



HYDROCHEMIE UND HYDROGEOLOGIE DER ÖSTERREICHISCHEN GRUNDWÄSSER UND DEREN NATÜRLICHE METALL- UND NÄHRSTOFFGEHALTE (UPDATE GEOHINT 2018)

IMPRESSUM

Medieninhaber und Herausgeber:
BUNDESMINISTERIUM
FÜR NACHHALTIGKEIT UND TOURISMUS
Stubenring 1, 1010 Wien
www.bmnt.gv.at

Projektgesamtkoordination: Rudolf Philippitsch (BMNT) und Franko Humer (Umweltbundesamt)

Text und Redaktion: AutorInnen siehe Kapitel 17

Gestaltung: Elisabeth Stadler (Umweltbundesamt)

Bildnachweis/Copyright: Umweltbundesamt/Bernhard Gröger: Projektteam (S. 4); BMNT/Rudolf Philippitsch: Karstquelle Gailtaler Alpen, Jadersdorf-Kärnten (Titelseite), Hallstätter See (S. 7), Rheinmündung (S. 14), Dohlenkrebse (S. 16), Bodensee Nassfeld (S. 21 u. S. 148), Maltawasserfall (S. 24), Karstquelle Winden (S. 28), Spielbodenalm (S. 58), Bodenaufbau bei Obersiebenbrunn (S. 70), Oselitzenbach bei Tröpolach (S. 85), Steyr (S. 96), Nitratenfernanlage Obersiebenbrunn (S. 113), Kiesgrube bei Obersiebenbrunn (S. 118), Arsenkieskristalle in einem Feldspat-Quarzganggestein (S. 125), Sinterspuren in der Dachstein-Mammut-Höhle (S. 129), Sonnenaufgang am Lauterbach (S. 145), Ziehbrunnen im Seewinkel (S. 151), Erzberg (S. 155); Elsa Philippitsch: Garnitzenklamm bei Hermagor (S. 81 u. S. 89); Umweltbundesamt/Elisabeth Stadler: Bodengraben (S. 10), Eis (S. 67), Karst Totes Gebirge (S. 77), Fischeaufstiegshilfe in Steyr (S. 100), Wasseraustritt in der Lamprechtsofenhöhle (S. 104), Krumme Steyr (S. 158)

Gestaltungskonzept: WIEN NORD Werbeagentur

Zitiervorschlag: Briemann, H., Legerer, P., Schubert, G., Wemhöner, U., Philippitsch, R., Humer, F., Zieritz, I., Rosmann, T., Schartner, C., Scheidleder, A., Grath, J., Stadler, E. (2018): Hydrochemie und Hydrogeologie der österreichischen Grundwässer und deren natürliche Metall- und Nährstoffgehalte (Update Geohint 2018). Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien.

Alle Rechte vorbehalten.
Wien, 2018

VORWORT

(R. PHILIPPITSCH)

EINE MASSGEBLICHE VORAUSSETZUNG für einen verantwortungsbewussten, ressourcenschonenden und generationenorientierten Umgang unserer lebensnotwendigen, begrenzten Grundwasserressourcen für die Wasserwirtschaft im Allgemeinen und insbesondere für eine gesicherte Trinkwasserversorgung im Speziellen, ist die ständige Wissenserweiterung über das natürliche Auftreten und das Verhalten des Wassers in den unterschiedlichsten Naturräumen. Ein Schwerpunkt ist dabei vor allem auf die Bestimmung der hydrogeologisch natürlichen bzw. geogenen auftretenden Inhaltsstoffe gerichtet. Insbesondere kommt dabei dem rechtzeitigen Erkennen bzw. der Unterscheidung von unerwünschten, menschenbedingten bzw. anthropogenen Stoffeinträgen im Wasser eine ganz besondere Bedeutung zu.

In der Zwischenzeit mangelt es in der Wasserwirtschaft, wie auch in vielen anderen Wirtschaftsbereichen, keineswegs mehr an rechtlichen Vorgaben auf EU-Ebene, wie z. B. die Wasserrahmenrichtlinie bzw. die Grundwasserrichtlinie, und auch auf nationaler Ebene, wie z. B. das Wasserrechtsgesetz mit dessen speziellen Verordnungen. Vielmehr gilt es vermehrt Interessenskonflikte zwischen Ökologie und Ökonomie zu bewältigen, um auch künftig die lebensnotwendigen Ressourcen ganz generell in natürlicher Qualität und ausreichend für eine geordnete und friedliche Wohlstandsentwicklung zur Verfügung zu haben. Wenngleich Österreich eines der wasserreichsten Länder der Erde ist und insgesamt auch ausreichend sehr hochqualitatives Grundwasser besitzt, so ist es gerade für den Anspruch einer nachhaltigen Bewirtschaftung eine besondere Verpflichtung, die geeigneten Rahmenbedingungen zur Erhaltung bzw. bereichsweisen Verbesserung dazu sicher zu stellen.

Bereits lange vor Inkrafttreten der EU-Wasserrahmenrichtlinie hat Österreich ab 1991 mit einem umfassenden Überwachungsprogramm zur Qualität der heimischen Gewässer begonnen und dazu auch die notwendigen grundlegenden fachlichen und rechtlichen Kriterien geschaffen. Insbesondere das Umweltbundesamt war und ist seit diesem Zeitpunkt maßgeblich an der Entwicklung sowie Weiterentwicklung von wasserwirtschaftlichen Fachgrundlagen für die Sektion Wasserwirtschaft im Bundesministerium tätig.

Dazu zählt auch die Beauftragung der Aktualisierung von Hintergrundwerten von Grundwässern aus dem Jahre 2003, zur bestmöglichen Unterscheidung von geogenen und anthropogenen Stoffflüssen in den bundesweit ausgewiesenen Grundwasserkörpern. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für die Festlegung von rechtsverbindlichen Grenzwerten für Wasserparameter, welche sowohl natürlich oder aber auch menschenbedingt zum Einsatz kommen können und in Folge genauso wichtig für die wasserwirtschaftliche Maßnahmenplanung zum Schutz der Gewässer sind.

Jedoch hat sich seit 2003 der Kenntnisstand sowohl über die methodische Bewertung und neu definierten rechtlichen Vorgaben als auch durch zusätzlich gewonnenen Daten aus den Beobachtungsprogrammen und Projekten derart verändert, dass sich eine Neubewertung der bestehenden Hintergrundwerte als notwendig erwiesen hat.

