Fluoreszenz-Farbstoffe (Leuchtstoffe) in Bildröhren und weißen Leuchtdioden, Leuchtstoff in Gasentladungsröhren sowie Kontrastmittel in der Radiologie.

In den Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen die Cergehalte im Bereich 0,007 bis 0,521 µg/l (Medianwerte). Dies ist in guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Zu bemerken ist, dass die Medianwerte für die Quarzite und Sandstein des Devons (d-s4) mit 0,521 µg/l und der karbonen Sand- und Siltsteine (k-s1) mit 0,233 µg/l etwa eine Größenordnung über den Werten der übrigen Einheiten liegen.

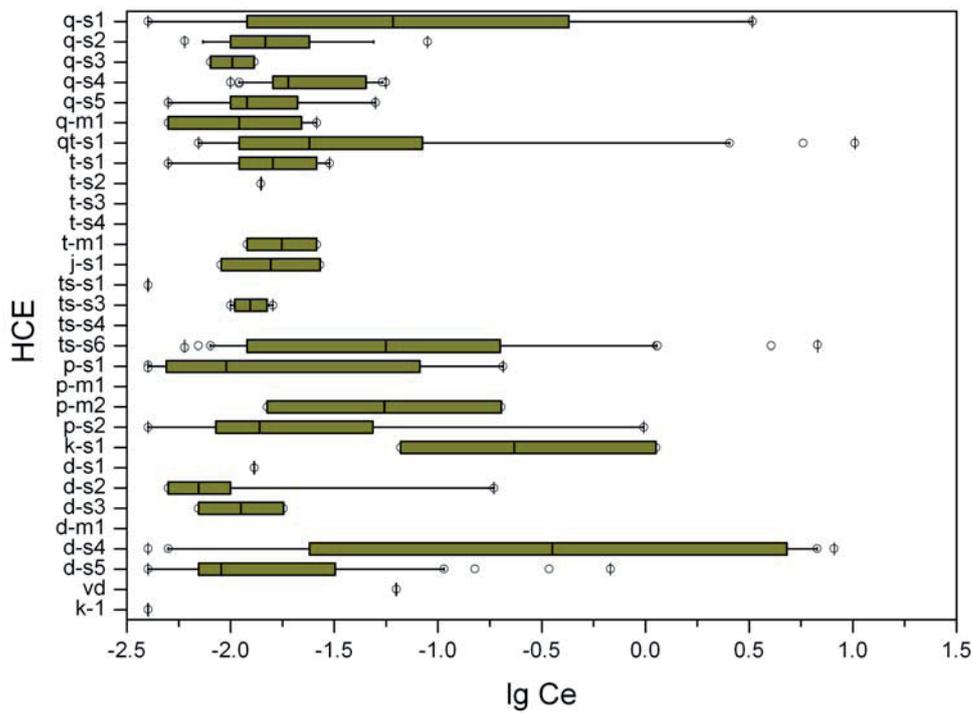


Abb. 3.26a, b: Box-Whisker-Diagramme für Cer (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [$\mu\text{g}/\text{l}$]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	8	0.004	3.288	0.565	0.007	0.010	0.012	0.130	0.371	1.458	2.373
q-s2	10	0.006	0.089	0.023	0.007	0.009	0.010	0.015	0.024	0.033	0.061
q-s3	2	0.008	0.013	0.011	0.008	0.009	0.009	0.011	0.012	0.013	0.013
q-s4	13	0.010	0.056	0.028	0.011	0.011	0.016	0.019	0.045	0.054	0.055
q-s5	9	0.005	0.050	0.017	0.005	0.006	0.010	0.012	0.021	0.028	0.039
q-m1	7	0.005	0.026	0.014	0.005	0.005	0.007	0.011	0.021	0.024	0.025
qt-s1	29	0.007	10.239	0.680	0.007	0.008	0.011	0.024	0.084	0.827	4.473
t-s1	7	0.005	0.030	0.017	0.007	0.009	0.012	0.016	0.022	0.028	0.029
t-s2	1	0.014	0.014	0.014							
t-s3	0										
t-s4	0										
t-m1	2	0.012	0.026	0.019	0.013	0.013	0.016	0.019	0.023	0.025	0.025
j-s1	2	0.009	0.027	0.018	0.010	0.011	0.014	0.018	0.023	0.025	0.026
ts-s1	1	0.004	0.004	0.004							
ts-s3	4	0.010	0.016	0.013	0.010	0.010	0.011	0.013	0.015	0.015	0.016
ts-s4	0										
ts-s6	34	0.006	6.765	0.477	0.008	0.008	0.012	0.056	0.195	0.997	2.163
p-s1	8	0.004	0.206	0.053	0.004	0.004	0.006	0.010	0.071	0.158	0.182
p-m1	0										
p-m2	2	0.015	0.202	0.109	0.024	0.034	0.062	0.109	0.155	0.183	0.193
p-s2	8	0.004	0.983	0.141	0.005	0.007	0.009	0.015	0.048	0.330	0.656
k-s1	3	0.066	1.125	0.475	0.083	0.099	0.150	0.233	0.679	0.947	1.036
d-s1	1	0.013	0.013	0.013							
d-s2	5	0.005	0.186	0.043	0.005	0.005	0.005	0.007	0.010	0.116	0.151
d-s3	2	0.007	0.018	0.013	0.008	0.008	0.010	0.013	0.015	0.017	0.017
d-m1	0										
d-s4	14	0.004	8.133	2.004	0.005	0.005	0.025	0.521	3.900	6.213	7.217
d-s5	38	0.004	0.679	0.047	0.004	0.005	0.007	0.009	0.031	0.083	0.180
vd-1	1	0.06	0.06	0.06							
k-1	1	0.00	0.00	0.00							

Anhang 3.27 Kobalt (Co)

Kobalt tritt in Magmatiten relativ angereichert auf und hat eine geochemische Verwandtschaft zu Eisen und Nickel.

Im Grundwasser sind Gehalte von wenigen Mikrogramm pro Liter bekannt. Kobalt kann die Löslichkeit erhöhende Komplex-Ionen bilden. Es wird durch Eisen- und Manganhydroxide sorbiert und mit gefällt. Für Pflanzen und Tiere stellt Kobalt einen Nährstoff dar. Es kommt vor allem in zwei- (bei pH-Werten unter 5) und dreiwertiger Form vor.

Die Kobaltkonzentrationen von Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich 0,1 bis 11,0 µg/l (Medianwerte). Dies ist z. T. in guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste Medianwerte (11 µg/l) wurde für die Einheit p-m2 ermittelt. Der Wert liegt etwa eine Größenordnung über den Werten der übrigen Einheiten.

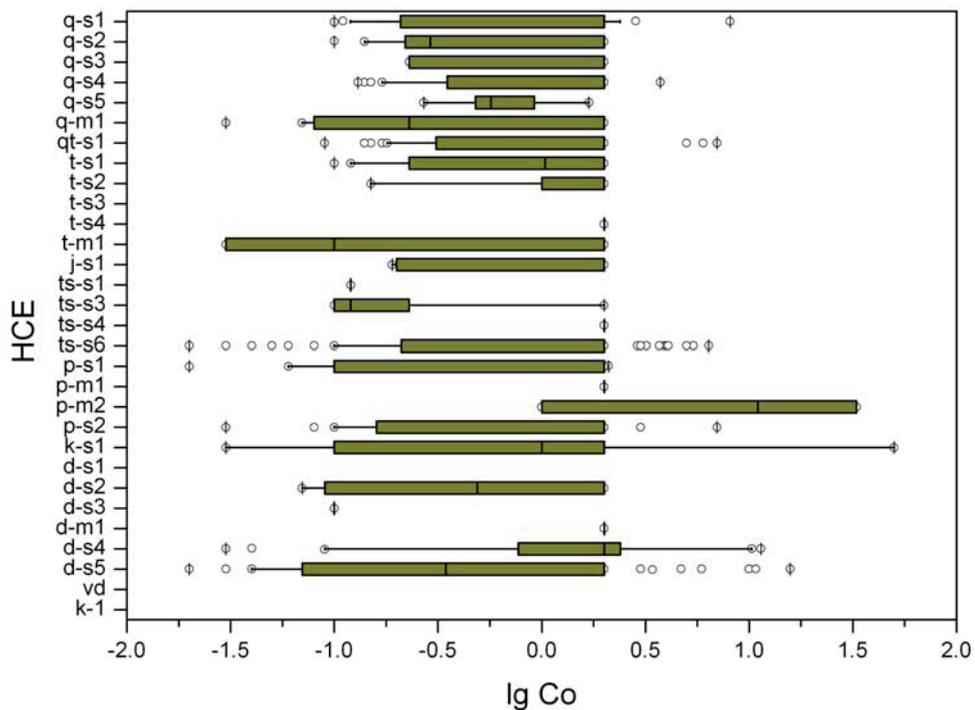


Abb. 3.27a, b: Box-Whisker-Diagramme für Kobalt (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in $[\mu\text{g}/\text{l}]$; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	20	0.10	8.10	1.60	0.110	0.128	0.255	2.000	2.000	2.084	3.103
q-s2	15	0.10	2.00	0.73	0.128	0.156	0.225	0.290	1.270	2.000	2.000
q-s3	3	0.23	2.00	0.82	0.230	0.230	0.230	0.230	1.115	1.646	1.823
q-s4	36	0.13	3.73	1.39	0.148	0.185	0.355	2.000	2.000	2.000	2.000
q-s5	9	0.27	1.69	0.79	0.350	0.430	0.480	0.570	0.920	1.602	1.646
q-m1	11	0.03	2.00	0.73	0.050	0.070	0.110	0.230	1.500	2.000	2.000
qt-s1	65	0.09	7.00	1.42	0.154	0.180	0.310	2.000	2.000	2.000	2.000
t-s1	13	0.10	2.00	1.12	0.112	0.128	0.230	1.040	2.000	2.000	2.000
t-s2	6	0.15	2.00	1.53	0.363	0.575	1.250	2.000	2.000	2.000	2.000
t-s3	0										
t-s4	2	2.00	2.00	2.00	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
t-m1	7	0.03	2.00	0.89	0.030	0.030	0.040	0.100	2.000	2.000	2.000
j-s1	5	0.19	2.00	1.28	0.192	0.194	0.200	2.000	2.000	2.000	2.000
ts-s1	1	0.12	0.12	0.12	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
ts-s3	7	0.10	2.00	0.40	0.100	0.100	0.105	0.120	0.185	0.938	1.469
ts-s4	1	2.00	2.00	2.00	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ts-s6	103	0.02	6.39	1.57	0.062	0.100	0.215	2.000	2.000	2.000	3.880
p-s1	14	0.02	2.10	1.19	0.046	0.066	0.103	2.000	2.000	2.000	2.035
p-m1	2	2.00	2.00	2.00	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
p-m2	3	1.00	33.00	15.00	2.000	3.000	6.000	11.000	22.000	28.600	30.800
p-s2	25	0.03	7.00	1.64	0.084	0.104	0.160	2.000	2.000	2.000	2.800
k-s1	6	0.03	50.01	9.11	0.048	0.065	0.200	1.250	2.000	26.005	38.008
d-s1	0										
d-s2	6	0.07	2.00	1.05	0.075	0.080	0.098	1.060	2.000	2.000	2.000
d-s3	1	0.10	0.10	0.10	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
d-m1	1	2.00	2.00	2.00	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
d-s4	29	0.03	11.42	3.01	0.060	0.098	0.770	2.000	2.400	9.340	10.960
d-s5	76	0.02	15.80	1.46	0.038	0.040	0.070	0.380	2.000	2.000	5.000
vd-1	0										
k-1	0										

Anhang 3.28 Chrom (Cr)

In Magmatiten ist Chrom ein vergleichsweise häufiges Element. Seine Anreicherung in Tonsteinen belegt die geringe geochemische Mobilität.

Die weit verbreitete technische Verwendung in der Metallindustrie ist Ursache des verbreiteten Vorkommens in Abwässern und Abfällen.

In wässrigen Lösungen tritt Chrom vor allem dreiwertig hydratisiert (unter reduzierenden Bedingungen) oder sechswertig als Dichromat und Chromat auf (oxidierende Bedingungen).

Für anthropogen nicht veränderte Grundwässer werden Chromgehalte im Bereich von $<10 \mu\text{g/l}$ angesetzt.

In Rheinland-Pfalz wurden in Grundwässern der oberen Grundwasserleiter Chromkonzentrationen im Bereich $0,28$ bis $2,05 \mu\text{g/l}$ (Medianwerte) festgestellt. Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste Medianwert ($2,05 \mu\text{g/l}$) wurde für die Einheit t-m1 (tertiäre Vulkanite) ermittelt.

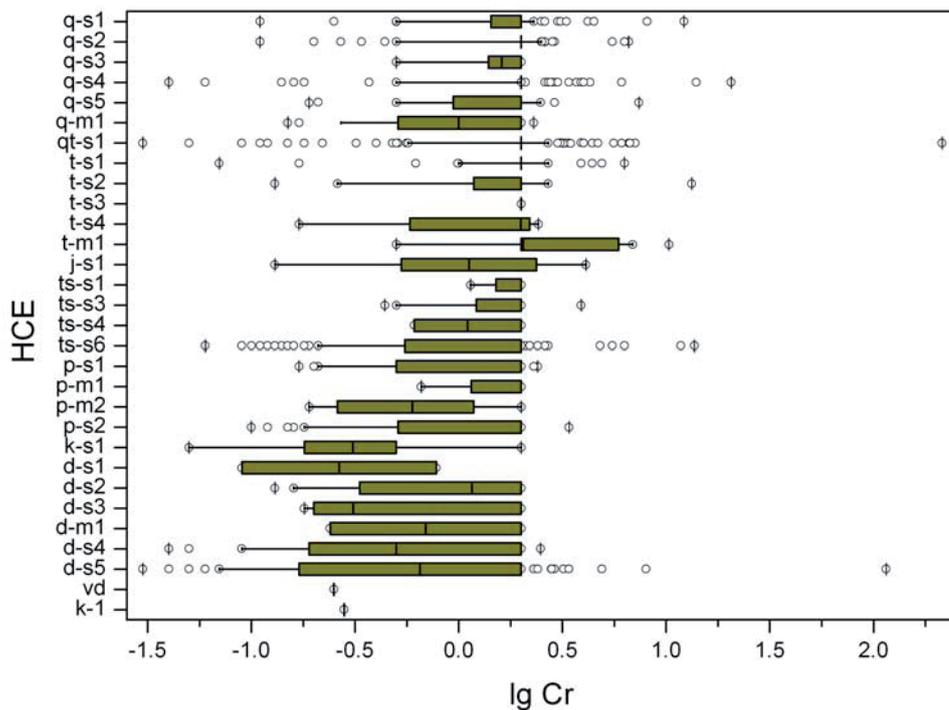


Abb. 3.28a, b: Box-Whisker-Diagramme für Chrom (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	97	0.11	12.20	1.94	0.50	0.50	1.43	2.00	2.00	2.18	3.14
q-s2	85	0.11	6.60	1.89	0.45	0.50	2.00	2.00	2.00	2.46	2.78
q-s3	5	0.50	2.00	1.50	0.68	0.86	1.39	1.61	2.00	2.00	2.00
q-s4	199	0.04	20.60	2.02	0.50	0.52	2.00	2.00	2.00	2.00	2.84
q-s5	25	0.19	7.40	1.86	0.27	0.50	0.94	2.00	2.00	2.29	2.82
q-m1	20	0.15	2.30	1.18	0.17	0.40	0.52	1.00	2.00	2.00	2.02
qt-s1	207	0.03	214.00	3.00	0.34	0.60	2.00	2.00	2.00	2.64	3.45
t-s1	44	0.07	6.30	2.08	0.68	1.03	2.00	2.00	2.00	2.64	4.33
t-s2	19	0.13	13.30	2.29	0.25	0.68	1.39	2.00	2.00	2.46	3.76
t-s3	1	2.00	2.00	2.00							
t-s4	4	0.17	2.42	1.64	0.44	0.71	1.53	1.99	2.11	2.29	2.36
t-m1	16	0.50	10.32	3.48	0.50	0.75	2.00	2.05	5.58	6.90	7.76
j-s1	8	0.13	4.10	1.59	0.26	0.39	0.55	1.32	2.20	3.19	3.65
ts-s1	4	1.14	2.00	1.79	1.27	1.40	1.79	2.00	2.00	2.00	2.00
ts-s3	28	0.44	3.90	1.69	0.50	0.56	1.26	2.00	2.00	2.00	2.00
ts-s4	2	0.61	2.00	1.31	0.68	0.75	0.96	1.31	1.65	1.86	1.93
ts-s6	201	0.06	13.70	1.66	0.14	0.21	0.55	2.00	2.00	2.00	2.10
p-s1	29	0.17	2.40	1.38	0.20	0.23	0.50	2.00	2.00	2.00	2.18
p-m1	4	0.66	2.00	1.67	0.86	1.06	1.67	2.00	2.00	2.00	2.00
p-m2	6	0.19	2.00	0.81	0.21	0.23	0.33	0.60	1.05	1.59	1.80
p-s2	52	0.10	3.40	1.39	0.14	0.18	0.52	2.00	2.00	2.00	2.00
k-s1	6	0.05	2.00	0.57	0.08	0.12	0.18	0.35	0.50	1.25	1.63
d-s1	2	0.09	0.78	0.44	0.12	0.16	0.26	0.44	0.61	0.71	0.75
d-s2	16	0.13	2.00	1.16	0.15	0.18	0.38	1.16	2.00	2.00	2.00
d-s3	5	0.18	2.00	0.94	0.18	0.19	0.20	0.31	2.00	2.00	2.00
d-m1	2	0.24	2.00	1.12	0.33	0.42	0.68	1.12	1.56	1.82	1.91
d-s4	48	0.04	2.48	0.99	0.09	0.10	0.20	0.50	2.00	2.00	2.00
d-s5	155	0.03	115.00	1.88	0.04	0.07	0.18	0.65	2.00	2.00	2.52
vd-1	1	0.25	0.25	0.25							
k-1	2	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28

Anhang 3.29 Kupfer (Cu)

Kupfer ist ein in der Erdkruste relativ häufig auftretendes Element. Es ist vor allem in Sulfiden, Oxiden und Hydroxykarbonaten gebunden. Kupfer kommt in Verbindungen in ein- und zweiwertiger Form vor. Unter oxidischen Bedingungen geht Kupfer aus Sulfiden als Sulfat in Lösung.

Kupfer ist ein wichtiges Spurenelement für den pflanzlichen und tierischen Stoffwechsel. Die industrielle Verwendung von Kupfer ist sehr vielseitig (u.a. Elektrotechnik). Seine bakteriziden Eigenschaften werden u.a. im Weinbau zum Pflanzenschutz genutzt.

Die Kupfergehalte süßer Grundwässer sind sehr niedrig. In Mineralwässern können Konzentrationen von wenigen Hundert Mikrogramm pro Liter auftreten. In Grubenwässern können die Gehalte auch um eine Größenordnung höher liegen.

Die Grundwässer der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz weisen Kupferkonzentrationen im Bereich 0,91 bis 9,0 µg/l (Medianwerte) auf. Das Ergebnis ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste Medianwert (9,0 µg/l) wurde für die Einheit k-1 (Kristallin) ermittelt.

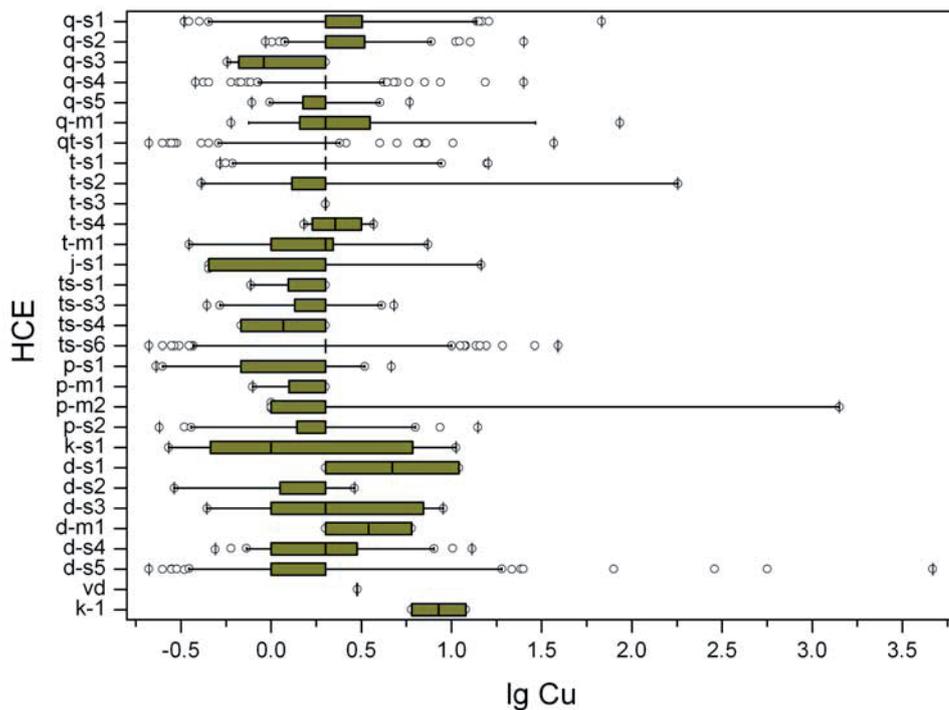


Abb. 3.29a, b: Box-Whisker-Diagramme für Kupfer (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [$\mu\text{g}/\text{l}$]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	98	0.33	68.00	3.82	0.66	1.64	2.00	2.00	3.18	6.40	12.10
q-s2	85	0.93	25.20	3.17	1.20	1.43	2.00	2.00	3.30	5.08	7.60
q-s3	5	0.57	2.00	1.23	0.59	0.61	0.66	0.91	2.00	2.00	2.00
q-s4	203	0.38	25.10	2.21	0.85	1.00	2.00	2.00	2.00	2.60	4.17
q-s5	26	0.78	5.87	2.05	0.99	1.06	1.62	2.00	2.00	2.80	3.80
q-m1	20	0.60	85.70	6.84	0.92	0.99	1.53	2.00	3.34	8.01	13.69
qt-s1	206	0.21	37.00	2.11	0.52	0.92	2.00	2.00	2.00	2.00	2.35
t-s1	48	0.52	16.00	2.62	0.65	0.76	2.00	2.00	2.00	2.99	8.14
t-s2	17	0.41	180.00	12.13	0.53	0.78	1.30	2.00	2.00	2.28	37.92
t-s3	1	2.00	2.00	2.00							
t-s4	4	1.52	3.70	2.46	1.57	1.63	1.79	2.30	2.97	3.41	3.55
t-m1	15	0.35	7.40	2.26	0.47	0.62	1.05	2.00	2.10	4.70	6.63
j-s1	7	0.45	14.60	3.14	0.45	0.45	0.46	2.00	2.00	7.04	10.82
ts-s1	4	0.77	2.00	1.69	0.95	1.14	1.69	2.00	2.00	2.00	2.00
ts-s3	28	0.44	4.80	1.89	0.59	0.80	1.38	2.00	2.00	2.50	3.79
ts-s4	2	0.68	2.00	1.34	0.75	0.81	1.01	1.34	1.67	1.87	1.93
ts-s6	192	0.21	39.00	3.03	0.38	0.53	2.00	2.00	2.00	4.40	10.00
p-s1	29	0.23	4.63	1.60	0.29	0.39	0.68	2.00	2.00	2.11	2.83
p-m1	4	0.79	2.00	1.70	0.97	1.15	1.70	2.00	2.00	2.00	2.00
p-m2	6	1.00	1413.00	236.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.75	707.50	1060.25
p-s2	53	0.24	14.00	2.31	0.52	0.85	1.39	2.00	2.00	3.77	6.12
k-s1	6	0.27	10.60	3.32	0.32	0.37	0.47	1.25	5.08	8.35	9.48
d-s1	2	2.00	11.00	6.50	2.45	2.90	4.25	6.50	8.75	10.10	10.55
d-s2	13	0.29	2.90	1.67	0.37	0.54	1.12	2.00	2.00	2.00	2.36
d-s3	6	0.44	9.00	3.57	0.58	0.72	1.25	2.00	5.75	8.00	8.50
d-m1	2	2.00	6.00	4.00	2.20	2.40	3.00	4.00	5.00	5.60	5.80
d-s4	45	0.49	13.00	2.62	0.73	0.88	1.00	2.00	3.00	5.66	7.80
d-s5	149	0.21	4664.00	40.21	0.38	0.52	1.00	2.00	2.00	6.04	16.93
vd-1	1	3.00	3.00	3.00							
k-1	2	6.00	12.00	9.00	6.30	6.60	7.50	9.00	10.50	11.40	11.70

Anhang 3.30 Quecksilber (Hg)

Quecksilber tritt mineralisch gebunden z.B. als Zinnober (Sulfid) in Gebieten mit ehemaliger vulkanischer Aktivität auf. Seltener kommt Quecksilber auch gediegen vor. Als einzige flüssige Substanz ist es als Mineral anerkannt. Seltene Quecksilberminerale sind Montroydit sowie Paraschachnerit, Schachnerit, Eugenit, Luanheit und Moschellandsbergit (jeweils AgHg). Ein anderes Mineral ist Belendorffit (CuHg).

Im Grundwasser liegen die Quecksilbergehalte i.d.R. $<1 \mu\text{g/l}$. In Thermalwässern können bei kolloidaler Sorbtion Konzentrationen in der Größenordnung von $100 \mu\text{g/l}$ auftreten.

Die Quecksilberkonzentrationen in Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich $0,02$ bis $0,11 \mu\text{g/l}$ (Medianwerte). Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003).

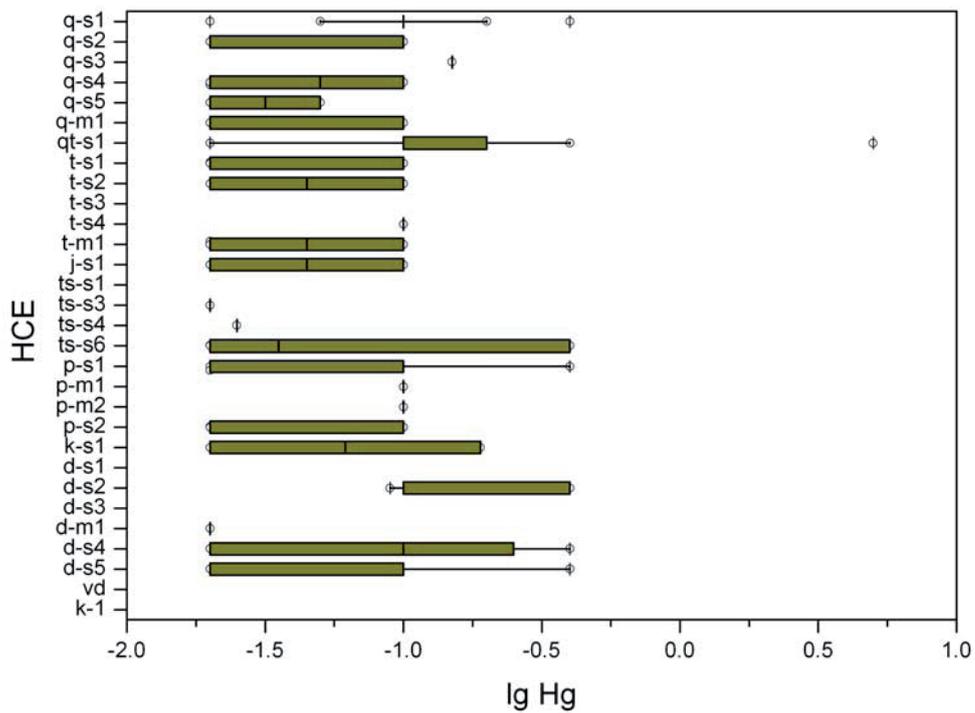


Abb. 3.30a, b: Box-Whisker-Diagramme für Quecksilber (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [$\mu\text{g/l}$]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	15	0.02	0.40	0.12	0.04	0.07	0.10	0.10	0.10	0.16	0.26
q-s2	13	0.02	0.10	0.06	0.02	0.02	0.02	0.10	0.10	0.10	0.10
q-s3	1	0.15	0.15	0.15							
q-s4	13	0.02	0.10	0.06	0.02	0.02	0.02	0.05	0.10	0.10	0.10
q-s5	2	0.02	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
q-m1	3	0.02	0.10	0.07	0.03	0.04	0.06	0.10	0.10	0.10	0.10
qt-s1	16	0.02	5.00	0.45	0.02	0.02	0.10	0.10	0.18	0.40	1.55
t-s1	9	0.02	0.10	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.10	0.10	0.10
t-s2	4	0.02	0.10	0.06	0.02	0.02	0.02	0.06	0.10	0.10	0.10
t-s3	0										
t-s4	2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
t-m1	4	0.02	0.10	0.06	0.02	0.02	0.02	0.06	0.10	0.10	0.10
j-s1	2	0.02	0.10	0.06	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.09	0.10
ts-s1	0										
ts-s3	3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ts-s4	1	0.03	0.03	0.03							
ts-s6	36	0.02	0.40	0.14	0.02	0.02	0.02	0.04	0.40	0.40	0.40
p-s1	7	0.02	0.40	0.11	0.02	0.02	0.03	0.10	0.10	0.22	0.31
p-m1	1	0.10	0.10	0.10							
p-m2	1	0.10	0.10	0.10							
p-s2	14	0.02	0.10	0.07	0.02	0.02	0.02	0.10	0.10	0.10	0.10
k-s1	2	0.02	0.19	0.11	0.03	0.04	0.06	0.11	0.15	0.17	0.18
d-s1	0										
d-s2	5	0.09	0.40	0.22	0.09	0.09	0.10	0.10	0.40	0.40	0.40
d-s3	0										
d-m1	1	0.02	0.02	0.02							
d-s4	13	0.02	0.40	0.14	0.02	0.02	0.02	0.10	0.25	0.40	0.40
d-s5	19	0.02	0.40	0.11	0.02	0.02	0.02	0.10	0.10	0.40	0.40
vd-1	0										
k-1	0										

Anhang 3.31 Lanthan (La)

Lanthan kommt natürlich nur vergesellschaftet mit den anderen Lanthaniden in verschiedenen Mineralien vor. Hauptsächlich sind dies Monazit und Bastnäsit.

Pyrophore Werkstoffe für Zündsteine enthalten 25 bis 45 Gewichts- % Lanthan. Darüber hinaus findet es Verwendung als Reduktionsmittel in der Metallurgie. Weiterhin bewirkt es als Legierungszusatz eine Verbesserung der Oxidationsbeständigkeit. Hochwertige Kathoden zur Erzeugung von freien Elektronen bestehen aus Lanthanhexaborid. Reines Lanthanoxid wird in der Glasindustrie zur Herstellung hochwertiger Gläser mit hohem Brechungsindex benutzt.

In Grundwässern wurden bislang Konzentrationen in der Größenordnung von etwa 0,01 bis 100 µg/l bestimmt.

In Rheinland-Pfalz wurden in Grundwässern der oberen Grundwasserleiter Lanthankonzentrationen im Bereich 0,007 bis 0,156 µg/l (Medianwerte) festgestellt. Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Relativ erhöhte Medianwerte wurden für die Einheiten p-m2 (0,112 µg/l), k-s1 (0,156 µg/l) und d-s4 (0,103 µg/l) ermittelt. Diese Werte liegen um bis zu etwa einer Größenordnung über denen der übrigen Einheiten.

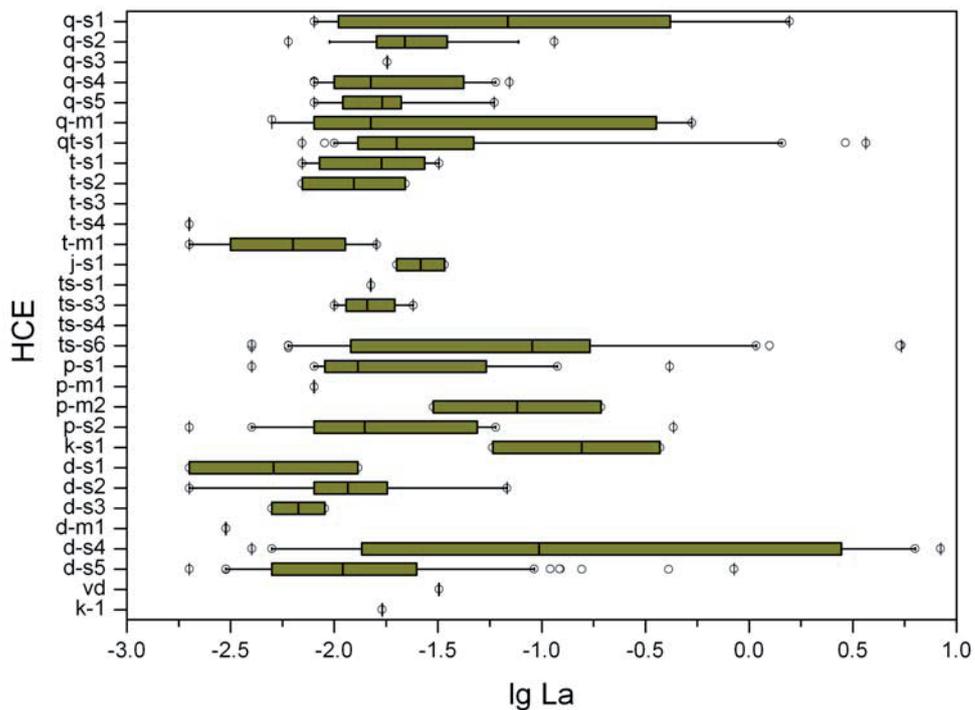


Abb. 3.31a, b: Box-Whisker-Diagramme für Lanthan (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	8	0.008	1.567	0.323	0.009	0.009	0.011	0.077	0.409	0.775	1.171
q-s2	10	0.006	0.115	0.033	0.010	0.014	0.017	0.022	0.034	0.058	0.087
q-s3	2	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
q-s4	13	0.008	0.070	0.027	0.008	0.008	0.010	0.015	0.042	0.057	0.064
q-s5	9	0.008	0.059	0.021	0.009	0.010	0.011	0.017	0.021	0.034	0.047
q-m1	7	0.005	0.530	0.138	0.006	0.007	0.011	0.015	0.196	0.426	0.478
qt-s1	29	0.007	3.655	0.302	0.009	0.010	0.013	0.020	0.047	0.419	2.325
t-s1	8	0.007	0.032	0.018	0.007	0.008	0.009	0.017	0.026	0.031	0.032
t-s2	2	0.007	0.022	0.015	0.008	0.009	0.011	0.015	0.018	0.021	0.021
t-s3	0										
t-s4	1	0.002	0.002	0.002							
t-m1	4	0.002	0.016	0.008	0.002	0.003	0.004	0.007	0.010	0.014	0.015
j-s1	2	0.020	0.034	0.027	0.021	0.021	0.024	0.027	0.031	0.033	0.033
ts-s1	1	0.015	0.015	0.015							
ts-s3	4	0.010	0.024	0.016	0.010	0.011	0.012	0.015	0.018	0.022	0.023
ts-s4	0										
ts-s6	38	0.004	5.419	0.440	0.006	0.006	0.014	0.090	0.169	0.723	1.862
p-s1	11	0.004	0.414	0.063	0.006	0.008	0.010	0.013	0.041	0.119	0.267
p-m1	1	0.008	0.008	0.008							
p-m2	2	0.030	0.193	0.112	0.038	0.046	0.071	0.112	0.152	0.177	0.185
p-s2	15	0.002	0.432	0.051	0.003	0.004	0.011	0.014	0.043	0.059	0.172
k-s1	3	0.058	0.372	0.195	0.068	0.078	0.107	0.156	0.264	0.329	0.350
d-s1	2	0.002	0.013	0.008	0.003	0.003	0.005	0.008	0.010	0.012	0.012
d-s2	6	0.002	0.068	0.020	0.004	0.005	0.008	0.012	0.017	0.043	0.056
d-s3	2	0.005	0.009	0.007	0.005	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.009
d-m1	1	0.003	0.003	0.003							
d-s4	16	0.004	8.393	1.705	0.005	0.006	0.019	0.103	2.722	5.107	6.845
d-s5	61	0.002	0.847	0.043	0.002	0.003	0.005	0.011	0.025	0.092	0.123
vd-1	1	0.032	0.032	0.032							
k-1	1	0.017	0.017	0.017							

Anhang 3.32 Lithium (Li)

Lithium ist ein geochemisch eher seltenes Element. Es tritt in Pegmatiten und Evaporiten relativ angereichert auf. Die wichtigsten Minerale sind dabei Amblygonit, Lepidolith, Petalit und Spodumen. Diese Minerale können einen Lithiumgehalt bis 9 % aufweisen. Lithiumsalze, insbesondere Lithiumchlorid, kommen verbreitet auch in Salzlaugen, meist Salzseen, vor. Nach Lösung aus dem Mineralbestand durch Verwitterung bleibt es bevorzugt in Lösung.