Die Fachexpertinnen und Fachexperten des Umweltbundesamtes und der Geologischen Bundesanstalt haben in äußerst anschaulicher, informativer und vor allem auch fachlich nachvollziehbarer Art und Weise bestehende, wichtige Grundlagen der qualitativen Wasserwirtschaft neu aufbereitet und interpretiert. Für diesen gelungenen und sehr erfolgreichen Abschluss der Arbeiten gebührt den zusammenarbeitenden Teams des Umweltbundesamtes und der Geologischen Bundesanstalt große Wertschätzung, zumal die Verwendung der Ergebnisse mit deren Neuerkenntnissen nunmehr vom Bundesministerium für Nachhaltigkeit und

Tourismus sowohl der interessierten Bevölkerung, den Schulen und Universitäten als auch der Wasserwirtschaft insgesamt frei zur Verfügung gestellt werden können.



Abbildung 1: Projektteam (v.l.n.r.): Christina Schartner, Heike Brielmann, Johannes Grath, Rudolf Philippitsch, Thomas Rosmann, Franko Humer, Gerhard Schubert, Philipp Legerer

INHALTSVERZEICHNIS

IMPRESSUM.....	2
VORWORT.....	3
1 ZUSAMMENFASSUNG	8
2 EINLEITUNG.....	12
3 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN UND ZIELSETZUNG.....	13
4 GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT.....	15
4.1 NATÜRLICHE EINFLUSSFAKTOREN.....	15
4.2 ANTHROPOGENE EINFLUSSFAKTOREN.....	15
5 GEOLOGIE, PETROLOGIE UND MINERALOGIE DER GEOLOGISCHEN KLASSEN UND IHRE WASSERWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG IM ÜBERBLICK	17
5.1 KRISTALLIN DER BÖHMISCHEN MASSE (GEOKLASSEN A01-A04) – MOLDANUVIKUM (VORWIEGEND CA. 340 BIS 300 MIO. JAHRE), MORAVIKUM (VORWIEGEND CA. 600 MIO. JAHRE)	17
5.2 TERTIÄRE SEDIMENTE (GEOKLASSEN B00-B20) – MOLASSEZONE UND INNERALPINE BECKEN (CA. 66-2,6 MIO. JAHRE).....	18
5.3 QUARTÄRE SEDIMENTE (GEOKLASSEN C01-C25) – INNERALPINE TAL- UND BECKENLANDSCHAFTEN (< 2,6 MIO. JAHRE).....	18
5.4 SEDIMENTE DES MESOZOIKUMS UND PERMS (GEOKLASSEN D01-D20) – NÖRDLICHE KALKALPEN, ZENTRALALPINES MESOZOIKUM, DRAUZUG, SÜDALPEN (CA. 300-66 MIO. JAHRE)	19
5.5 GESTEINE DER FLYSCHZONE (GEOKLASSE E01) – VORARLBERG BIS KORNEUBURG/NIEDERÖSTERREICH (CA. 200-40 MIO. JAHRE)	20
5.6 GERING BIS NICHT METAMORPHE, ALTPALÄOZOISCHE GESTEINE (GEOKLASSE G01 BIS G04) –GRAUWACKENZONE, GRAZER PALÄOZOIKUM, GRUKTALER ALPEN, KARNISCHE ALPEN UND SÜDKARAWANKEN (CA. 475- 300 MIO. JAHRE) -	20
5.7 OSTALPINES KRISTALLIN (GEOKLASSEN H1 BIS H4 UND I1) – (KRISTALLIN OHNE POSTVARISZISCHE SEDIMENTE, > 300 MIO. JAHRE).....	20
5.8 HELVETIKUM I. A. UND KLIPPEN DER WASCHBERGZONE (GEOKLASSE J01) – VORARLBERG BIS WIEN BZW. STOCKERAU BIS MIKULOV/TSCHECHIEN (CA. 200-40 MIO. JAHRE).....	21
5.9 PENNINIKUM DER ZENTRALZONE (GEOKLASSEN K01 UND K03) – (IN DIVERSEN GEOLOGISCH-TEKTONISCHEN FENSTERN DER SCHWEIZ UND ÖSTERREICH, VORWIEGEND CA. 200-66 MIO. JAHRE).....	22
5.10 SUBPENNINIKUM (EXKLUSIVE POSTVARISZISCHER BEDECKUNG) (GEOKLASSEN L02 UND L05) (ZENTRALE TEILE DES TAUERNFENSTERS WIE Z. B. GROSSVENEDIGER ODER SONNBLICK; > 300 MIO. JAHRE).....	23
5.11 TERTIÄRE MAGMATITE (GEOKLASSEN M01 UND M04) (Z. B. RIESERFERNER PLUTON /OSTTIROL, 23-34 MIO. JAHRE) UND VULKANITE IM STEIRISCHEN BECKEN (CA. 3-12 MIO. JAHRE)	23
6 BEGRIFF HINTERGRUNDWERT	25
6.1 FACHLICHE ANSÄTZE ZUR ERMITTLUNG DES HINTERGRUNDS	26
6.1.1 UNTERSUCHUNG VON TIEFENGUNDWASSER.....	26
6.1.2 UNTERSUCHUNG VON GRUNDWASSER IN NATURSCHUTZGEBIETEN.....	26
6.1.3 HYDROCHEMISCHE MODELLIERUNG VON LÖSUNGSVORGÄNGEN IN GRUNDWASSERLEITERN...	27
6.1.4 PRÄSELEKTION – VORAUSWAHL WEITESTGEHEND UNBEEINFLUSSTER GRUNDWASSERMESSSTELLEN.....	27

6.1.5	KOMPONENTENTRENNUNG	28
7	ERHEBUNG VON BEEINFLUSSUNGEN.....	29
7.1	VORGEHENSWEISE	29
7.2	KARTE DER GERINGBELASTETEN GEBIETE.....	31
8	ABGRENZUNG DER GEOLOGISCHEN KLASSEN	33
8.1	VORGEHENSWEISE	34
9	ERMITTLUNG DER HINTERGRUNDWERTE	41
9.1	AUSWAHL DER GRUNDWASSERPARAMETER.....	41
9.2	DATENGRUNDLAGEN.....	42
9.2.1	DATEN DER GEWÄSSERZUSTANDSÜBERWACHUNG (GZÜV).....	42
9.2.2	ZUSÄTZLICH ERHOBENE DATEN	43
9.3	DATENAUFBEREITUNG UND DATENPRÜFUNG	45
9.3.1	HOMOGENISIERUNG	45
9.3.2	PRÜFUNG AUF MINDESTDATENUMFANG.....	45
9.3.3	PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG	45
9.3.4	PRÜFUNG AUF DIMENSIONS- ODER KOMMAFEHLER	45
9.3.5	PRÜFUNG AUF IONENBILANZFEHLER	46
9.3.6	PRÜFUNG AUF TREND	47
9.4	ABLEITUNG DER HINTERGRUNDWERTE.....	49
9.4.1	STATISTISCHE GRUNDLAGEN.....	49
9.4.2	VORGANGSWEISE.....	50
9.4.3	UMGANG MIT ZEITREIHEN	52
9.4.4	UMGANG MIT WERTEN UNTERHALB DER NACHWEIS- UND BESTIMMUNGSGRENZE	53
9.4.5	BEURTEILUNG DER LOKAL ERHÖHTEN WERTE (= HYDROCHEMISCHEN ANOMALIEN)	54
9.4.6	FESTLEGUNG DER HINTERGRUNDKONZENTRATIONEN	54
9.4.7	ANWENDUNG DER HINTERGRUNDKONZENTRATIONEN.....	55
10	BEGLEITENDE AUSWERTUNGEN	57
10.1	EINFLUSS DER DATENDICHTE AUF DIE HINTERGRUNDWERTE	57
10.2	EINFLUSS DER ABGRENZUNG DER GEOLOGISCHEN KLASSEN AUF DIE HINTERGRUNDWERTE	60
10.3	TRENDBEURTEILUNG.....	63
11	HINTERGRUNDWERTE – ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER EINZELPARAMETER.....	65
11.1	ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT	66
11.2	PH-WERT	69
11.3	SAUERSTOFFGEHALT	72
11.4	CALCIUM	75
11.5	CHLORID	79
11.6	HYDROGENKARBONAT	83
11.7	KALIUM.....	87
11.8	MAGNESIUM	91
11.9	NATRIUM	94
11.10	SULFAT	98
11.11	EISEN	102
11.12	MANGAN.....	106
11.13	NITRIT, AMMONIUM UND NITRAT	109
11.14	PHOSPHAT	116
11.15	ALUMINIUM	120
11.16	ARSEN.....	123
11.17	BLEI.....	127
11.18	CHROM	131
11.19	BOR.....	134

11.20 CADMIUM	137
11.21 NICKEL	140
11.22 KUPFER	143
11.23 QUECKSILBER	147
11.24 URAN	149
11.25 ZINK	153
11.26 DATENBLÄTTER	157
12 LITERATUR	159
13 ERGÄNZENDE PUBLIKATIONEN.....	169
14 GLOSSAR	173
15 TABELLENVERZEICHNIS.....	174
16 ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	176
17 KONTAKTINFORMATIONEN ZU DEN AUTORINNEN UND WEITEREN MITARBEITERINNEN	181



Abbildung 2: Hallstätter See, Oberösterreich

1 ZUSAMMENFASSUNG

DER SCHUTZ DER RESSOURCE GRUNDWASSER vor Verschlechterung und chemischer Verschmutzung und die Bewahrung des Grundwassers in weitestgehend natürlichem Zustand ist eines der Hauptanliegen des Grundwasserschutzes. Bei der Beurteilung der Grundwasserqualität und im Hinblick auf die Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Grundwasserqualität sind allerdings die natürlichen hydrogeologischen Gegebenheiten mit ihrem Einfluss auf die Grundwasserzusammensetzung zu berücksichtigen. Natürliche oder geogen erhöhte Konzentrationen können beispielsweise die Eignung des Wassers für **Trinkwasser**zwecke beeinträchtigen, führen aber nicht zwangsläufig zu einer Verfehlung des guten chemischen Zustandes für **Grundwasser** im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie und der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser. Grundlage derartiger Beurteilungen ist die Ermittlung von Hintergrundwerten der Grundwasserbeschaffenheitsparameter.

Im Jahr 2004 wurden erstmals regionalisierte, hydrochemische Hintergrundgehalte für die oberflächennahen Grundwasserkörper Österreichs abgeschätzt (HOBIGER et al., 2004). Im gegenständlichen Projekt wurden – basierend auf den nun vorliegenden Langzeitreihen der Grundwasserüberwachung, der Berücksichtigung der geologischen regionalen Besonderheiten, einer geeigneten, reproduzierbaren und international vergleichbaren Methode und den gegenwärtigen gesetzlichen Vorgaben – aktualisierte Hintergrundwerte für die Grundwasserkörper Österreichs erarbeitet.

Die untersuchten Parameter umfassten die elektrische Leitfähigkeit, den pH-Wert und Sauerstoffgehalt, die Hauptinhaltsstoffe Calcium, Chlorid, Hydrogenkarbonat, Kalium, Magnesium, Natrium und Sulfat, die Nebeninhaltsstoffe Eisen und Mangan, Nährstoffe wie Nitrat, Nitrit, Ammonium und Phosphat, den Spurenstoff Bor sowie die Metalle Aluminium, Arsen, Blei, Chrom, Cadmium, Nickel, Kupfer, Uran und Zink.

Basierend auf den Erkenntnissen des Vorgängerprojektes erfolgte die Ermittlung der Hintergrundkonzentrationen im gegenständlichen Projekt auf der Grundlage geologischer Einheiten, den sogenannten geologischen Klassen. Da die Geologie neben anderen Faktoren entscheidenden Einfluss auf die Grundwasserzusammensetzung hat, lassen sich auf diese Weise Grundwassermessstellen mit ähnlichen hydrochemischen Gegebenheiten besser zusammenfassen und zur Ermittlung der flächenhaften Hintergrundwerte statistisch auswerten. Anhand dieser Herangehensweise sollte gewährleistet werden, dass die Bewirtschaftungseinheiten „Grundwasserkörper“ und „Gruppe von Grundwasserkörpern“ nicht nur einen einzigen Hintergrundwert über ihre gesamte Fläche erhalten, sondern regionale geologische Besonderheiten berücksichtigt werden.

Nachdem in einem ersten Schritt etwa 2.600.000 Einzeldaten der Gewässerzustandsüberwachung, 19.000 Einzeldaten der Grundwasserbeobachtungen der Länder Steiermark und Vorarlberg sowie 3.000 Einzeldaten von Trinkwasserversorgern – den Zeitraum 1997-2017 abdeckend – erhoben, aufbereitet und geprüft wurden, standen zur Ermittlung der Hintergrundkonzentrationen Daten von bis zu 2.571 Grundwassermessstellen zur Verfügung. Die Datendichte war dabei für die Spurenstoffe insgesamt etwas geringer als für die Hauptelemente.

In einem zweiten Schritt erfolgte die österreichweit flächendeckende Abgrenzung von 52 geologischen Klassen mit geochemisch möglichst einheitlichen Eigenschaften. Die in den Auswertungen berücksichtigten Grundwassermessstellen wurden anschließend den entsprechenden geologischen Klassen zugeordnet. Es erfolgte auch eine Verschneidung von geologischen Klassen mit (Gruppen von) Grundwasserkörpern.