Typische Konzentrationen im Grundwasser werden für Lithium im Bereich von 0,001 bis 0,5 mg/l angegeben.

Die Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz weisen Lithiumkonzentrationen im Bereich von 0,31 bis 96,5 µg/l (Medianwerte) auf. Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste Medianwerte (96,5 µg/l) wurde für die Einheit t-s2 (Tertiär; Mergel-, Ton- und Siltsteine) ermittelt. Die Werte für die übrigen Einheiten liegen unterhalb 40 µg/l.

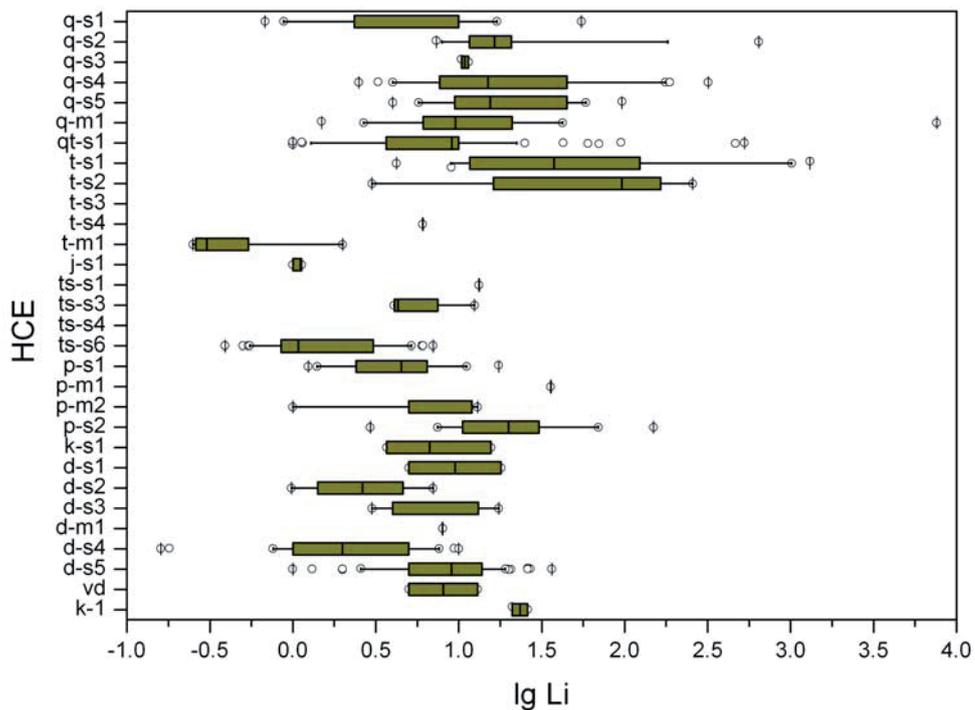


Abb. 3.32a, b: Box-Whisker-Diagramme für Lithium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in $[\mu\text{g/l}]$; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	14	0.7	54.9	10.9	0.81	1.16	2.40	10.00	10.00	16.39	30.26
q-s2	10	7.3	643.5	81.0	7.87	8.40	12.10	16.56	20.68	110.59	377.04
q-s3	2	10.4	11.5	10.9	10.42	10.48	10.64	10.91	11.18	11.34	11.40
q-s4	27	2.5	319.4	43.6	3.49	4.83	8.83	15.00	42.50	111.56	183.81
q-s5	14	4.0	96.3	28.9	5.12	6.09	9.59	15.54	44.54	55.87	71.65
q-m1	12	1.5	7600.0	645.0	2.14	3.00	6.17	10.00	19.60	40.44	3443.23
qt-s1	70	1.0	527.2	24.8	1.00	1.42	3.68	9.07	10.00	20.50	65.50
t-s1	13	4.2	1310.0	255.8	7.09	9.19	11.63	37.51	123.16	947.00	1133.00
t-s2	4	3.0	257.0	113.2	15.60	28.20	66.00	96.50	143.74	211.70	234.35
t-s3	0										
t-s4	1	6.1	6.1	6.1							
t-m1	6	0.3	2.0	0.6	0.25	0.26	0.26	0.31	0.49	1.27	1.64
j-s1	3	1.0	1.1	1.1	1.01	1.02	1.06	1.11	1.12	1.13	1.13
ts-s1	1	13.2	13.2	13.2							
ts-s3	4	4.1	12.4	6.3	4.08	4.08	4.10	4.32	6.50	10.06	11.25
ts-s4	0										
ts-s6	45	0.4	7.0	2.1	0.54	0.59	0.85	1.08	3.06	5.14	6.00
p-s1	12	1.2	17.4	5.6	1.33	1.46	2.67	4.51	6.01	10.80	13.99
p-m1	1	35.9	35.9	35.9							
p-m2	5	1.0	13.0	7.2	1.80	2.60	5.00	5.00	12.00	12.60	12.80
p-s2	18	2.9	149.3	30.8	6.77	7.84	11.43	19.94	30.14	64.27	81.39
k-s1	3	3.7	15.6	8.7	3.98	4.28	5.17	6.66	11.15	13.84	14.74
d-s1	2	5.0	18.0	11.5	5.65	6.30	8.25	11.50	14.75	16.70	17.35
d-s2	8	1.0	7.0	3.2	0.99	0.99	1.75	2.71	4.45	5.60	6.30
d-s3	5	3.0	17.4	8.3	3.20	3.40	4.00	4.00	13.11	15.69	16.55
d-m1	1	8.0	8.0	8.0							
d-s4	26	0.2	10.0	3.1	0.33	0.88	1.00	1.99	4.84	6.82	8.96
d-s5	77	1.0	36.4	10.3	2.00	2.62	5.00	9.03	13.78	19.04	21.69
vd-1	2	5.0	13.0	9.0	5.40	5.80	7.00	9.00	11.00	12.20	12.60
k-1	2	21.0	26.0	23.5	21.25	21.50	22.25	23.50	24.75	25.50	25.75

Anhang 3.33 Mangan (Mn)

Mangan liegt in der Rangfolge der Häufigkeiten von Elementen in der Erdkruste an der 12. Stelle. In Magmatiten ist es meist in 2-wertiger Form in eisen- und magnesiumhaltigen Mineralen eingebaut. In Sedimenten und Böden tritt es 2-, 3- oder 4-wertig in Form von Oxiden, Hydroxiden und Karbonaten auf. Die Löslichkeiten und auftretenden Wertigkeiten des Mangans sind abhängig von pH- und EH-Wert. Bei der Oxidation und Reduktion spielen Mikroorganismen eine katalytische Rolle.

Mangan ist biologisch bedeutsam als Bestandteil verschiedener Enzyme. So wirkt es an einer zentralen Stelle im Photosynthese-Zyklus.

Mangan wird vorwiegend in der Stahlindustrie eingesetzt. Insbesondere bei der Produktion rostfreier Stähle findet es Verwendung. In Legierungen mit Nichteisenmetallen erhöht es die Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

Die Mangankonzentration des Meerwassers ist gering und zeigt die relativ geringe geochemische Beweglichkeit an. Grundwässer weisen selten Mangangehalte größer 1 mg/l auf. Ausnahmen können Thermal- und Grubenwässer sowie Formationswässer von Ölfeldern bilden. Die Löslichkeit des Mangans in wässriger Lösung sinkt mit steigendem pH-Wert und ist ähnlich der des Eisens stark redoxabhängig.

In Rheinland-Pfalz wurden in Grundwässern der oberen Grundwasserleiter Mangankonzentrationen im Bereich 0,001 bis 0,28 mg/l (Medianwerte) festgestellt.

Medianwerte >0,1 mg/l wurden für die Grundwässer der Einheiten q-s4 (Jüngere Rhein-Terrasse im ORG), q-s5 (Ältere Rhein-Terrasse im ORG) und qt-s1 (Pliozän-quartäre Terrassensedimente im ORG) festgestellt. Diese Einheiten weisen häufig reduzierende Verhältnisse auf.

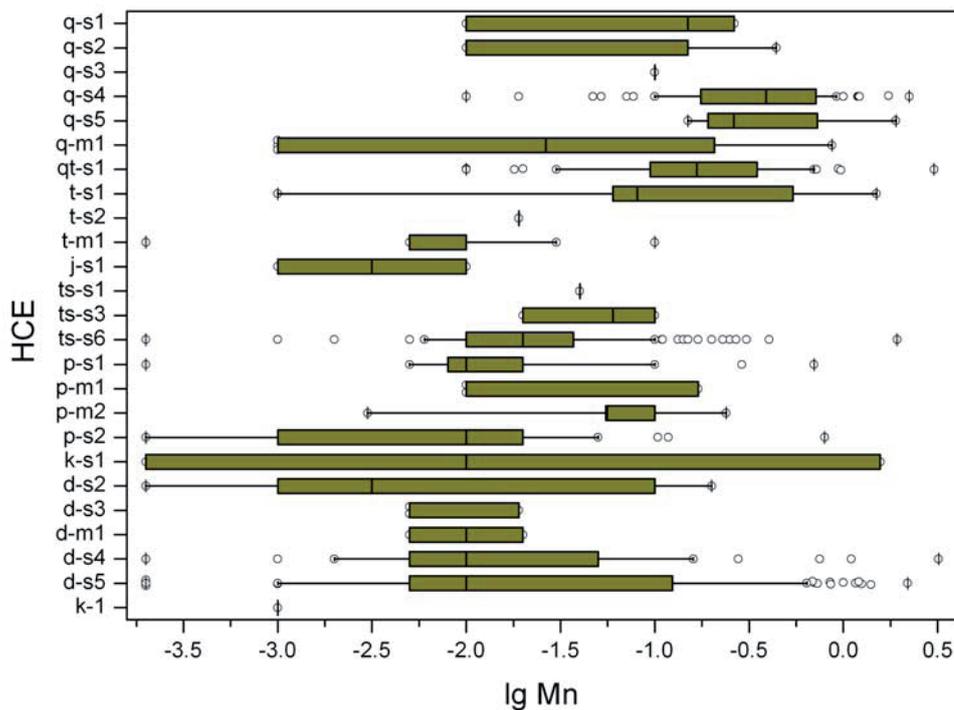


Abb. 3.33a, b: Box-Whisker-Diagramme für Mangan (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [mg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	4	0.0002	0.2640	0.1060	0.0002	0.0000	0.0050	0.080	0.207	0.264	0.264
q-s2	5	0.0100	0.4400	0.1240	0.0100	0.0100	0.0100	0.010	0.150	0.440	0.440
q-s3	2	0.1000	0.1000	0.1000							
q-s4	61	0.0100	2.2400	0.4923	0.0520	0.1000	0.1750	0.390	0.715	0.920	1.200
q-s5	4	0.1500	1.9000	0.7150	0.1500	0.1500	0.2150	0.405	1.215	1.900	1.900
q-m1	8	0.0010	0.8700	0.1823	0.0010	0.0010	0.0010	0.054	0.239	0.870	0.870
qt-s1	48	0.0100	3.0300	0.3040	0.0180	0.0300	0.0945	0.167	0.350	0.700	0.940
t-s1	6	0.0010	1.5000	0.3777	0.0010	0.0010	0.0600	0.083	0.540	1.500	1.500
t-s2	1	0.0200	0.0200	0.0200							
t-s3	0										
t-s4	0										
t-m1	28	0.0002	0.1000	0.0135	0.0050	0.0050	0.0050	0.005	0.010	0.030	0.100
j-s1	2	0.0010	0.0100	0.0055	0.0010	0.0010	0.0010	0.006	0.010	0.010	0.010
ts-s1	1	0.0400	0.0400	0.0400							
ts-s2	0										
ts-s3	3	0.0200	0.1000	0.0600	0.0200	0.0200	0.0200	0.060	0.100	0.100	0.100
ts-s4	0										
ts-s5	0										
ts-s6	177	0.0000	1.9300	0.0486	0.0010	0.0050	0.0100	0.020	0.034	0.100	0.170
p-s1	29	0.0002	0.7000	0.0504	0.0002	0.0050	0.0080	0.010	0.020	0.100	0.290
p-m1	3	0.0100	0.1700	0.0633	0.0100	0.0100	0.0100	0.010	0.170	0.170	0.170
p-m2	5	0.0030	0.2390	0.0906	0.0030	0.0030	0.0550	0.056	0.100	0.239	0.239
p-s2	31	0.0002	0.7960	0.0100	0.0002	0.0002	0.0010	0.010	0.020	0.050	0.118
k-s1	3	0.0002	1.5700	0.5267	0.0002	0.0002	0.0002	0.010	1.570	1.570	1.570
d-s1	0										
d-s2	6	0.0002	0.2000	0.0520	0.0002	0.0002	0.0010	0.006	0.100	0.200	0.200
d-s3	3	0.0050	0.0190	0.0097	0.0050	0.0050	0.0050	0.005	0.019	0.019	0.019
d-m1	2	0.0050	0.0200	0.0125	0.0050	0.0050	0.0050	0.013	0.020	0.020	0.020
d-s4	42	0.0002	3.2000	0.1500	0.0010	0.0020	0.0050	0.010	0.050	0.160	0.750
d-s5	122	0.0002	2.1930	0.1626	0.0002	0.0002	0.0050	0.010	0.108	0.567	0.860
vd-1	0										
k-1	1	0.0010	0.0010	0.0010							

Anhang 3.34 Molybdän (Mo)

Molybdän gehört zu den in der Erdkruste seltenen Elementen. Mineralisch gebunden kommt Molybdän meistens als Molybdänit (Sulfid) vor. Daneben gibt es noch Wulfenit (Blei/Molybdänoxid) und Powellit. Zur Verhüttung gelangt überwiegend das durch den Kupferbergbau anfallende Molybdänit.

Molybdän wird durch die Vegetation angereichert. Es kommt in Kohlenwasserstoffen vor und wird bei deren Verbrennung freigesetzt. Es findet Verwendung in Stahllegierungen, Schweißdrähten und als Schmiermittel.

Die Konzentrationen im Grundwasser erreichen meist nur wenige Mikrogramm pro Liter.

Die Molybdänkonzentrationen in den Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich von 0,06 bis 1,0 µg/l (Medianwerte). Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Die höchsten Medianwerte (jeweils 1,0 µg/l) wurden für die Einheiten p-m2 (Rotliegend, saure Magmatite) und q-m1 (Quartäre Vulkanite) ermittelt. Für die tertiären und quartären Einheiten deuten sich im Vergleich zu den übrigen Einheiten tendenziell höhere Konzentrationen an.

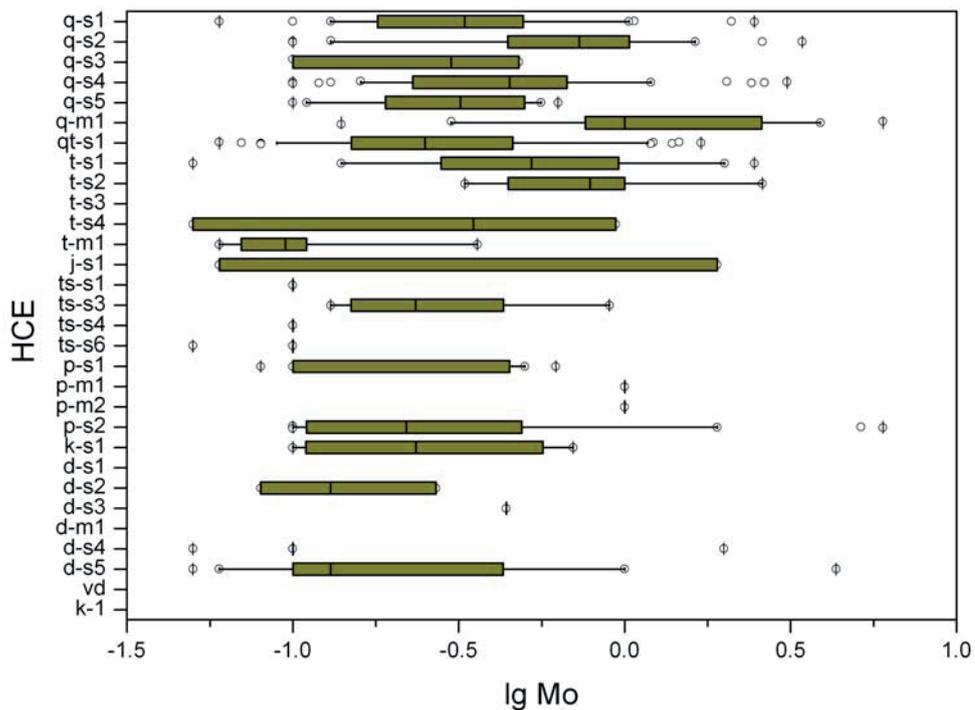


Abb. 3.34a, b: Box-Whisker-Diagramme für Molybdän (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	32	0.06	2.46	0.50	0.10	0.13	0.18	0.33	0.48	1.02	1.53
q-s2	24	0.10	3.43	0.90	0.10	0.18	0.45	0.73	0.98	1.59	2.45
q-s3	3	0.10	0.48	0.29	0.12	0.14	0.20	0.30	0.39	0.44	0.46
q-s4	47	0.10	3.09	0.63	0.12	0.17	0.23	0.45	0.67	1.14	2.30
q-s5	13	0.10	0.63	0.33	0.11	0.12	0.19	0.32	0.50	0.55	0.59
q-m1	11	0.14	6.00	1.79	0.22	0.30	0.78	1.00	2.39	3.89	4.95
qt-s1	50	0.06	1.70	0.41	0.08	0.10	0.15	0.25	0.45	1.16	1.31
t-s1	14	0.05	2.46	0.79	0.11	0.17	0.32	0.53	0.96	1.81	2.16
t-s2	8	0.33	2.60	0.93	0.35	0.37	0.48	0.80	1.00	1.48	2.04
t-s3	0										
t-s4	3	0.05	0.94	0.45	0.08	0.11	0.20	0.35	0.65	0.82	0.88
t-m1	6	0.06	0.36	0.13	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.24	0.30
j-s1	3	0.06	1.90	0.67	0.06	0.06	0.06	0.06	0.98	1.53	1.72
ts-s1	1	0.10	0.10	0.10							
ts-s3	8	0.13	0.90	0.33	0.13	0.14	0.16	0.24	0.41	0.61	0.76
ts-s4	1	0.10	0.10	0.10							
ts-s6	26	0.05	0.10	0.10	0.06	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
p-s1	11	0.08	0.62	0.22	0.09	0.10	0.10	0.10	0.29	0.50	0.56
p-m1	1	1.00	1.00	1.00							
p-m2	2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-s2	23	0.10	6.00	0.81	0.10	0.10	0.13	0.22	0.46	1.72	4.83
k-s1	4	0.10	0.70	0.35	0.10	0.11	0.12	0.29	0.52	0.63	0.66
d-s1	0										
d-s2	3	0.08	0.27	0.16	0.09	0.09	0.11	0.13	0.20	0.24	0.26
d-s3	1	0.44	0.44	0.44							
d-m1	0										
d-s4	11	0.05	1.99	0.27	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	1.05
d-s5	31	0.05	4.34	0.42	0.06	0.06	0.10	0.13	0.41	1.00	1.00
vd-1	0										
k-1	0										

Anhang 3.35 Nickel (Ni)

Nickel ist in der Erdkruste relativ häufig vertreten und findet sich vorzugsweise in Magmatiten. Es wird i.W. aus nickelhaltigen Erzen gewonnen, vor allem aus den Mineralen Garnierit und dem Pentlandit. Darüber hinaus werden u.a. auch lateritische Nickelerze, Nickelmagnetkies als Rohstoffe zur Nickelproduktion abgebaut. Ein häufiger Begleiter des Nickels ist Cobalt. Nickel wird u.a. zur Herstellung korrosionsfester Metalllegierungen verwendet.

Für den Grundwasserbereich werden Nickelkonzentrationen von etwa 1 bis 20 µg/l angegeben. Aus Grubenwässern und Formationswässern von Ölfeldern sind höhere Gehalte bekannt.

Die Grundwässer der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz weisen Nickelkonzentrationen im Bereich von 0,78 bis 5,0 µg/l (Medianwerte) auf. Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

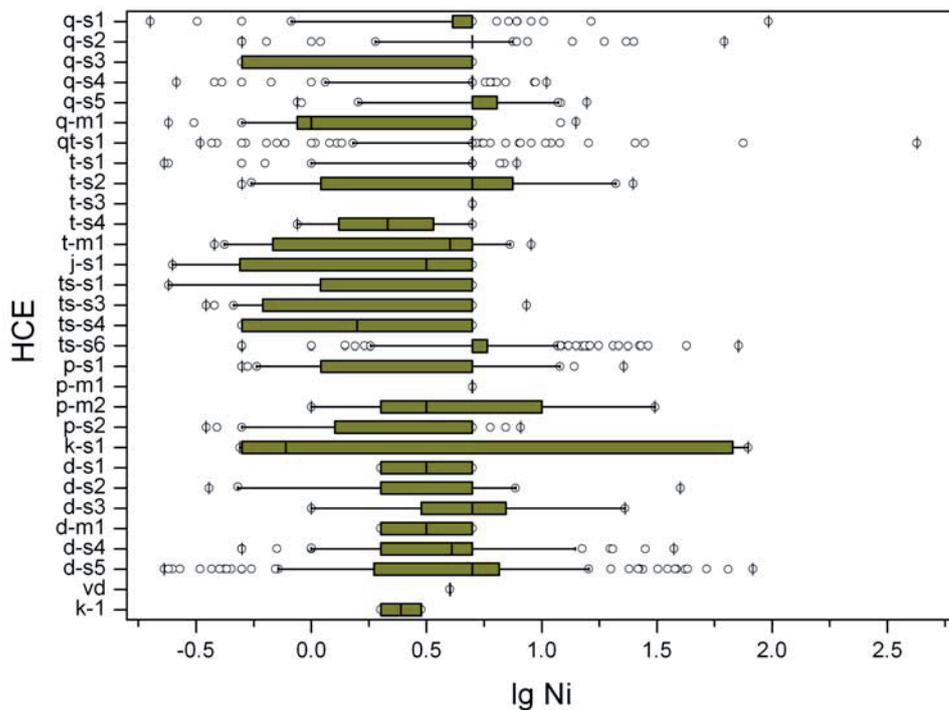


Abb. 3.35a, b: Box-Whisker-Diagramme für Nickel (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in $[\mu\text{g/l}]$; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	96	0.2	96.4	5.4	0.50	0.91	4.10	5.00	5.00	5.00	7.81
q-s2	76	0.5	62.0	6.2	0.61	2.15	5.00	5.00	5.00	7.40	14.88
q-s3	3	0.5	5.0	3.5	0.95	1.40	2.75	5.00	5.00	5.00	5.00
q-s4	198	0.3	10.5	4.5	0.50	1.28	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
q-s5	25	0.9	15.7	5.7	1.05	1.69	5.00	5.00	6.40	11.27	12.04
q-m1	23	0.2	14.1	3.0	0.33	0.51	0.87	1.00	5.00	5.00	11.39
qt-s1	207	0.3	425.0	7.2	0.66	1.57	5.00	5.00	5.00	5.00	8.73
t-s1	45	0.2	7.8	4.3	0.53	1.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.28
t-s2	19	0.5	24.9	6.4	0.55	0.91	1.35	5.00	6.25	17.00	21.39
t-s3	1	5.0	5.0	5.0							
t-s4	4	0.9	5.0	2.5	1.04	1.21	1.72	2.15	2.98	4.19	4.60
t-m1	15	0.4	9.0	3.7	0.41	0.45	0.99	4.00	5.00	7.14	7.81
j-s1	8	0.3	5.0	2.9	0.33	0.41	0.50	3.50	5.00	5.00	5.00
ts-s1	4	0.2	5.0	3.8	0.95	1.67	3.81	5.00	5.00	5.00	5.00
ts-s3	28	0.4	8.6	3.7	0.41	0.49	0.70	5.00	5.00	5.00	5.00
ts-s4	2	0.5	5.0	2.8	0.73	0.95	1.63	2.75	3.88	4.55	4.78
ts-s6	207	0.5	71.5	6.5	1.00	1.82	5.00	5.00	5.81	11.62	16.14
p-s1	27	0.5	22.7	5.2	0.55	0.64	1.55	5.00	5.00	11.58	13.29
p-m1	3	5.0	5.0	5.0	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
p-m2	6	1.0	31.0	8.5	1.25	1.50	2.00	3.50	8.75	20.50	25.75
p-s2	52	0.4	8.1	3.7	0.50	0.50	1.45	5.00	5.00	5.00	6.00
k-s1	6	0.5	78.6	24.8	0.49	0.50	0.55	0.78	50.75	72.99	75.79
d-s1	2	2.0	5.0	3.5	2.15	2.30	2.75	3.50	4.25	4.70	4.85
d-s2	15	0.4	40.0	6.1	0.44	0.49	2.50	5.00	5.00	7.42	17.39
d-s3	6	1.0	23.0	7.3	1.50	2.00	3.50	5.00	6.50	15.00	19.00
d-m1	2	2.0	5.0	3.5	2.15	2.30	2.75	3.50	4.25	4.70	4.85
d-s4	50	0.5	37.5	5.8	0.84	1.00	2.00	4.08	5.00	13.20	20.08
d-s5	151	0.2	82.5	7.8	0.43	0.72	1.89	5.00	6.32	16.00	36.55
vd-1	2	4.0	4.0	4.0	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
k-1	2	2.0	3.0	2.5	2.05	2.10	2.25	2.50	2.75	2.90	2.95

Anhang 3.36 Blei (Pb)

Blei gehört zu den in der Erdkruste seltenen Elementen. Angereichert ist es u.a. in den Mineralen Galenit (Bleisulfid), Cerussit (Blei(II)-carbonat), Krokoit (Blei(II)-chromat) und Anglesit (Blei(II)-sulfat). In Silikaten (v.a. Feldspäten) und Phosphaten kann es das Kalium ersetzen.

In Rheinland-Pfalz bekannte Abbaugelände liegen in der nördlichen Eifel (Rescheid, Gruben Wohlfahrt und Schwalenbach sowie an der unteren Lahn (Bad Ems, Grube Holzappel).

Blei ist technisch vielseitig verwendbar (Bauwesen, Apparatebau, Strahlenschutz, Elektrotechnik, Maschinenbau). Über den atmosphärischen Eintrag von Abgasen durch Verbrennung fossiler Brennstoffe, durch den Kraftfahrzeugverkehr, die Verhüttung von Buntmetallen sowie feste und flüssige Abfallstoffe gelangt es in den Untergrund.

Aufgrund der geringen Löslichkeit von Bleiverbindungen sowie seiner geringen geochemischen Beweglichkeit liegen die Bleigehalte im Grundwasser im Bereich unterhalb etwa 20 µg/l.

In Rheinland-Pfalz wurden in Grundwässern der oberen Grundwasserleiter Bleigehalte im Bereich 0,18 bis 3,0 mg/l (Medianwerte) festgestellt. Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

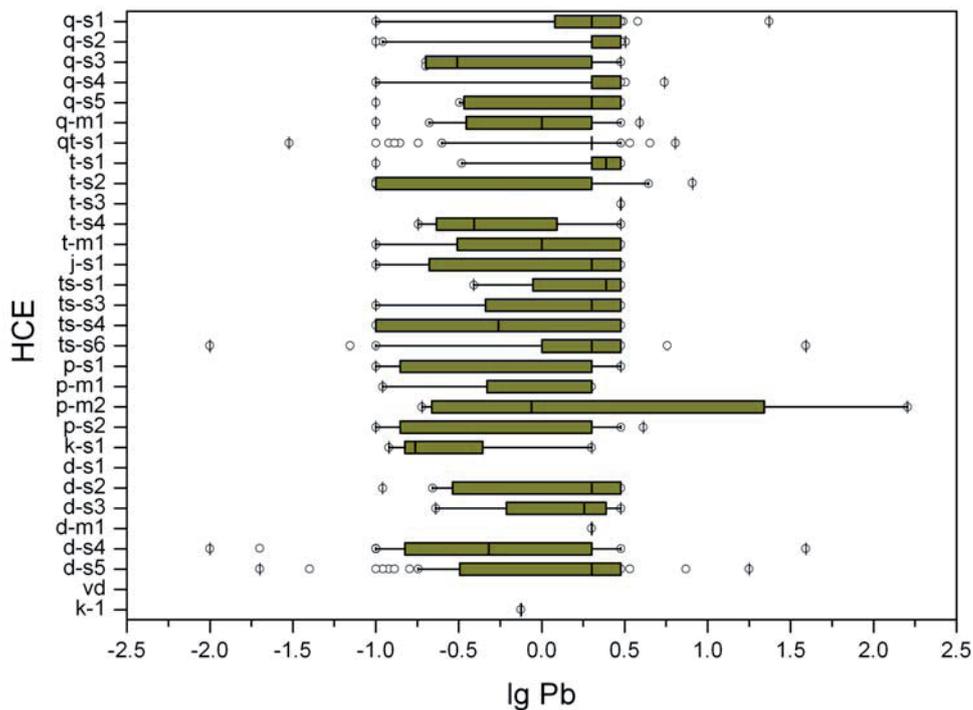


Abb. 3.36a, b: Box-Whisker-Diagramme für Blei (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	97	0.10	23.50	2.06	0.10	0.10	1.20	2.00	3.00	3.00	3.00
q-s2	79	0.10	3.20	2.17	0.10	0.13	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00
q-s3	5	0.20	3.00	1.14	0.20	0.20	0.20	0.31	2.00	2.60	2.80
q-s4	195	0.10	5.50	2.00	0.10	0.10	2.00	2.00	3.00	3.00	3.00
q-s5	23	0.10	3.00	1.70	0.12	0.32	0.38	2.00	2.50	3.00	3.00
q-m1	19	0.10	3.90	1.36	0.20	0.26	0.36	1.00	2.00	3.00	3.09
qt-s1	194	0.03	6.40	1.83	0.10	0.26	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00
t-s1	44	0.10	3.00	2.16	0.10	0.33	2.00	2.50	3.00	3.00	3.00
t-s2	17	0.10	8.10	1.86	0.10	0.10	0.10	2.00	2.00	3.56	5.14
t-s3	1	3.00	3.00	3.00							
t-s4	4	0.18	3.00	1.00	0.20	0.22	0.27	0.41	1.13	2.25	2.63
t-m1	13	0.10	3.00	1.33	0.10	0.10	0.31	1.00	3.00	3.00	3.00
j-s1	7	0.10	3.00	1.51	0.13	0.17	0.24	2.00	2.50	3.00	3.00
ts-s1	4	0.39	3.00	2.10	0.63	0.87	1.60	2.50	3.00	3.00	3.00
ts-s3	28	0.10	3.00	1.89	0.10	0.10	0.47	2.00	3.00	3.00	3.00
ts-s4	2	0.10	3.00	1.55	0.25	0.39	0.83	1.55	2.28	2.71	2.86
ts-s6	186	0.01	39.10	2.12	0.10	0.10	1.00	2.00	3.00	3.00	3.00
p-s1	27	0.10	3.00	1.47	0.10	0.10	0.24	2.00	2.00	3.00	3.00
p-m1	4	0.11	2.00	1.53	0.39	0.68	1.53	2.00	2.00	2.00	2.00
p-m2	4	0.19	160.34	40.95	0.20	0.21	0.24	1.63	42.34	113.14	136.74
p-s2	51	0.10	4.10	1.40	0.10	0.10	0.15	2.00	2.00	3.00	3.00
k-s1	6	0.12	2.00	0.51	0.13	0.14	0.15	0.18	0.38	1.22	1.61
d-s1	0										
d-s2	11	0.11	3.00	1.74	0.17	0.22	0.39	2.00	3.00	3.00	3.00
d-s3	4	0.23	3.00	1.72	0.44	0.65	1.28	1.82	2.25	2.70	2.85
d-m1	1	2.00	2.00	2.00							
d-s4	37	0.01	39.10	2.17	0.08	0.10	0.15	0.48	2.00	3.00	3.00
d-s5	135	0.02	17.80	1.71	0.11	0.18	0.33	2.00	3.00	3.00	3.00
vd-1	0										
k-1	1	0.75	0.75	0.75							

Anhang 3.37 Rubidium (Rb)

Rubidium gehört zur Gruppe der inkompatiblen Elemente und tritt in der Regel zusammen mit diesen in erhöhten Konzentrationen z.B. in Pegmatiten auf. In kleiner Konzentration kommt es in einigen Mineralien wie Leucit, Pollucit und Zinnwaldit vor. Das v.a. als Lithium-haltig bekannte Schichtsilikat Lepidolith enthält bis zu 1,5 % Rubidium. Das geochemische Verhalten des Rubidiums ähnelt dem des Kaliums. In Tongesteinen ist Rubidium relativ angereichert.