Die Ermittlung statistisch abgesicherter Hintergrundwerte erfolgte in einem dritten Schritt auf der Basis der Prüfung von Messwertverteilungen in Wahrscheinlichkeitsnetzen. Begleitend wurden Histogramm-, Boxplot- und Kartendarstellungen herangezogen. Diese erlauben die Prüfung auf statistische Abweichungen eines Grundwasserparameters in einer geologischen Klasse. Solche Abweichungen werden durch hydrochemische Anomalien wie beispielsweise geologische Vererzungen oder signifikante anthropogene Beeinflussungen hervorgerufen. Von der Grundverteilung abweichende Messwerte werden als lokal erhöhte Werte von der Ableitung der Hintergrundkonzentrationen ausgeschlossen. Ausgehend von den als weitestgehend unbeeinflusst identifizierten Datenpopulationen der Messwerte wurden das 10%-Perzentil als untere Schranke und das 90%-Perzentil als obere Schranke der Hintergrundkonzentrationen festgelegt. Damit umfasst der Hintergrundbereich 80% aller Medianwerte in einer geologischen Klasse und ist Ausgangspunkt für die Bewertung möglicher Qualitätszielüberschreitungen. Insofern stellen die Hintergrundwerte Frühwarnwerte dar.

Die Überschreitung – oder in Bezug auf den Sauerstoffgehalt und den pH-Wert die Unterschreitung – der Hintergrundwerte deutet daraufhin, dass die Ursachen für mögliche zukünftig auftretende flächenhafte Schwellenwertüberschreitungen an den untersuchten Grundwassermessstellen nicht geogener Natur sein können, sondern durch anthropogene Beeinflussungen oder grundsätzliche Änderungen der Bedingungen im Bereich der betrachteten Grundwässer hervorgerufen wurden. Dazu zählen beispielsweise Änderungen in der Landnutzung oder der Bewirtschaftung der Wasserressourcen.

Die ermittelten Hintergrundkonzentrationen werden je Parameter in Karten und mittels Kurzbeschreibungen dargestellt. Zudem ist für jede geologische Klasse ein Datenblatt mit einer geologischen und hydrochemischen Beschreibung sowie Informationen zu hydrochemischen Besonderheiten verfügbar. Die Karten enthalten neben der flächenhaften Darstellung der Hintergrundkonzentrationen auch Informationen zu lokal erhöhten Werten. Diese wurden – soweit möglich – um eindeutig anthropogen beeinflusste Werte bereinigt. Dazu wurden insbesondere auf die Trendbeurteilung der Einzelmessstellen zurückgegriffen. Wenn ein steigender oder fallender Trend vorliegt, wird eine anthropogene Ursache für die Veränderung angenommen.

Im Rahmen des Projektes wurden zudem mögliche Beeinflussungen der Messstellen sowie auftretende Verschmutzungsindikatoren (z.B. Pestizide, CKW) messstellenweise erhoben. Eine systematische Bereinigung der lokal erhöhten Werte basierend auf diesen Erhebungen im Sinne von Befundaufklärungen für jede einzelne Messstelle war nicht Gegenstand des Projektes, da dies den Rahmen gesprengt hätte. Diese Daten stehen jedoch für Einzelbetrachtungen zur Verfügung. Für einzelne Parameter erfolgt jedoch derzeit in themenspezifischen Teilprojekten eine entsprechende Bewertung hinsichtlich anthropogener oder geogener Ursachen (beispielsweise für Uran).

Im Ergebnis liegen für 50 von 52 abgegrenzten geologischen Klassen regionalisierte Hintergrundkonzentrationen vor. Für zwei geologische Klassen nachrangiger wasserwirtschaftlicher Bedeutung und geringer räumlicher Ausdehnung, nämlich die Phyllite (Tonschiefer) des Subpenninikums und die oligozänen magmatischen Tonalitgesteine, konnte im vorliegenden Projekt keine ausreichende Datenbasis erhoben werden.

Bei der Interpretation der ermittelten Hintergrundwerte ist jedenfalls der Bezugszeitraum der zugrundeliegenden Datenbasis (Zeitraum 1997-2017) zu berücksichtigen.

Generell ist ein Großteil der untersuchten Grundwässer Österreichs dem erdalkalisch-karbonatischen Wassertyp mit Calcium, Magnesium und Hydrogenkarbonat als den dominierenden Hauptelementen zuzuordnen. Dieser Wassertyp ist charakteristisch für einen aktiven und relativ raschen Grundwasserumsatz. Nur etwa 20 % der Grundwassermessstellen weisen sauerstofffreie oder sauerstoffarme (≤ 3 mg/l) Bedingungen auf. Diese Messstellen liegen häufig in den Aubereichen der Flüsse, in gespannten

Grundwasserbereichen oder Bereichen mit aufsteigendem Tiefenwasser. Der pH-Wert liegt für 95% der Grundwassermessstellen überwiegend im neutralen Bereich, mit einer Spannbreite von 6 bis 8, also von schwach sauer bis schwach basisch.

Höhere Sulfatkonzentrationen treten im Grundwasser geogen bedingt im Zusammenhang mit polysulfidischen Vererzungen oder feinverteilten Pyritgehalten auf, in den kalkalpinen Serien im Zusammenhang mit den Gips- und Anhydritkörpern der Werfener Schichten, Raibler Schichten oder des Haselgebirges. Grundwässer im Seewinkel zeigen ebenfalls höhere Sulfatkonzentrationen wegen des hohen Gehaltes an Bitter- und Glaubersalzen dieser unter spezifischen klimatischen Bedingungen gebildeten Wässer.

Erwartungsgemäß ist die räumliche Variabilität einiger Grundwasserbeschaffenheitsparameter vor allem auf die Verteilung karbonatischer und silikatischer Gesteine in Österreich mit ihrem Einfluss auf die pH-Pufferkapazität sowie die Calcium- und Hydrogenkarbonatgehalte der Grundwässer zurückzuführen. So sind die überwiegend in silikatischen, kristallinen Gesteinen vorkommenden Grundwässer der Böhmisches Masse, des Ostalpinen Kristallin und des Altkristallin durch generell niedrigere pH-Werte, Calcium- und Hydrogenkarbonatgehalte gekennzeichnet, als die Grundwässer in den karbonatischen oder dolomitischen Gesteinen wie beispielsweise im Bereich der Kalkalpen oder den durch quartäre Sedimente geprägten Porengrundwasserkörpern entlang der großen Flüsse. In den Silikatgesteinen treten deshalb auch häufiger Grundwässer mit höheren Konzentrationen von unter sauren Bedingungen mobilen Metallen wie beispielsweise Aluminium oder Nickel auf.

Insgesamt zeigen die Auswertungen jedoch, dass sich die Konzentrationen für die meisten Metalle im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper generell auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen und deutlich unterhalb der gesetzlichen Vorgaben aus der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW) oder der Trinkwasserverordnung (TWV) liegen, teilweise sogar unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Letzteres gilt insbesondere für die Parameter Aluminium, Blei, Cadmium und Quecksilber. Für Quecksilber lagen alle herangezogenen Messwerte unterhalb der Mindestbestimmungsgrenze der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) von 0,1 µg/l, so dass keine flächenhaften Hintergrundkonzentrationen abgeleitet werden konnten. Ergänzende Untersuchungen mit tieferen Bestimmungsgrenzen könnten insbesondere die Datenlage für die im Hinblick auf ihre Wechselwirkungen mit Oberflächengewässern interessanten Parameter Quecksilber und Cadmium noch verbessern.