Rubidium und seine Verbindungen besitzen ein nur kleines Anwendungsspektrum und werden hauptsächlich in der Forschung und Entwicklung eingesetzt.

Typische Konzentrationen von Rubidium im Grundwasser liegen um etwa 10 µg/l. Erhöhte Gehalte sind aus Ölfeldwässern und Salinarwässern bekannt.

Die Rubidiumkonzentrationen in den Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich von 0,62 bis 10,44 µg/l (Medianwerte). Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste Medianwert (10,44 µg/l) wurde für die Einheit k-1 (Kristallin; Granite, Gneise) ermittelt. Die Konzentrationen für die übrigen Einheiten liegen unter etwa 5 µg/l.

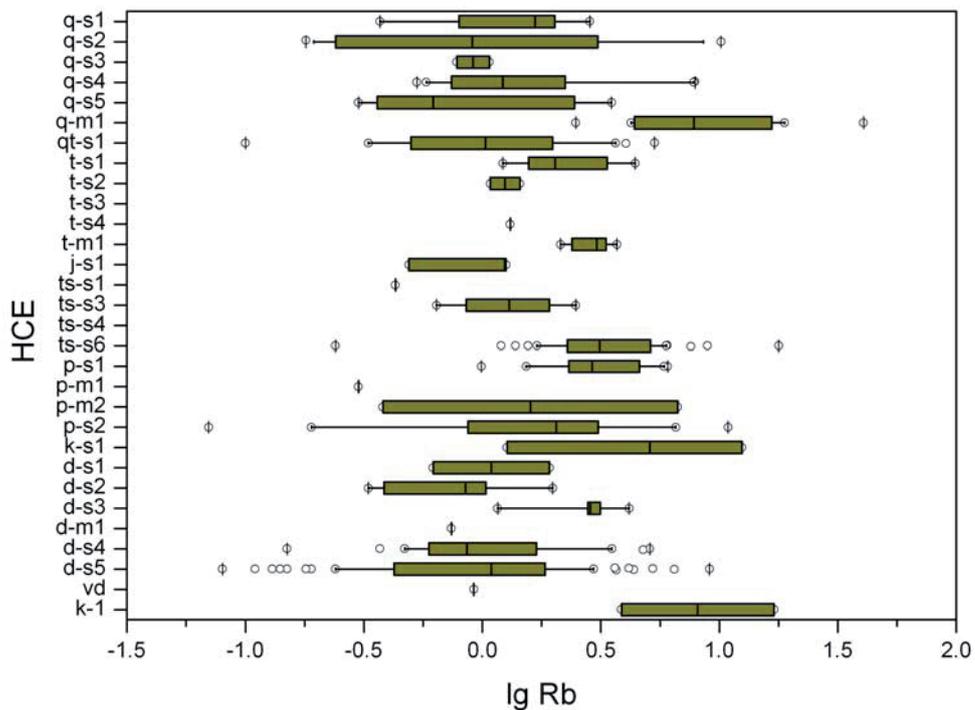


Abb. 3.37a, b: Box-Whisker-Diagramme für Rubidium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	8	0.37	2.84	1.56	0.40	0.43	1.15	1.67	1.95	2.38	2.61
q-s2	10	0.18	10.16	2.60	0.19	0.21	0.25	0.92	3.01	7.50	8.83
q-s3	2	0.78	1.07	0.93	0.79	0.81	0.85	0.93	1.00	1.04	1.06
q-s4	13	0.53	7.89	2.28	0.56	0.61	0.74	1.22	2.24	6.76	7.84
q-s5	9	0.30	3.51	1.35	0.31	0.32	0.36	0.62	2.45	2.71	3.11
q-m1	11	2.48	40.63	12.25	3.36	4.24	5.08	7.82	16.16	18.85	29.74
qt-s1	29	0.10	5.33	1.47	0.19	0.35	0.50	1.03	1.98	3.60	3.88
t-s1	8	1.22	4.42	2.48	1.28	1.34	1.68	2.05	3.03	4.42	4.42
t-s2	2	1.08	1.44	1.26	1.10	1.12	1.17	1.26	1.35	1.40	1.42
t-s3	0										
t-s4	1	1.31	1.31	1.31							
t-m1	6	2.14	3.70	2.94	2.20	2.27	2.55	3.04	3.26	3.52	3.61
j-s1	3	0.49	1.26	1.00	0.57	0.64	0.87	1.24	1.25	1.26	1.26
ts-s1	1	0.43	0.43	0.43							
ts-s3	4	0.64	2.48	1.44	0.72	0.79	1.02	1.31	1.73	2.18	2.33
ts-s4	0										
ts-s6	45	0.24	17.82	3.91	1.42	1.74	2.28	3.12	5.13	5.95	7.27
p-s1	12	0.99	6.06	3.36	1.29	1.59	2.40	2.91	4.51	5.74	5.94
p-m1	1	0.30	0.30	0.30							
p-m2	2	0.38	6.67	3.53	0.69	1.01	1.95	3.53	5.10	6.04	6.36
p-s2	17	0.07	10.90	2.69	0.17	0.30	0.87	2.05	3.08	5.88	7.42
k-s1	3	1.27	12.45	6.27	1.65	2.03	3.18	5.09	8.77	10.98	11.71
d-s1	2	0.62	1.92	1.27	0.69	0.75	0.95	1.27	1.60	1.79	1.86
d-s2	8	0.33	1.98	0.86	0.34	0.35	0.40	0.85	0.96	1.47	1.72
d-s3	5	1.16	4.16	2.82	1.49	1.81	2.79	2.85	3.15	3.76	3.96
d-m1	1	0.74	0.74	0.74							
d-s4	24	0.15	5.09	1.42	0.39	0.49	0.60	0.87	1.56	3.24	4.59
d-s5	76	0.08	9.09	1.43	0.15	0.26	0.43	1.09	1.81	2.84	4.20
vd-1	1	0.92	0.92	0.92							
k-1	2	3.86	17.02	10.44	4.52	5.18	7.15	10.44	13.73	15.70	16.36

Anhang 3.38 Antimon (Sb)

Antimon ist ein in der Erdkruste seltenes Element. Das Halbmetall tritt mineralisch meist als Sulfid auf. Seiner Häufigkeit entsprechend erreichen die Konzentrationen in Grundwässern maximal etwa 0,1 mg/l, liegen jedoch meist deutlich darunter (0,01 µg/l bis wenige Mikrogramm pro Liter).

In Rheinland-Pfalz wurden in Grundwässern der oberen Grundwasserleiter Antimongehalte im Bereich 0,02 bis 2,0 mg/l (Medianwerte) festgestellt. Der Konzentrationsbereich stimmt mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten überein (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

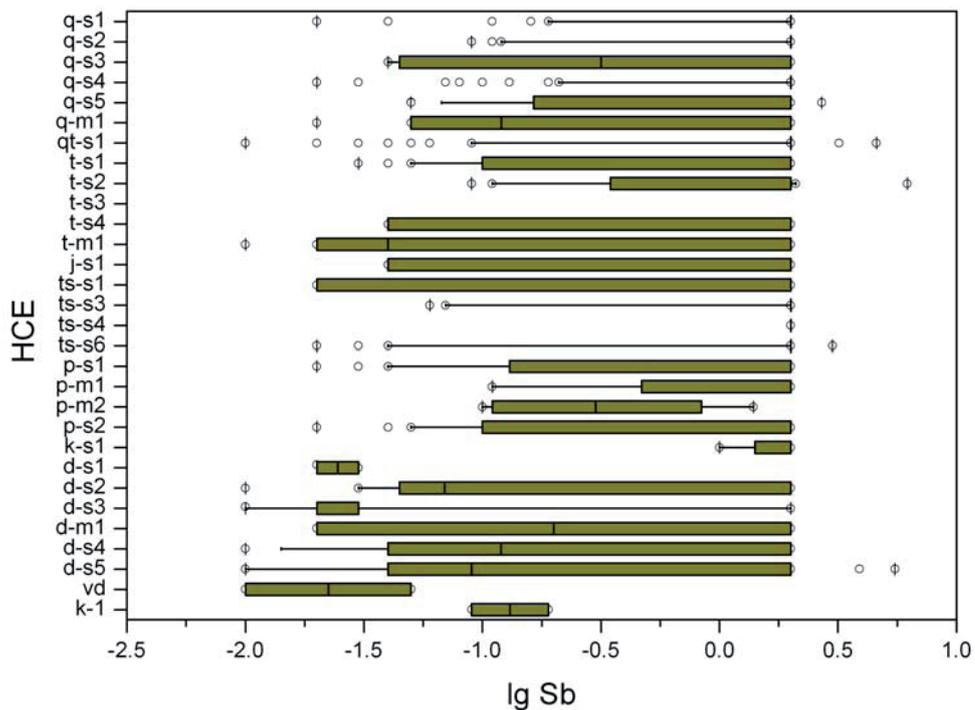


Abb. 3.38a, b: Box-Whisker-Diagramme für Antimon (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	59	0.02	2.00	1.75	0.10	0.27	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
q-s2	46	0.09	2.00	1.60	0.11	0.12	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
q-s3	4	0.04	2.00	1.02	0.04	0.04	0.05	1.03	2.00	2.00	2.00
q-s4	129	0.02	2.00	1.78	0.07	0.31	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
q-s5	20	0.05	2.70	1.30	0.05	0.09	0.17	2.00	2.00	2.00	2.04
q-m1	19	0.02	2.00	0.89	0.05	0.05	0.06	0.12	2.00	2.00	2.00
qt-s1	165	0.01	4.60	1.62	0.05	0.09	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
t-s1	28	0.03	2.00	1.45	0.04	0.05	0.10	2.00	2.00	2.00	2.00
t-s2	12	0.09	6.20	1.80	0.10	0.11	0.78	2.00	2.00	2.09	3.95
t-s3	0										
t-s4	3	0.04	2.00	1.35	0.24	0.43	1.02	2.00	2.00	2.00	2.00
t-m1	11	0.01	2.00	0.92	0.02	0.02	0.02	0.04	2.00	2.00	2.00
j-s1	7	0.04	2.00	1.16	0.04	0.04	0.05	2.00	2.00	2.00	2.00
ts-s1	3	0.02	2.00	1.34	0.22	0.42	1.01	2.00	2.00	2.00	2.00
ts-s3	18	0.06	2.00	1.57	0.07	0.08	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ts-s4	2	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ts-s6	140	0.02	3.00	1.54	0.03	0.04	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
p-s1	25	0.02	2.00	1.38	0.03	0.04	0.13	2.00	2.00	2.00	2.00
p-m1	4	0.11	2.00	1.53	0.39	0.68	1.53	2.00	2.00	2.00	2.00
p-m2	5	0.10	1.39	0.55	0.10	0.10	0.11	0.30	0.84	1.17	1.28
p-s2	38	0.02	2.00	1.39	0.04	0.06	0.12	2.00	2.00	2.00	2.00
k-s1	4	1.00	2.00	1.75	1.15	1.30	1.75	2.00	2.00	2.00	2.00
d-s1	2	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
d-s2	12	0.01	2.00	0.86	0.02	0.03	0.05	0.07	2.00	2.00	2.00
d-s3	5	0.01	2.00	0.42	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	1.21	1.61
d-m1	2	0.02	2.00	1.01	0.12	0.22	0.52	1.01	1.51	1.80	1.90
d-s4	40	0.01	2.00	0.88	0.01	0.02	0.04	0.12	2.00	2.00	2.00
d-s5	119	0.01	5.50	0.87	0.01	0.02	0.04	0.09	2.00	2.00	2.00
vd-1	2	0.01	0.05	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
k-1	2	0.09	0.19	0.14	0.10	0.10	0.12	0.14	0.17	0.18	0.19

Anhang 3.39 Selen (Se)

Selen ist ein in der Erdkruste sehr seltenes Element. Geochemisch ähnelt sein Verhalten dem des Schwefels. Selen tritt häufig in Form von Metallseleniden, meist als Begleiter schwefelhaltiger Erze auf (Kupfer, Blei, Zink, Gold und Eisen). Beim Abrösten dieser Erze sammelt sich das feste Selendioxid in der Flugasche.

Selen kann von Pflanzen aufgenommen und relativ angereichert werden. Selen ist für alle Lebensformen essentiell. Selenverbindungen werden als Nahrungsergänzungsmittel verwendet und in Futter- und Düngemittelzusätzen verarbeitet. In der Industrie nutzt man es zur farblichen Gestaltung von Gläsern.

Die Konzentrationen von Selen im Grundwasser sind meist gering und liegen im Bereich $<10 \mu\text{g/l}$. Erhöhte Konzentrationen sind aus dem Umfeld von Sulfidlagerstätten bekannt.

Die Grundwässer der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz weisen Selenkonzentrationen im Bereich von $0,23$ bis $3,37 \mu\text{g/l}$ (Medianwerte) auf. Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste Medianwert ($3,37 \mu\text{g/l}$) wurde für die Einheit k-s1 (Karbon; Sand-, Siltsteine) ermittelt. Die Werte für die übrigen Einheiten liegen unterhalb ca. $2 \mu\text{g/l}$.

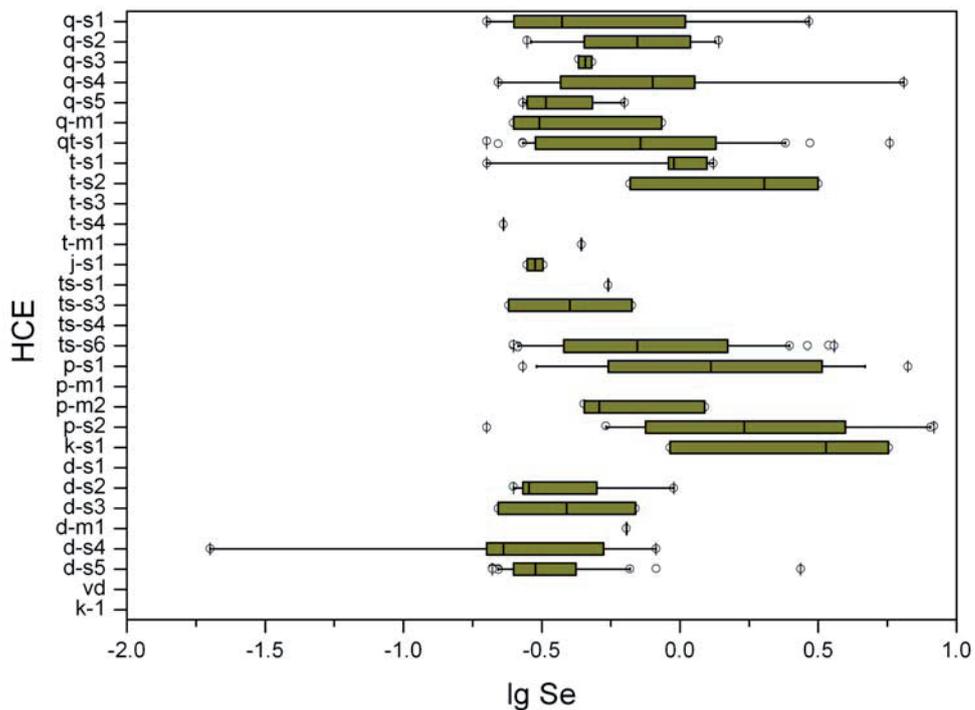


Abb. 3.39a, b: Box-Whisker-Diagramme für Selen (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [$\mu\text{g/l}$]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	8	0.20	2.93	0.85	0.20	0.21	0.28	0.38	0.91	2.17	2.55
q-s2	10	0.28	1.38	0.78	0.29	0.30	0.45	0.74	1.07	1.32	1.35
q-s3	2	0.43	0.48	0.46	0.43	0.44	0.44	0.46	0.47	0.48	0.48
q-s4	6	0.22	6.45	1.63	0.26	0.30	0.46	0.80	1.06	3.79	5.12
q-s5	4	0.27	0.63	0.39	0.27	0.28	0.29	0.33	0.44	0.55	0.59
q-m1	3	0.25	0.86	0.47	0.26	0.26	0.28	0.31	0.59	0.75	0.81
qt-s1	21	0.20	5.74	1.16	0.22	0.27	0.30	0.72	1.35	2.41	2.95
t-s1	5	0.20	1.32	0.93	0.34	0.48	0.91	0.95	1.25	1.29	1.31
t-s2	3	0.66	3.16	1.95	0.80	0.93	1.34	2.02	2.59	2.93	3.05
t-s3	0										
t-s4	1	0.23	0.23	0.23							
t-m1	1	0.44	0.44	0.44							
j-s1	2	0.28	0.32	0.30	0.28	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.32
ts-s1	1	0.55	0.55	0.55							
ts-s3	3	0.24	0.67	0.44	0.26	0.27	0.32	0.40	0.54	0.62	0.64
ts-s4	0										
ts-s6	38	0.25	3.61	1.06	0.26	0.27	0.38	0.70	1.48	2.15	2.97
p-s1	10	0.27	6.67	2.10	0.30	0.33	0.60	1.49	3.16	3.61	5.14
p-m1	0										
p-m2	3	0.45	1.23	0.73	0.46	0.46	0.48	0.51	0.87	1.09	1.16
p-s2	14	0.20	8.28	2.82	0.42	0.59	0.78	1.74	3.76	7.22	8.13
k-s1	3	0.92	5.68	3.32	1.17	1.41	2.15	3.37	4.53	5.22	5.45
d-s1	0										
d-s2	6	0.25	0.95	0.42	0.26	0.26	0.27	0.29	0.45	0.73	0.84
d-s3	2	0.22	0.69	0.46	0.24	0.27	0.34	0.46	0.57	0.64	0.67
d-m1	1	0.64	0.64	0.64							
d-s4	7	0.02	0.82	0.34	0.07	0.13	0.20	0.23	0.46	0.65	0.73
d-s5	25	0.21	2.73	0.45	0.21	0.22	0.25	0.30	0.42	0.64	0.79
vd-1	0										
k-1	0										

Anhang 3.40 Zinn (Sn)

Zinn ist ein in der kontinentalen Erdkruste seltenes Element. Es wird in Greisen-, hydrothermalen Gang- und seltener auch Skarnlagerstätten sowie aus sekundären Seifenlagerstätten gewonnen. Wichtigstes zinnhaltiges Mineral ist Kassiterit (Zinnoxid) ein stabiles Schwermineral. Zinn tritt oft zusammen mit Arsen, Wolfram, Bismut, Silber, Zink, Kupfer und Lithium vergesellschaftet auf.

Zinn wird u.a. als Legierungsbestandteil verwendet (Kupfer zu Bronze). Als Bestandteil von Metalllegierungen mit niedrigem Schmelzpunkt ist es sehr bedeutsam. Hochreine Zinn-Einkristalle werden bei der Herstellung elektronischer Bauteile verwendet. Zinnverbindungen werden dem Kunststoff PVC als Stabilisatoren beigemischt. Tributylzinn diente bis vor kurzem als sog. Antifouling-Zusatz in Anstrichstoffen für Schiffe. Aufgrund der sehr toxischen Eigenschaften werden organische Zinnverbindungen auch als Fungizide oder Desinfektionsmittel eingesetzt.

Zinnsalze haben mitunter gute Löslichkeiten in wässriger Lösung. Angaben zu Zinngehalten im Grundwasser liegen kaum vor.

Die Zinnkonzentrationen in den Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich von 0,03 bis 2,1 µg/l (Medianwerte) auf. Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003).

Der höchste Medianwert (2,1 µg/l) wurde für die Einheit p-m2 (Rotliegend, saure Magmatite) ermittelt. Für die übrigen Einheiten liegen die Gehalte unterhalb 0,5 µg/l.

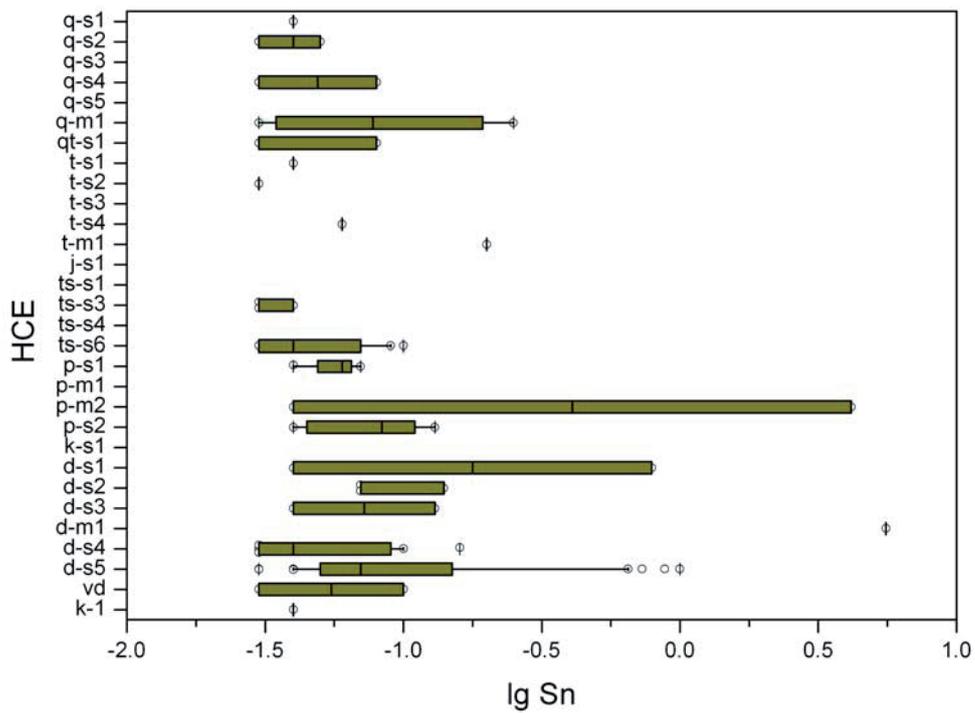


Abb. 3.40a, b: Box-Whisker-Diagramme für Zinn (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	2	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
q-s2	3	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
q-s3	0											
q-s4	2	0.03	0.08	0.06	0.03	0.04	0.04	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08
q-s5	0											
q-m1	4	0.03	0.25	0.12	0.03	0.03	0.04	0.10	0.18	0.22	0.24	0.24
qt-s1	3	0.03	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.06	0.07	0.08	0.08
t-s1	1	0.04	0.04	0.04								
t-s2	2	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
t-s3	0											
t-s4	1	0.06	0.06	0.06								
t-m1	1	0.20	0.20	0.20								
j-s1	0											
ts-s1	0											
ts-s3	3	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
ts-s4	0											
ts-s6	11	0.03	0.10	0.05	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.09	0.10	0.10
p-s1	4	0.04	0.07	0.06	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
p-m1	0											
p-m2	2	0.04	4.16	2.10	0.25	0.45	1.07	2.10	3.13	3.75	3.95	3.95
p-s2	8	0.04	0.13	0.08	0.04	0.04	0.05	0.09	0.11	0.12	0.12	0.12
k-s1	0											
d-s1	2	0.04	0.79	0.42	0.08	0.12	0.23	0.42	0.60	0.72	0.75	0.75
d-s2	3	0.07	0.14	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.11	0.13	0.13	0.13
d-s3	2	0.04	0.13	0.09	0.04	0.05	0.06	0.09	0.11	0.12	0.13	0.13
d-m1	1	5.56	5.56	5.56								
d-s4	11	0.03	0.16	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04	0.09	0.10	0.13	0.13
d-s5	35	0.03	1.00	0.18	0.04	0.04	0.06	0.07	0.14	0.55	0.78	0.78
vd-1	2	0.03	0.10	0.07	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10
k-1	1	0.04	0.04	0.04								

Anhang 3.41 Thorium (Th)

Thorium gehört zu den in der Erdkruste seltenen Elementen; seine Häufigkeit ist etwa doppelt so groß wie die des Urans. Aufgrund seines lithophilen Charakters ist es in vielen silikatischen Gesteinen enthalten. Thoriumverbindungen finden sich häufig in Monazitsanden (als Thoriumdioxid) und in den Mineralen Thorit und Thorianit. Auch Titanit und Zirkon selbst enthalten geringere Mengen Thorium.

Thorium ist radioaktiv (λ -Strahler und γ -Strahler). In der Natur kommt fast ausschließlich das Isotop ^{232}Th vor. Die Knochen eines Menschen enthalten etwa 0,002 bis 0,012 mg Thorium pro kg Knochenmasse. Täglich werden durch Nahrung und Wasser ca. 0,05 bis 3 μg aufgenommen.

Die weltweit jährlich für die Stromerzeugung verwendete Kohle enthält unter anderem ca. 25.000 t Thorium, die entweder direkt in die Umwelt gelangen oder sich in Kraftwerksasche und Filterstäuben anreichern.

Die sehr geringe Wasserlöslichkeit von Thoriumionen lässt sehr geringe Konzentrationen im Grundwasser erwarten.

Die Grundwässer der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz weisen Thoriumkonzentrationen im Bereich von 0,005 bis 0,025 $\mu\text{g/l}$ (Medianwerte) auf. Dies ist in sehr guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Der höchste Medianwert (0,025 $\mu\text{g/l}$) wurde für die Einheit k-s1 (Karbon; Sand- Siltsteine) ermittelt.

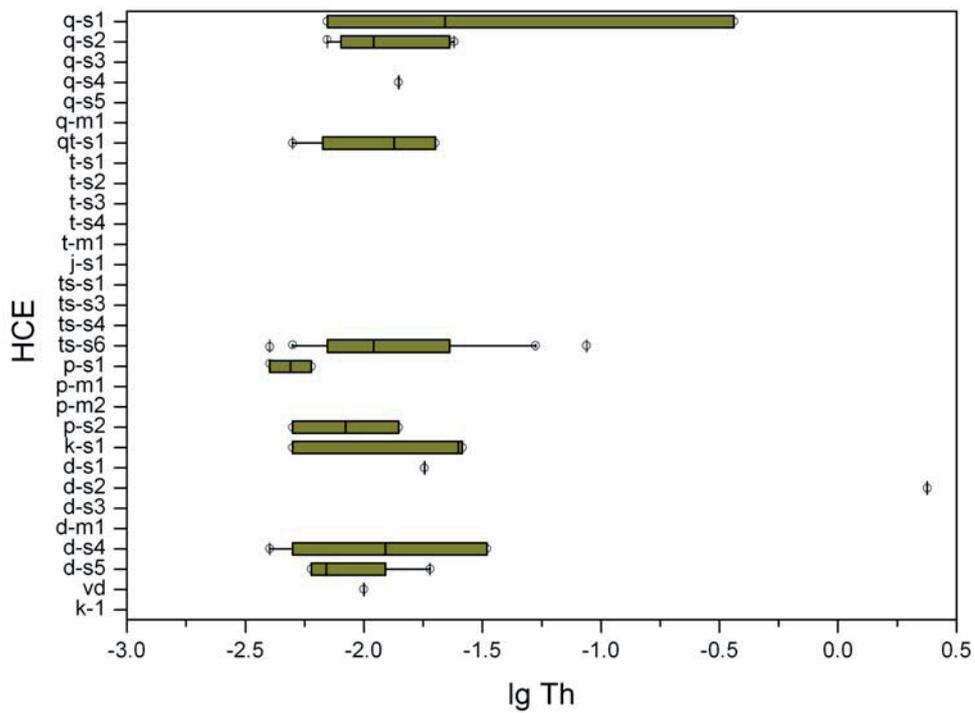


Abb. 3.41a, b: Box-Whisker-Diagramme für Thorium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [$\mu\text{g/l}$]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	3	0.007	0.36	0.13	0.009	0.010	0.015	0.022	0.193	0.296	0.330
q-s2	5	0.007	0.02	0.01	0.007	0.007	0.008	0.011	0.023	0.024	0.024
q-s3	0										
q-s4	1	0.014	0.01	0.01							
q-s5	0										
q-m1	0										
qt-s1	4	0.005	0.02	0.01	0.006	0.006	0.008	0.015	0.020	0.020	0.020
t-s1	0										
t-s2	0										
t-s3	0										
t-s4	0										
t-m1	0										
j-s1	0										
ts-s1	0										
ts-s3	0										
ts-s4	0										
ts-s6	15	0.004	0.09	0.02	0.005	0.005	0.007	0.011	0.023	0.046	0.063
p-s1	2	0.004	0.01	0.01	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006
p-m1	0										
p-m2	0										
p-s2	2	0.005	0.01	0.01	0.005	0.006	0.007	0.010	0.012	0.013	0.014
k-s1	3	0.005	0.03	0.02	0.007	0.009	0.015	0.025	0.026	0.026	0.026
d-s1	1	0.018	0.02	0.02							
d-s2	1	2.380	2.38	2.38							
d-s3	0										
d-m1	0										
d-s4	6	0.004	0.03	0.02	0.004	0.005	0.006	0.014	0.030	0.033	0.033
d-s5	4	0.006	0.02	0.01	0.006	0.006	0.006	0.007	0.011	0.016	0.017
vd-1	1	0.010	0.01	0.01							
k-1	0										

Anhang 3.42 Titan (Ti)

Titan steht mit einem Gehalt von 0,565 % an der 9. Stelle der Elementhäufigkeit in der kontinentalen Erdkruste. Es kommt in der Erdkruste nur als Titanoxid vor und ist meist in geringer Konzentration vorhanden. Titanhaltige Mineralien sind v.a. Ilmenit, Perowskit, Rutil und Titanit. Es kommt weiterhin als Begleiter in Eisenerzen vor.

Auch in Kohlenaschen, in Pflanzen und im menschlichen Körper ist Titan enthalten.

Titan wird in der Stahlproduktion zur Erhöhung der Zähigkeit, Festigkeit und Duktilität verwendet. In rostfreien Stählen verhindert Titan die interkristalline Korrosion. Es findet Verwendung in der Produktion technischer Bauteile, die in Kontakt mit Seewasser und chloridhaltigen Medien kommen, bei Outdoor- und Sportartikeln, bei Konstruktionsteilen, in der Medizin sowie in der Elektronik.

In Rheinland-Pfalz wurden in Grundwässern der oberen Grundwasserleiter Titangehalte im Bereich 1,67 bis 4,83 mg/l (Medianwerte) festgestellt. Der Konzentrationsbereich stimmt mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten überein (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

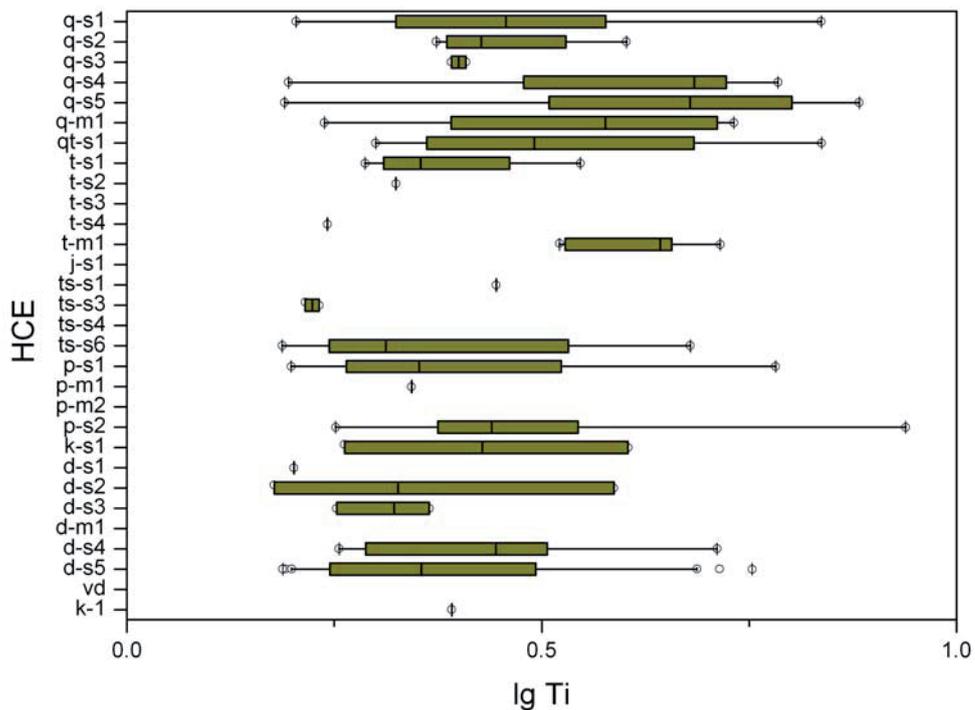


Abb. 3.42a, b: Box-Whisker-Diagramme für Titan (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [$\mu\text{g/l}$]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	8	1.6	6.9	3.3	1.71	1.82	2.22	2.86	3.43	5.41	6.14
q-s2	4	2.4	4.0	2.9	2.38	2.40	2.47	2.68	3.15	3.66	3.83
q-s3	2	2.5	2.6	2.5	2.47	2.47	2.49	2.51	2.54	2.55	2.56
q-s4	9	1.6	6.1	4.2	1.96	2.36	3.01	4.83	5.28	6.00	6.04
q-s5	7	1.5	7.6	4.7	2.05	2.56	3.81	4.77	5.75	6.85	7.24
q-m1	8	1.7	5.4	3.8	1.85	1.96	2.71	3.82	5.12	5.26	5.32
qt-s1	19	2.0	6.9	3.6	2.08	2.19	2.41	3.10	4.65	5.64	6.07
t-s1	4	1.9	3.5	2.5	1.97	2.00	2.09	2.26	2.66	3.18	3.35
t-s2	1	2.1	2.1	2.1							
t-s3	0										
t-s4	1	1.7	1.7	1.7							
t-m1	6	3.3	5.2	4.2	3.34	3.35	3.61	4.40	4.52	4.86	5.03
j-s1	0										
ts-s1	1	2.8	2.8	2.8							
ts-s3	2	1.6	1.7	1.7	1.64	1.65	1.66	1.67	1.69	1.70	1.70
ts-s4	0										
ts-s6	19	1.5	4.8	2.5	1.58	1.60	1.76	2.05	3.19	3.89	4.03
p-s1	8	1.6	6.1	2.9	1.64	1.70	1.88	2.25	2.95	5.14	5.60
p-m1	1	2.2	2.2	2.2							
p-m2	0										
p-s2	9	1.8	8.7	3.7	1.79	1.80	2.37	2.75	3.50	7.25	7.97
k-s1	3	1.8	4.0	2.8	1.91	2.00	2.26	2.68	3.35	3.75	3.88
d-s1	1	1.6	1.6	1.6							
d-s2	3	1.5	3.9	2.5	1.57	1.63	1.81	2.12	2.99	3.52	3.69
d-s3	3	1.8	2.3	2.1	1.82	1.85	1.94	2.10	2.21	2.27	2.29
d-m1	0										
d-s4	10	1.8	5.1	2.9	1.83	1.85	1.95	2.79	3.18	4.86	5.00
d-s5	42	1.5	5.7	2.6	1.58	1.67	1.77	2.26	3.05	4.44	4.85
vd-1	0										
k-1	1	2.5	2.5	2.5							

Anhang 3.43 Thallium (Tl)

Thallium gehört zu den in der Erdkruste seltenen Elementen. Nur sehr wenige Mineralien weisen erhebliche Thalliumgehalt auf (Crookesit und Lorandit). Die überwiegende Menge ist als Begleitelement in Glimmern, Kalisalzen, Bleiglanz, Zinkblende und Pyrit enthalten. In einigen Eigenschaften ähnelt Thallium in der Oxidationsstufe +I geochemisch dem Kalium.