Lokal kommt es gelegentlich zu Überschreitungen des gesetzlich definierten Schwellenwertes für Arsen gemäß QZV Chemie GW (9 µg/l) und der Indikatorwerte für Eisen (0,2 mg/l) und Mangan (0,05 mg/l) gemäß Trinkwasserverordnung. Bei Arsen ist insbesondere für etliche Grundwasserkörper in den Bundesländern Steiermark, Burgenland und Kärnten ein deutlicher geogener Einfluss auf die Arsenkonzentrationen im Grundwasser zu verzeichnen. Ursache sind die in diesen Regionen auftretenden arsen- und auch edelmetallführenden Sulfidvererzungen mit deutlich ausgeprägten Arsenanomalien, sowie die Mobilisierung von Arsen begünstigende Redoxbedingungen in gespannten Grundwasserbereichen. Gelöstes Arsen tritt dabei häufig in Verbindung mit lokal erhöhten Eisen- und Mangankonzentrationen auf, ein Hinweis auf eine mögliche Mobilisierung von Arsen aus Eisensulfiden. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Konzentration von Arsen im Grundwasser österreichweit betrachtet bei einer Mediankonzentration von < 1 µg/l (unterhalb der Bestimmungsgrenze) und einem 90 % Perzentil von 1,7 µg/l ausgesprochen niedrig ist. Generell sollte der möglichen Mobilisierung von Metallen durch Oxidation von Sulfiden (beispielsweise durch diffusen Nitratreintrag) weiter Beachtung geschenkt werden.

Auch die Hintergrundkonzentrationen für Uran zeigen räumliche Schwankungen mit etwas höheren Werten im Weinviertel, Seewinkel, den tertiären Sedimenten der Böhmisches Masse aber auch in den quartären Sedimenten des Tullnerfeldes und Machlandes. Lokal kommt es geogen bedingt beispielsweise im

Zusammenhang mit den Orthogneisen des Ötztal-Kristallin vereinzelt zu Überschreitungen des Parameterwertes der Trinkwasserverordnung (15 µg/l Uran). Die gehäuften Überschreitungen im Seewinkel (Burgenland) v.a. im Bereich um Frauenkirchen sind Gegenstand laufender Projekte zur Abklärung anthropogener oder geogener Ursachen. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Konzentration von Uran im Grundwasser österreichweit betrachtet bei einer Mediankonzentration von < 1 µg/l (unterhalb der Bestimmungsgrenze) und einem 90 %-Perzentil von 4,1 µg/l ausgesprochen niedrig ist.

Für den Parameter Nitrat erfolgte aufgrund der weiträumigen, anthropogen verursachten Überprägung insbesondere in den intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten im Norden, Osten und Südosten Österreichs keine regionalisierte Ermittlung der Hintergrundkonzentrationen. Grundsätzlich ist von natürlichen Hintergrundwerten für Nitrat im Bereich von etwa bis 10 mg/l auszugehen. Werden für die Beurteilung der Nitratkonzentrationen nur die Konzentrationsmediane von durch Siedlungen und Landwirtschaft „unbeeinflussten“ Grundwassermessstellen herangezogen, dann beträgt das 90%-Perzentil der Nitratkonzentrationen 5,3 mg/l Nitrat und repräsentiert weitestgehend den Nitateintrag aus atmosphärischen Einträgen. Überschreitungen des Schwellenwertes der Qualitätszielverordnung Grundwasser Chemie für Nitrat haben jedenfalls anthropogene Ursachen.

Hintergrundkonzentrationen für Ammonium, Nitrit und Phosphat im quantifizierbaren Bereich decken sich erwartungsgemäß mit den vorherrschenden Sauerstoffbedingungen in den untersuchten geologischen Klassen. Ammonium und Nitrit treten in den durch reduzierende und gespannte Bedingungen charakterisierten Grundwässern auf. So zeigen insbesondere die Grundwässer in den quartären Sedimenten des Rheintals, des Ennstals und den neogenen Sedimenten des steirischen Beckens und des Burgenlandes höhere Ammoniumkonzentrationen, welche zumindest teilweise geogener Natur sind. Im Rheintal mit seinen charakteristischen moorigen Bereichen überschreitet die Hintergrundkonzentration den Schwellenwert der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser von 0,45 mg/l Ammonium.

Der Schwellenwert der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser von 0,3 mg/l Phosphat wird von der Hintergrundkonzentration der Grundwässer in den lokalen quartären Sedimenten der Böhmisches Masse überschritten. In diesem Bereich treten phosphorführende Minerale auf, gleichzeitig ist durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung im Umfeld der untersuchten Messstellen auch von einer anthropogenen Überprägung auszugehen.

Anthropogene Beeinflussungen vieler Grundwässer werden insbesondere durch die begleitend durchgeführten Trendbeurteilungen der Einzelmessstellen deutlich. Diese machen die Veränderungen in der Grundwasserqualität der letzten zwei Dekaden sichtbar. So zeigen sich für die Parameter Bor, Nitrat und Sulfat häufiger signifikant fallende Trends im Gesamtzeitraum 1997–2017, während die GZÜV-Parameter Chlorid und Natrium aber auch Hydrogenkarbonat und der pH-Wert durch häufiger mit signifikant steigenden Messstellentrends im Zeitraum 1997–2017 auffallen.

Mit den durchgeführten Untersuchungen liegen aktualisierte flächenhafte Hintergrundwerte der wichtigsten Grundwasserbeschaffenheitsparameter entsprechend den Anforderungen der Grundwasser- und Wasserrahmenrichtlinie vor.

2 EINLEITUNG

(J. GRATH, H. BRIELMANN)

GRUNDWASSER IST EIN WESENTLICHER BESTANDTEIL des Wasserkreislaufes und eine wichtige natürliche Ressource für Mensch und Umwelt. Die Versorgung mit Trinkwasser erfolgt in Österreich zur Gänze aus dem Grundwasser, das in seinem natürlichen Zustand eine exzellente Qualität aufweist. Grundwasser in Österreich umfasst sowohl die zahlreichen Quellwässer der alpinen karbonatischen Karstregionen und zerklüfteten Kristallingesteinen als auch die wasserwirtschaftlich bedeutsamen Vorkommen in den Sedimentschichten der Porengrundwasserkörper in den Tal- und Beckenlagen.

Die natürliche Beschaffenheit des Grundwassers verändert sich zeitlich, räumlich und in Abhängigkeit von der Tiefe. Dies ist auf die vielfältigen geologischen, geochemischen, hydrologischen und klimatischen Faktoren zurückzuführen, die auf das Grundwasser einwirken.