Zur Deckung des technisch-industriellen Bedarfs ist die aus der Verhüttung von Kupfer, Blei, Zink und anderen sulfidischen Erzen anfallende Menge ausreichend.

Thallium tritt in aquatischen Systemen bevorzugt in einwertiger Form auf. In natürlichen Grundwässern liegen die Konzentrationen i.d.R. unterhalb 1 µg/l. Deutlich erhöhte Gehalte sind bekannt aus Thermalwässern, Grubenwässern sowie Formationswässern aus Ölfeldern.

Thallium und thalliumhaltige Verbindungen sind hochgiftig. Für Trinkwasser geht das Bundesamt für Risikoforschung von einem Toleranzwert von bis zu 5 µg/l aus.

Die Thalliumkonzentrationen in den Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich von 0,03 bis 0,55 µg/l (Medianwerte). Dies ist in guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003).

Relativ erhöhte Medianwerte wurden ermittelt für die Einheiten q-s2 (Sande und Kiese der Niederterrassen; 0,55 µg/l), q-s4 (Jüngere Rhein-Terrasse im ORG; 0,39 µg/l), t-s1 (Tertiär, Karbonate; 0,29 µg/l), q-s5 (Älter Rhein-Terrasse; 0,28 µg/l) und ts-s3 (Muschelkalk, Kalksteine, Dolomite; 0,26 µg/l).

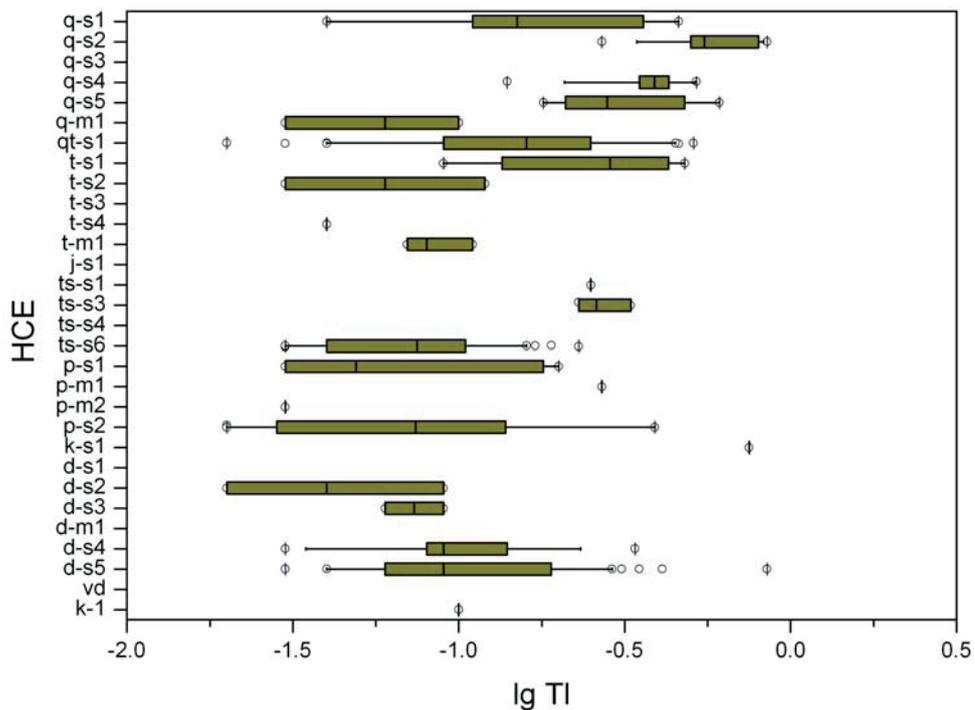


Abb. 3.43a, b: Box-Whisker-Diagramme für Thallium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	5	0.04	0.46	0.22	0.05	0.07	0.11	0.15	0.36	0.42	0.44
q-s2	10	0.27	0.85	0.60	0.35	0.42	0.51	0.55	0.78	0.81	0.83
q-s3	0										
q-s4	10	0.14	0.52	0.38	0.22	0.29	0.35	0.39	0.43	0.51	0.52
q-s5	9	0.18	0.61	0.37	0.19	0.20	0.21	0.28	0.48	0.59	0.60
q-m1	3	0.03	0.10	0.06	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10
qt-s1	29	0.02	0.51	0.19	0.03	0.04	0.09	0.16	0.25	0.43	0.46
t-s1	8	0.09	0.48	0.29	0.10	0.12	0.14	0.29	0.42	0.47	0.47
t-s2	2	0.03	0.12	0.08	0.03	0.04	0.05	0.08	0.10	0.11	0.12
t-s3	0										
t-s4	1	0.04	0.04	0.04							
t-m1	3	0.07	0.11	0.09	0.07	0.07	0.08	0.08	0.10	0.10	0.11
j-s1	0										
ts-s1	1	0.25	0.25	0.25							
ts-s3	3	0.23	0.33	0.27	0.23	0.24	0.25	0.26	0.30	0.32	0.32
ts-s4	0										
ts-s6	32	0.03	0.23	0.08	0.03	0.03	0.04	0.08	0.10	0.16	0.18
p-s1	6	0.03	0.20	0.09	0.03	0.03	0.03	0.05	0.15	0.19	0.20
p-m1	1	0.27	0.27	0.27							
p-m2	3	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
p-s2	8	0.02	0.39	0.11	0.02	0.02	0.04	0.08	0.13	0.23	0.31
k-s1	1	0.75	0.75	0.75							
d-s1	0										
d-s2	3	0.02	0.09	0.05	0.02	0.02	0.03	0.04	0.07	0.08	0.09
d-s3	2	0.06	0.09	0.08	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09
d-m1	0										
d-s4	10	0.03	0.34	0.12	0.03	0.04	0.08	0.09	0.13	0.18	0.26
d-s5	43	0.03	0.85	0.15	0.04	0.04	0.07	0.09	0.19	0.28	0.35
vd-1	0										
k-1	1	0.10	0.10	0.10							

Anhang 3.44 Uran (U)

Uran gehört zu den in der Erdkruste seltenen Elementen. Es tritt in den natürlichen Isotopen ^{234}U (0,005 %), ^{235}U (0,7 %) und ^{238}U (99,3 %) auf. Bedeutende uranhaltige Minerale sind Brannerit, Uraninit, Torbernit, Heinrichit und Carnotit sowie Coffinit und Uranophan. Uran wird in akzessorischen Minerale wie Zirkon oder Monazit eingebaut. Es bestehen Uranlagerstätten magmatischen, hydrothermalen und sedimentären Typs. Saure Magmatite wie Granit und Rhyolith weisen i.d.R. die stärksten Anreicherungen auf. Unter oxidierenden Bedingungen ist Uran in wässrigen Lösungen relativ mobil; unter reduzierenden Bedingungen (U^{4+}) hingegen schwer löslich.

Das Uranisotop ^{235}U war (nach Anreicherung) bislang zur Energiegewinnung in Kernkraftwerken wirtschaftlich bedeutsam. Abgereichertes Uran wird z. T. in Abschirmblechen in der Atomindustrie eingesetzt. Ebenso ist dessen Nutzung in Form von Uranmunition als Projektilkernmaterial bekannt. Es wird weiterhin auch als Panzerung verwendet. Uran ist als Spurenbestandteil in Stein- und Braunkohle enthalten. Entsprechende Urananreicherungen finden sich in den Kraftwerksaschen und Filterstäuben.

In den obersten ca. 33 cm der Böden kommt Uran als Spurenelement in mittleren Gehalten von etwa 1,5 t/km² vor. Die Urankonzentration im Meerwasser beträgt etwa 3 µg/l. In Flüssen innerhalb der BRD wurden Urankonzentrationen zwischen ca. 1 bis 3 µg/l gemessen. Uran findet sich in Deutschland im unbeeinflussten Grundwasser in Konzentrationen von etwa 1 bis 100 µg/l. Das Ausbringen uranhaltiger Phosphatdünger kann zu einer Beaufschlagung der Böden und/oder des Grundwassers mit Uran führen.

In den Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen die Gehalte des analytisch erfassten ^{238}U im Bereich 0,025 bis 4,85 µg/l (Medianwerte). Dies ist in guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Die höchsten Werte (90 %-Perzentil) sind im Rotliegend (p-s2) festzustellen. Aber auch in quartären und tertiären Einheiten (q-s5 und t-s2) des Oberrheingrabens finden sich erhöhte Werte.

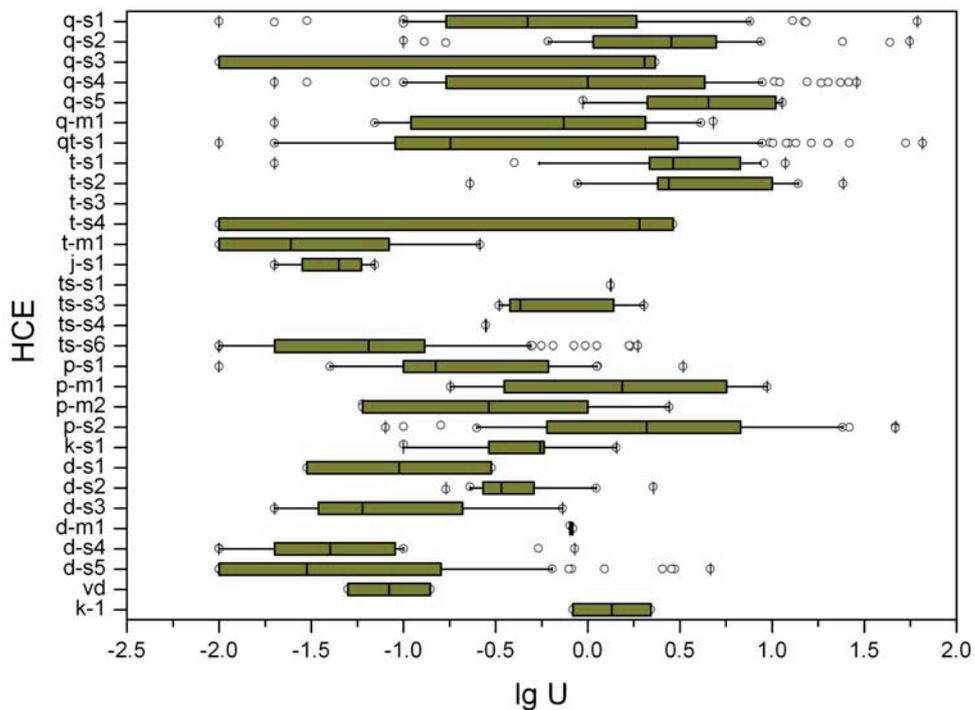


Abb. 3.44a, b: Box-Whisker-Diagramme für Uran (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	46	0.01	61.37	3.18	0.05	0.10	0.17	0.48	1.78	6.35	14.42
q-s2	33	0.10	55.89	6.40	0.15	0.64	1.07	2.84	4.98	8.43	31.92
q-s3	3	0.01	2.32	1.45	0.21	0.41	1.02	2.03	2.18	2.26	2.29
q-s4	82	0.02	28.75	3.51	0.07	0.10	0.17	1.00	4.26	8.81	18.27
q-s5	10	0.94	11.35	5.67	0.94	0.95	2.32	4.85	9.58	11.31	11.33
q-m1	15	0.02	4.79	1.20	0.06	0.09	0.16	0.74	1.54	3.35	4.31
qt-s1	112	0.01	65.44	3.44	0.01	0.02	0.09	0.18	2.98	8.78	14.77
t-s1	20	0.02	11.81	4.24	0.38	0.71	2.17	2.92	6.69	8.39	9.20
t-s2	11	0.23	24.29	6.79	0.56	0.88	2.52	2.75	9.00	13.86	19.08
t-s3	0										
t-s4	3	0.01	2.90	1.61	0.20	0.39	0.96	1.91	2.41	2.70	2.80
t-m1	8	0.01	0.26	0.06	0.01	0.01	0.01	0.03	0.08	0.15	0.20
j-s1	4	0.02	0.07	0.05	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07
ts-s1	1	1.33	1.33	1.33							
ts-s3	8	0.33	2.02	0.86	0.34	0.34	0.40	0.43	1.23	1.94	1.98
ts-s4	1	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
ts-s6	94	0.01	1.87	0.18	0.01	0.01	0.02	0.07	0.12	0.48	0.89
p-s1	22	0.01	3.29	0.44	0.01	0.04	0.10	0.15	0.52	1.10	1.13
p-m1	4	0.18	9.39	3.42	0.26	0.33	0.56	2.06	4.91	7.60	8.49
p-m2	5	0.06	2.76	0.83	0.06	0.06	0.06	0.29	1.00	2.06	2.41
p-s2	34	0.08	46.68	7.35	0.14	0.26	0.64	2.10	6.21	22.98	33.43
k-s1	5	0.10	1.43	0.59	0.14	0.18	0.29	0.55	0.58	1.09	1.26
d-s1	2	0.03	0.30	0.17	0.04	0.06	0.10	0.17	0.23	0.27	0.29
d-s2	11	0.17	2.27	0.58	0.20	0.23	0.28	0.34	0.49	1.11	1.69
d-s3	4	0.02	0.73	0.22	0.03	0.03	0.05	0.06	0.23	0.53	0.63
d-m1	2	0.80	0.83	0.82	0.80	0.80	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83
d-s4	29	0.01	0.85	0.09	0.01	0.01	0.02	0.04	0.09	0.10	0.36
d-s5	83	0.01	4.62	0.27	0.01	0.01	0.01	0.03	0.15	0.59	1.19
vd-1	2	0.05	0.14	0.10	0.05	0.06	0.07	0.10	0.12	0.13	0.14
k-1	2	0.83	2.20	1.52	0.90	0.97	1.17	1.52	1.86	2.06	2.13

Anhang 3.45 Vanadium (V)

Vanadium ist ein in der Erdkruste vergleichsweise häufiges Element. Es kommt in Magmatiten als Spurenbestandteil vor. Vanadiumführende Mineralien sind u.a. Magnetit, Pyroxen, Amphibol und Biotit. In Sulfid-Erzen ist es relativ angereichert.

Vanadium wird in einer Vielzahl von Metalllegierungen (Eisen, Titan, Nickel, Chrom, Aluminium oder Mangan) verwendet. Der größte Anteil wird in der Stahlindustrie verbraucht. Vanadiumhaltige Titanlegierungen werden im Flugzeugbau für tragende Teile und Turbinenblätter von Flugzeugtriebwerken eingesetzt.

Vanadium ist für verschiedene biologische Prozesse bedeutsam und für viele Lebewesen ein essenzielles Spurenelement. Erhöhte Vanadiumgehalte treten in Erdölen auf.

In aquatischen Systemen tritt Vanadium in drei-, vier- und fünfwertiger Form auf. In Grundwässern sind Vanadiumkonzentrationen bis etwa 10 µg/l bekannt. Höhere Konzentrationen wurden mitunter in Thermalwässern festgestellt.

Die Vanadiumkonzentrationen in den Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen im Bereich von 0,25 bis 4,46 µg/l (Medianwerte). Dies ist in guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003).

Relativ erhöhte Medianwerte wurden für die Einheiten q-m1 (Quartäre Vulkanite; 4,46 µg/l) und t-m1 (Tertiäre Vulkanite; 3,09 µg/l) gemessen.

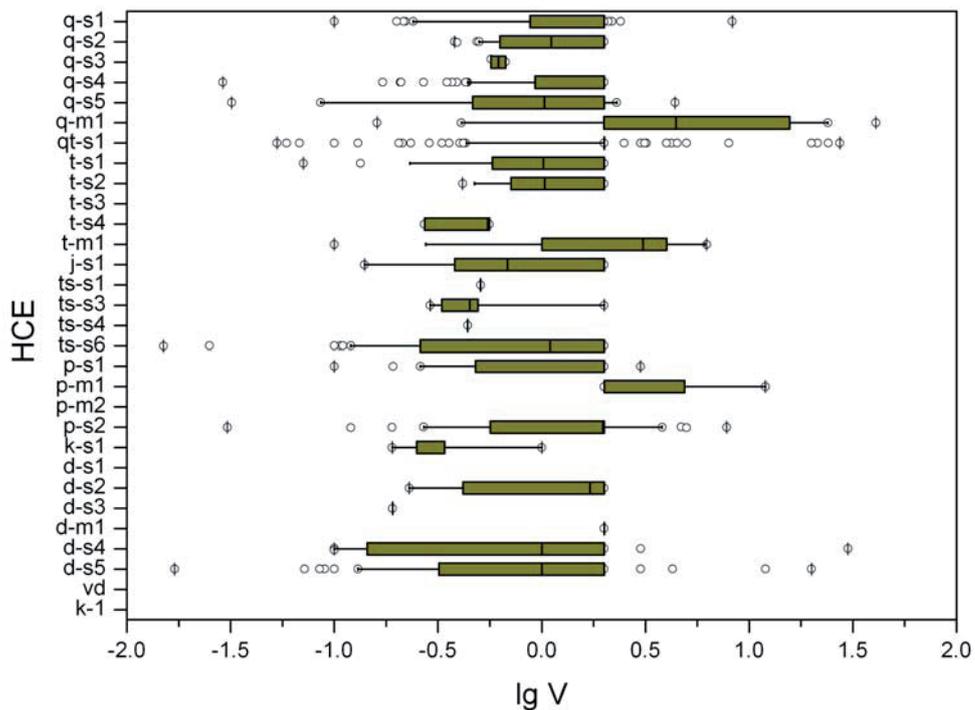


Abb. 3.45a, b: Box-Whisker-Diagramme für Vanadium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	59	0.10	8.30	1.68	0.21	0.26	0.89	2.00	2.00	2.00	2.21
q-s2	36	0.38	2.00	1.27	0.46	0.51	0.63	1.11	2.00	2.00	2.00
q-s3	2	0.57	0.67	0.62	0.58	0.58	0.60	0.62	0.65	0.66	0.67
q-s4	119	0.03	2.00	1.58	0.37	0.46	0.93	2.00	2.00	2.00	2.00
q-s5	19	0.03	4.40	1.35	0.08	0.13	0.49	1.03	2.00	2.06	2.51
q-m1	16	0.16	40.90	9.34	0.35	0.71	2.00	4.46	14.50	21.51	28.23
qt-s1	150	0.05	27.40	2.36	0.22	0.44	2.00	2.00	2.00	2.00	4.13
t-s1	20	0.07	2.00	1.23	0.13	0.37	0.61	1.02	2.00	2.00	2.00
t-s2	10	0.42	2.00	1.26	0.47	0.53	0.73	1.06	2.00	2.00	2.00
t-s3	0										
t-s4	3	0.27	0.56	0.46	0.30	0.33	0.41	0.55	0.56	0.56	0.56
t-m1	10	0.10	6.25	3.02	0.40	0.69	1.25	3.09	3.98	6.02	6.13
j-s1	6	0.14	2.00	1.00	0.20	0.26	0.40	0.73	1.75	2.00	2.00
ts-s1	1	0.51	0.51	0.51							
ts-s3	9	0.29	2.00	0.60	0.29	0.30	0.33	0.45	0.49	0.90	1.45
ts-s4	1	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
ts-s6	97	0.02	2.00	1.17	0.10	0.12	0.26	1.10	2.00	2.00	2.00
p-s1	23	0.10	3.00	1.47	0.20	0.27	0.74	2.00	2.00	2.00	2.00
p-m1	4	2.00	12.00	4.50	2.00	2.00	2.00	2.00	4.50	9.00	10.50
p-m2	0										
p-s2	32	0.03	7.80	1.85	0.16	0.27	0.61	1.97	2.00	3.73	4.84
k-s1	5	0.19	1.00	0.41	0.20	0.21	0.25	0.25	0.34	0.74	0.87
d-s1	0										
d-s2	6	0.23	2.00	1.35	0.28	0.32	0.68	1.73	2.00	2.00	2.00
d-s3	1	0.19	0.19	0.19							
d-m1	1	2.00	2.00	2.00							
d-s4	30	0.10	30.00	2.03	0.10	0.10	0.16	1.00	2.00	2.00	2.55
d-s5	77	0.02	20.00	1.37	0.10	0.15	0.32	1.00	2.00	2.00	2.20
vd-1	0										
k-1	0										

Anhang 3.46 Yttrium (Y)

Yttrium kommt in der Natur nicht im elementaren Zustand vor. Es ist u.a. in den Mineralen Monazit und Xenotim enthalten, die meist auch weitere Seltenerdmetalle führen. Auch Uranerze können Yttrium führen. Kommerziell abbauwürdig sind Monazitsande.

Es sind insgesamt 32 Isotope des Yttriums bekannt – davon 31 mit Halbwertszeiten von unter 1 s bis zu etwa 107 Tagen. Yttrium-Isotope gehören zu den häufigsten Produkten der Spaltung des Urans in Kernreaktoren und bei nuklearen Explosionen.

In den Grundwässern der oberen Grundwasserleiter in Rheinland-Pfalz liegen die Yttriumgehalte im Bereich von 0,016 bis 0,486 µg/l (Medianwerte). Dies ist in guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Relativ erhöhte Konzentrationen wurden in den Grundwässern der Einheiten q-s1 (Sande, Kiese und Schluffe der Talauen; 0,36 µg/l), ts-s6 (Buntsandstein, Sand-, Silt- und Tonsteine; 0,447 µg/l) und k-s1 (Karbon, Sand-, Siltsteine; 0,484 µg/l) festgestellt.

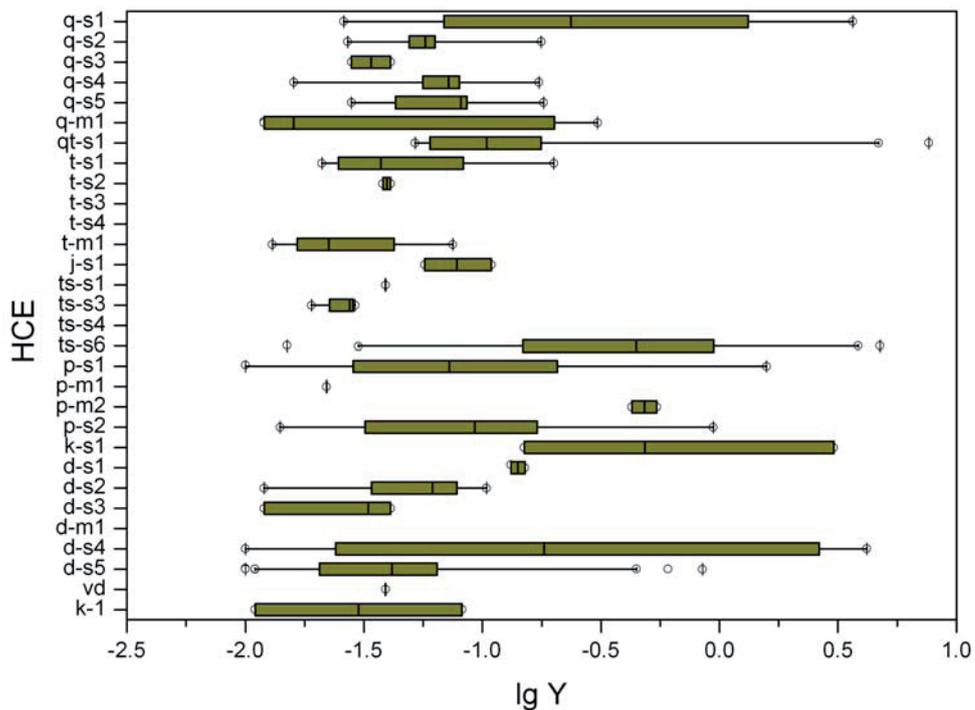


Abb. 3.46a, b: Box-Whisker-Diagramme für Yttrium (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in [µg/l]; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile							
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	
q-s1	8	0.026	3.651	0.970	0.036	0.046	0.078	0.360	1.150	2.871	3.261	
q-s2	10	0.027	0.177	0.066	0.036	0.044	0.050	0.058	0.063	0.082	0.129	
q-s3	2	0.028	0.041	0.035	0.029	0.029	0.031	0.035	0.038	0.040	0.040	
q-s4	13	0.016	0.173	0.078	0.035	0.048	0.056	0.072	0.080	0.128	0.151	
q-s5	9	0.028	0.181	0.078	0.032	0.035	0.043	0.081	0.086	0.132	0.157	
q-m1	7	0.012	0.306	0.086	0.012	0.012	0.013	0.016	0.122	0.243	0.275	
qt-s1	29	0.052	7.653	0.609	0.053	0.054	0.060	0.104	0.177	0.947	3.604	
t-s1	8	0.021	0.200	0.065	0.021	0.021	0.027	0.039	0.075	0.136	0.168	
t-s2	2	0.038	0.041	0.040	0.038	0.038	0.039	0.040	0.040	0.041	0.041	
t-s3	0											
t-s4	0											
t-m1	4	0.013	0.075	0.033	0.014	0.015	0.019	0.023	0.037	0.060	0.067	
j-s1	3	0.057	0.109	0.081	0.059	0.061	0.068	0.078	0.094	0.103	0.106	
ts-s1	1	0.039	0.039	0.039								
ts-s3	4	0.019	0.029	0.026	0.020	0.021	0.025	0.028	0.028	0.029	0.029	
ts-s4	0											
ts-s6	38	0.015	4.757	0.786	0.042	0.080	0.149	0.447	0.932	1.603	2.899	
p-s1	12	0.010	1.579	0.226	0.016	0.021	0.029	0.073	0.183	0.301	0.877	
p-m1	1	0.022	0.022	0.022								
p-m2	2	0.427	0.544	0.486	0.433	0.439	0.456	0.486	0.515	0.532	0.538	
p-s2	15	0.014	0.941	0.149	0.015	0.021	0.033	0.093	0.147	0.231	0.457	
k-s1	3	0.150	3.039	1.224	0.183	0.217	0.317	0.484	1.762	2.528	2.784	
d-s1	2	0.132	0.151	0.142	0.133	0.134	0.137	0.142	0.146	0.149	0.150	
d-s2	6	0.012	0.104	0.059	0.018	0.023	0.038	0.063	0.078	0.091	0.098	
d-s3	3	0.012	0.041	0.029	0.014	0.016	0.023	0.033	0.037	0.039	0.040	
d-m1	0											
d-s4	19	0.010	4.183	0.988	0.011	0.013	0.025	0.182	1.741	3.120	3.572	
d-s5	56	0.010	0.848	0.089	0.011	0.013	0.021	0.042	0.064	0.201	0.404	
vd-1	1	0.039	0.039	0.039								
k-1	2	0.011	0.082	0.047	0.015	0.018	0.029	0.047	0.064	0.075	0.078	

Anhang 3.47 Zink (Zn)

Zink ist ein in der Erdkruste relativ häufiges Element. Es kommt nur selten in elementarer Form vor. Überwiegend findet sich Zink in Erzen gebunden (u.a. Sphalerit / Wurtzit, Smithsonit, Zinkit). Mehr als 300 Zink-Minerale sind bekannt.

Die Verwendung von Zink ist sehr vielseitig (für den Korrosionsschutz von Eisen- und Stahlprodukten, die Produktion von Legierungen, die Herstellung von Batterien, im Bauwesen und bei der Münzprägung). Es tritt daher auch häufig in Abfallstoffen sowie Deponien des Bergbaus und der Aufbereitung auf.

Zink ist ein essentielles Spurenelement für den Stoffwechsel.

Die Zinkgehalte im natürlichen Grundwasser werden im Bereich unter 10 µg/l angesetzt. Sie werden wesentlich durch die Verfügbarkeit des Zinks im Untergrund bestimmt.

In Rheinland-Pfalz wurden in Grundwässern der oberen Grundwasserleiter Zinkgehalte im Bereich 5,0 bis 72,5 mg/l (Medianwerte) festgestellt. Der Konzentrationsbereich ist in guter Übereinstimmung mit den für oberflächennahe Grundwässer in Bayern und Baden-Württemberg ermittelten Gehalten (Wagner et al. 2003, Plum et al. 2009).

Die höchsten Zinkgehalte wurden in den Grundwässern der Einheiten k-s1 (Karbon, Sand-, Siltsteine; 52,0 µg/l) und k-1 (Kristallin, Granite, Gneise; 72,5 µg/l) festgestellt.

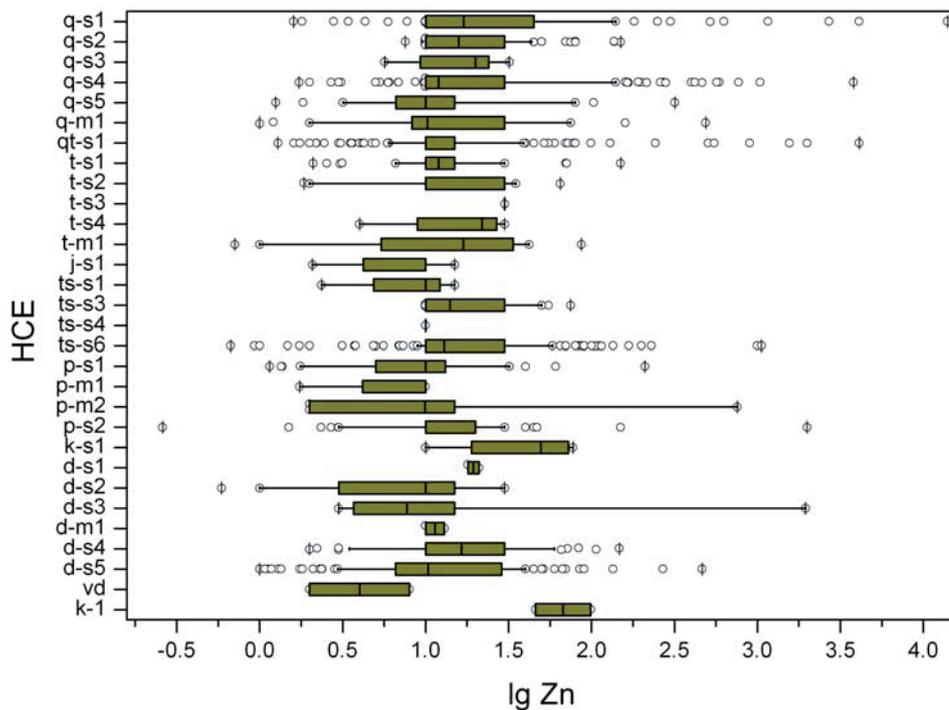


Abb. 3.47a, b: Box-Whisker-Diagramme für Zink (a, oben) und Perzentilwerte (b, unten); Konzentrationsangaben in $[\mu\text{g/l}]$; für hydrochemische Einheiten s. Tabelle 1.

HCE	Auswertungsstatistik				Perzentile						
	Anzahl	Min.	Max.	arith. Mittel	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
q-s1	98	1.6	14000.0	269.0	5.70	10.00	10.00	17.00	44.75	133.00	536.50
q-s2	90	7.5	150.0	26.5	10.00	10.00	10.00	15.84	30.00	42.30	77.75
q-s3	5	5.7	32.0	18.2	6.40	7.12	9.30	20.00	24.00	28.80	30.40
q-s4	203	1.7	3800.0	71.8	7.06	10.00	10.00	12.00	30.00	138.00	264.50
q-s5	26	1.3	318.0	29.6	2.17	3.36	7.19	10.00	13.75	62.50	97.25
q-m1	21	1.0	487.9	46.6	1.21	2.00	8.28	10.26	30.00	75.00	160.00
qt-s1	215	1.3	4115.0	61.0	3.62	6.41	10.00	10.00	15.00	36.60	73.80
t-s1	48	2.1	150.0	17.7	3.09	8.43	10.00	12.00	15.00	23.00	56.00
t-s2	19	1.9	65.0	17.0	1.99	4.40	10.00	10.00	22.50	34.20	38.00
t-s3	1	30.0	30.0	30.0							
t-s4	4	4.0	30.0	19.5	6.40	8.80	16.00	22.00	25.50	28.20	29.10
t-m1	16	0.7	87.0	22.9	0.93	1.95	8.23	17.00	32.00	41.00	53.25
j-s1	8	2.1	15.0	8.3	2.23	2.39	5.88	10.00	10.00	11.50	13.25
ts-s1	4	2.4	15.0	9.3	3.51	4.65	8.09	10.00	11.25	13.50	14.25
ts-s3	28	10.0	75.0	21.7	10.00	10.00	10.00	14.09	30.00	43.00	53.25
ts-s4	2	10.0	10.0	10.0	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
ts-s6	203	0.7	1060.0	35.4	4.87	8.95	10.00	13.00	30.00	57.57	90.00
p-s1	31	1.2	210.0	19.2	1.36	1.76	5.59	10.00	12.59	32.00	50.50
p-m1	4	1.7	10.0	7.9	2.98	4.22	7.94	10.00	10.00	10.00	10.00
p-m2	6	2.0	756.0	132.7	2.00	2.00	3.25	10.50	14.75	385.50	570.75
p-s2	55	0.3	1992.0	52.4	2.59	3.00	10.00	10.00	17.50	30.00	45.60
k-s1	4	10.0	77.4	47.8	13.90	17.80	29.50	52.00	70.34	74.56	75.96
d-s1	2	18.0	21.0	19.5	18.15	18.30	18.75	19.50	20.25	20.70	20.85
d-s2	15	0.6	30.0	11.5	0.88	1.40	3.50	10.00	14.94	29.20	30.00
d-s3	6	3.0	1953.0	331.8	3.17	3.35	4.27	8.00	13.75	984.00	1468.50
d-m1	2	10.0	13.0	11.5	10.15	10.30	10.75	11.50	12.25	12.70	12.85
d-s4	50	2.0	147.0	25.8	3.00	3.90	10.00	16.50	30.00	55.20	78.33
d-s5	156	1.0	464.0	22.6	2.03	2.97	6.66	10.37	28.63	40.00	53.46
vd-1	2	2.0	8.0	5.0	2.30	2.60	3.50	5.00	6.50	7.40	7.70
k-1	2	46.0	99.0	72.5	48.65	51.30	59.25	72.50	85.75	93.70	96.35