Atmosphärische Niederschlagswässer unterschiedlicher Zusammensetzung versickern in den Boden und durch die ungesättigte Zone in den Grundwasserleiter. Auf diesem Weg werden aus den anstehenden Sedimenten und Gesteinen, in Abhängigkeit von den chemischen und physikalischen Bedingungen, Mineralstoffe gelöst. Diese werden mit dem Grundwasser im Grundwasserleiter zur jeweiligen Austrittsstelle – also beispielsweise zu einem Wasserversorgungsbrunnen, einer Quelle aber auch einem verbundenen Oberflächengewässer – transportiert. Die Verweilzeit des Grundwassers im Untergrund, also die Zeitdauer, welche für Austauschprozesse zwischen Gestein und durchströmendem Wasser zur Verfügung steht, hat dabei entscheidenden Einfluss auf die resultierende Qualität und hydrochemische Zusammensetzung des Grundwassers.

Typische Wasserinhaltsstoffe sind zum Beispiel die bekannten Härtebildner Calcium und Magnesium. Im Wasser können aber auch Metalle wie z.B. Chrom, Nickel, Arsen und Uran auftreten. Die letztgenannten sind in erhöhten Konzentrationen schädlich für die menschliche Gesundheit und werden daher im Rahmen von Grund- und Trinkwasseruntersuchungen regelmäßig kontrolliert.

Im Zuge der Versickerung und dem Prozess der Grundwasserneubildung können auch Stoffe verlagert werden, die auf Grund menschlicher Aktivitäten in das System Boden–Wasser gelangen. Um geeignete Maßnahmen zum Schutz der für uns so wichtigen Grundwasserressource zu setzen und Veränderungen der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers zeitnah feststellen und bewerten zu können, ist es deshalb erforderlich, die Auswirkungen natürlicher Prozesse auf die Grundwassereigenschaften von den Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten so weit als möglich abzugrenzen und die natürliche (bzw. ubiquitäre oder generell überprägte) Bandbreite des Hintergrunds der Grundwasserbeschaffenheit darzustellen.

Im Jahr 2004 wurden von der Geologischen Bundesanstalt (GBA) im Auftrag des BMNT (vormals BMLFUW) erstmals flächendeckend hydrochemische geogene Hintergrundwerte für Österreich abgeleitet. Die Aktualisierung der Hintergrundwerte auf Basis langjähriger Datenreihen der Gewässerzustandsüberwachung sowie auf Basis neu abgegrenzter weitestgehend homogener geologischer Einheiten und einer reproduzierbaren Methode ist Ziel des vorliegenden Projektes.

3 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN UND ZIELSETZUNG

(A. SCHEIDLEDER, H. BRIELMANN)

DER SCHUTZ DER RESSOURCE GRUNDWASSER vor Verschlechterung und chemischer Verschmutzung ist eines der Hauptanliegen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, RL 2000/60/EG), die dazu als Umweltziel den **guten chemischen Zustand des Grundwassers** definiert. Kriterien zur Beurteilung des chemischen Zustands von Grundwasserkörpern wurden in der EU-Grundwasserrichtlinie (GWRL, RL 2006/118/EG) mit der Festlegung von EU-weiten **Grundwasserqualitätsnormen** und nationalen **Schwellenwerten** geschaffen. Bei der Festlegung von Schwellenwerten oder der Zustandsbeurteilung auf Basis von Schwellenwerten ist jedoch zu berücksichtigen, dass „aufgrund natürlicher hydrogeologischer Gegebenheiten erhöhte **Hintergrundwerte** von Stoffen oder Ionen oder ihren Indikatoren“ auftreten können (RL 2006/118/EG, Anhang II, Teil A). Der „Hintergrundwert“ bezeichnet „die Konzentration eines Stoffes oder den Wert eines Indikators in einem Grundwasserkörper, die keinen oder nur sehr geringen anthropogenen Veränderungen gegenüber einem Zustand ohne störende Einflüsse entspricht“ (RL 2006/118/EG, Art. 2).

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie wurde mit der Wasserrechtsgesetznovelle 2003, BGBl. I Nr. 112/2003, die am 22.12.2003 in Kraft getreten ist, in nationales Recht umgesetzt. Die Vorgaben der WRRL zum Monitoring wurden im Jahr 2006 mit der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV, BGBl. II Nr. 479/2006, Novellierung mit BGBl. II Nr. 465/2010) in Österreich umgesetzt und die bestehenden österreichischen Überwachungsprogramme entsprechend angepasst. Die Vorgaben der EU-Grundwasserrichtlinie, insbesondere die Kriterien zur Bestimmung des chemischen Zustands des Grundwassers, welche die Festlegung der Schwellenwerte und die Berücksichtigung der geogenen Hintergrundwerte beinhaltet, wurden über die Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW, BGBl. II Nr. 98/2010), die am 30. März 2010 in Kraft getreten ist, national umgesetzt und festgelegt.

Um die europaweite Vergleichbarkeit der Zustandsbewertungen zu verbessern, wurde die EU-Grundwasserrichtlinie im Jahr 2014 um gemeinsame Grundregeln für die Bestimmung von Hintergrundwerten erweitert. Darin ist nun ausdrücklich verlangt, dass die Festlegung der Hintergrundwerte sowohl auf der Beschreibung der Grundwasserkörper als auch den Ergebnissen der Grundwasserüberwachung zu erfolgen hat. Außerdem soll der dreidimensionale Charakter von Grundwasserkörpern berücksichtigt werden, also, dass sich „die Fließbedingungen und der chemische Zustand des Grundwassers horizontal und vertikal unterscheiden“ (RL 2006/118/EG i.d.F. RL 2014/80/EU, Anhang II, Teil A). Schließlich sind im Rahmen der Bewirtschaftungspläne die Hintergrundwerte für natürlich vorkommende Stoffe in Grundwasserkörpern sowie Angaben zum Verhältnis von Schwellenwerten und Hintergrundwerten zu kommunizieren. Zusätzlich ist die Methode zu beschreiben, nach der die Hintergrundwerte bestimmt wurden (RL 2006/118/EG Anhang II, Teil C, i.d.F. RL 2014/80/EU). Diese Änderungen und Ergänzungen waren bis 11. Juli 2016 in nationales Recht umzusetzen.

Zur Bestimmung der Hintergrundwerte steht es den Mitgliedstaaten frei, je nach vorhandenen Studien und konzeptionellen Modellen, ihren eigenen Ansatz zu wählen. Hilfestellung dabei bietet der CIS Leitfaden Nr. 18 zur Beurteilung von Zustand und Trends im Grundwasser (Europäische Kommission 2009) sowie das EU-Forschungsprojekt BRIDGE (Background criteria for the identification of groundwater thresholds, MÜLLER et al. 2006), welches ein abgestuftes Vorgehensmodell (entsprechend den Ergänzungen der GWRL), je nach Datenlage und Wissensstand, ausgearbeitet hat.

Bereits im Jahr 2004 erfolgte im Projekt GEOHINT (Geogene Hintergrundgehalte oberflächennaher Grundwasserkörper, GBA 2004) die erstmalige Bestimmung von geogenen Hintergrundwerten für

ausgewählte Grundwasserinhaltsstoffe und für alle oberflächennahen Grundwasserkörper in Österreich. In der Zwischenzeit ergaben sich in verschiedenen Bereichen beträchtliche Weiterentwicklungen und Informationszugewinne, die eine Überarbeitung der Methodik und eine Aktualisierung der natürlichen Hintergrundwerte notwendig machen. Dazu zählen die zwischenzeitliche Adaptierung des Grundwassermonitorings an die Erfordernisse der WRRL (Novellierung der GZÜV im Jahr 2006 und 2010) und der beträchtliche Zugewinn an Überwachungsdaten, die gewonnenen Erfahrungen auf nationaler und europäischer Ebene bei der Erstellung der ersten beiden Ist-Bestandsanalysen und Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplänen (z.B. die Änderungen der GWRL im Jahr 2014) sowie verschiedene nationale Untersuchungen zu Grundwasseraltern, Metallen und Uran im Grundwasser, natürlich vorkommenden Radionukliden, trinkbaren Tiefengrundwässern sowie hydrochemischen Wassertypen (siehe Anhang).

Ziel des vorliegenden Projektes ist die Aktualisierung der natürlichen Hintergrundwerte für die Grundwasserkörper Österreichs basierend auf dem aktuellsten Kenntnisstand und entsprechend der aktuellen gesetzlichen Vorgaben auf der Grundlage einer reproduzierbaren, geeigneten Methode. Für jeden einzelnen Grundwasserkörper werden – differenziert auf Basis der geologischen Klassen – Bandbreiten von Hintergrundwerten bestimmt.



Abbildung 3: Rheinmündung bei Bregenz, Vorarlberg

4 GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT

(H. BRIELMANN)

4.1 NATÜRLICHE EINFLUSSFAKTOREN

DIE NATÜRLICHE GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT ist von einer Vielzahl von Faktoren, ganz entscheidend aber von

1. der Stoffanlieferung aus dem Niederschlag, dem Boden und der ungesättigten Zone und
2. den anschließenden Wechselwirkungen des Grundwassers mit den Gesteinen und Sedimenten des Grundwasserleiters geprägt.

Bis zum Eintritt des Sickerwassers in die gesättigte Zone wird die Wasserbeschaffenheit zunächst durch die chemische Zusammensetzung des Niederschlags bestimmt, in der Folge durch chemische und biologische Prozesse in der Boden- und ungesättigten Zone.

In der gesättigten Zone diktiert vor allem die Löslichkeit der Minerale der anstehenden (Fest-) Gesteine und (Locker-) Sedimente sowie die Verweilzeit des Wassers im Untergrund die Beschaffenheit von Grundwasser. Auch die Lage und Schwankungen des Grundwasserspiegels beeinflussen durch ihre Auswirkungen auf Sauerstoffgehalte und Redoxbedingungen entscheidend die Grundwasserbeschaffenheit.

Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit weist dementsprechend große zeitliche und räumliche Schwankungen auf.

4.2 ANTHROPOGENE EINFLUSSFAKTOREN

Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit wird oftmals überlagert von Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf das Grundwasser.

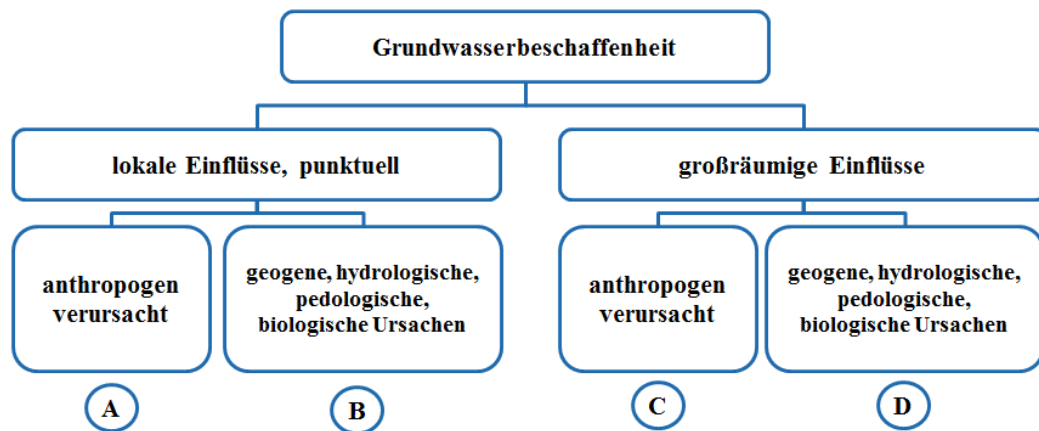
Neben **industriellen** Herstellungsprozessen hat insbesondere die Art der Energiegewinnung seit Beginn des industriellen Zeitalters starke Auswirkungen auf die chemische Zusammensetzung des Niederschlags und damit in weiterer Folge auch auf das Grundwasser.

In erster Linie ist dabei die Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle und Erdöl mit dem einhergehenden Anstieg von Stickstoff-, Schwefel- aber auch Spurenelementgehalten zu nennen. So führt z. B. die Kohleverbrennung zu Emissionen von Chrom, Quecksilber, Mangan, Selen und Antimon, Erdölverbrennung zu erhöhten Nickel- und Vanadiumgehalten im Niederschlag. Erhöhte Bleigehalte waren vor allem durch die Verbrennung von Benzin begründet. Während der überwiegende Teil der Luftverschmutzung auf lokale Einflüsse zurückgeführt werden kann, können manche Schadstoffe oder deren Reaktionsprodukte global verbreitet werden.

Neben industriellen Prozessen beeinflusst die **Landnutzung** maßgeblich die Grundwasserqualität. Frühe flächendeckende Auswirkungen auf die natürliche Grundwasserbeschaffenheit muss es schon im Zusammenhang mit der Entwaldung Europas zum Ende des 18. Jahrhunderts und den großflächigen Meliorationen (z. B. Bodenverbesserungsmaßnahmen) und ihren Auswirkungen auf Grundwasserstände im 19. Jahrhundert gegeben haben.

Heutzutage sind es vor allem landwirtschaftliche Aktivitäten mit ihren Folgen für die Sickerwasserkonzentrationen von Nährstoffen, Pestiziden oder Härtebildnern, welche die Grundwasserbeschaffenheit

großräumig verändern. Punktuelle Einträge durch Industrieanlagen, Abwasser- und Kläranlagen, Deponien, Altlasten und Verkehrsflächen tragen ebenfalls zur anthropogenen Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit bei.



Beispiele:

- A: Industrieanlagen, Abwasser- und Kläranlagen, Deponien, Altlasten und Verkehrsflächen
- B: Infiltration von Oberflächenwasser, Aufstieg von Tiefenwasser, anaerobes Milieu, Torfböden
- C: atmosphärische Deposition, landwirtschaftliche Intensivnutzung, städtische Ballungsräume
- D: geologische Zonen, Deckschichten, Böden, Grundwasserneubildungsraten, Landnutzung

Abbildung 4: Einflüsse auf die Grundwasserbeschaffenheit (verändert nach LfU 2001).



Abbildung 5: Dohlenkrebse im Gitschtal, Kärnten.

5 GEOLOGIE, PETROLOGIE UND MINERALOGIE DER GEOLOGISCHEN KLASSEN UND IHRE WASSERWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG IM ÜBERBLICK

(R. PHILIPPITSCH, G. SCHUBERT, F. HUMER)

DIESES KAPITEL DIENt zum besseren Verständnis der generellen geochemischen Verhältnisse im Bundesgebiet für die im vorliegenden Bericht dargestellten und in Form von 52 Datenblättern beschriebenen geochemischen Klassen (vgl. Tabelle 2). Die nachfolgende Zusammenfassung geschieht vor allem nach jenen genetischen Faktoren, die einen wesentlichen Einfluss auf die Geochemie der in diesen Klassen enthaltenen Gesteine und damit auf die Grundwasserchemie haben. Bezüglich der räumlichen Verbreitung der genannten Klassen wird auf die Abbildung 14 und Abbildung 15 hingewiesen.

Stellen für die Geologie die tektonischen Einheiten ein vorrangiges Ordnungsprinzip dar, so wurde dieses bei der Bildung der vorliegenden geologischen Klassen nicht in den Vordergrund gestellt, sondern vielmehr petrographische und stratigraphische Gesichtspunkte hervorgehoben. Beispielgebend dafür sind die siliziklastischen Sedimente des Perms und der Untertrias, welche über alle tektonischen Grenzen hinweg zur geologischen Klasse D12 zusammengefasst wurden.

5.1 KRISTALLIN DER BÖHMISCHEN MASSE (GEOKLASSEN A01-A04) – MOLDANUBIKUM (VORWIEGEND CA. 340 BIS 300 MIO JAHRE), MORAVIKUM (VORWIEGEND CA. 600 MIO. JAHRE)

Das kristalline Grundgebirge der Böhmisches Masse wird nach OBERHAUSER (1980) klassisch in die beiden Gesteinseinheiten des Moldanubikums und das Moravikum unterteilt. Während der Gesteinsbestand des Moldanubikums im Zuge der variszischen Orogenese stark metamorphisiert und z. T. auch aufgeschmolzen wurde, blieben die Gesteine des Moravikums während dieser Gebirgsbildung großteils unverändert und haben ihren vorvariszisch bzw. präkambrisch geprägten Habitus beibehalten. Ein Teil des östlichen Moldanubikums wird in jüngerer Zeit auch als tektonisches Fenster interpretiert, das im Untergrund mit dem Moravikum zusammenhängt (MATURA, 2006).

Trotz ihrer unterschiedlichen Bildungsalter weisen diese beiden tektonischen Einheiten jedoch geochemische Gemeinsamkeiten auf: Sie beinhalten vorwiegend hoch metamorphe bis aufgeschmolzene Gesteine, die zumeist aus Aluminium betonten Silikatmineralien, wie z. B. Feldspat und Glimmer sowie Quarz, bereichsweise auch Cordierit, Amphibol, Pyroxen, Granat und Disthen, bestehen. Im Moldanubikum finden vor allem Paragneise und Migmatite (teilweise aufgeschmolzene Paragneise) weite Verbreitung, in welchen großräumig die Granite des Südböhmischen Plutons aufdrängen. Weiters haben auch Orthogneise ehemals magmatischer Herkunft und Granulite (Gföhler Einheit, Geoklasse A04) sowie Amphibolite weite Verbreitung. Bereichsweise sind auch Marmorzüge in den Gesteinsverband eingeschaltet. Im Moravikum besteht der Untergrund vorwiegend aus metamorphen, präkambrischen Graniten (Geoklasse A03) und Paragneisen, also ebenfalls aus dem oben genannten Mineralbestand.

Aufgrund der schlechten Wasserlöslichkeit von Silikaten ist daher das seichte Grundwasser im kristallinen Grundgebirge der Böhmisches Masse in der Regel nur gering mineralisiert und weist einen vergleichsweise niedrigen pH-Wert auf. Höhere Lösungsinhalte und pH-Werte können im Verbreitungsgebiet von Marmoren auftreten oder durch eine Lößbedeckung oder eine Überlagerung durch andere junge Sedimente bedingt sein. Hinzuweisen sind auch auf die für die Trinkwasserwirtschaft unerwünschten Urangehalte vor allem in den östlichen Randbereichen der Böhmisches Masse. Bis Herbst 2019 sollen im DaFNE-Forschungsprojekt

Nr. 101204 „Uran im Grundwasser“ die derzeit noch offenen Fragen hinsichtlich geogener bzw. anthropogener Herkunft von Uran im Grundwasser geklärt werden und abgeschätzt werden, ob bzw. wo in Österreich Verhältnisse vorherrschen, die den Eintrag von Uran ins Grundwasser begünstigen.

Das Grundwasser befindet sich vor allem in der oberflächennahen Auflockerungszone, in Form von Porengrundwasser im Hangschutt und tiefgründig verwitterten Gesteinen (Porengrundwasser), aber auch in tiefreichenden Klüften (Kluftgrundwasser) (BMLFUW 2002; PHILIPPITSCH 1994). Die Grundwasservorkommen sind in erster Linie von lokaler Bedeutung. Ausnahmen bilden beispielsweise die Sulzbergquellen im oberen Mühlviertel mit einer Schüttung von 10 bis 25 l/s (RUPP et al, 2011).

5.2 TERTIÄRE SEDIMENTE (GEOKLASSEN B00-B20) – MOLASSEZONE UND INNERALPINE BECKEN (CA. 66-2,6 MIO. JAHRE)

Diese Klassen umfassen alle paläogenen und neogenen Sedimente im Vorlandbecken der Alpen, der sogenannten Molassezone und in den inneralpinen Becken, wie vor allem das Wiener Becken, das Steirische Becken und die Randbuchten des Pannonischen Beckens. Der Großteil dieser Sedimente wurde unter marinen bis brakischen Verhältnissen abgelagert. Die wichtigste Ausnahme bilden die vergleichsweise jungen Sedimente der Geoklasse B08 (Pannonium bis Romanium, ca. 11,5 bis 2 Mio. Jahre), die unter limnisch-fluviatilen Verhältnissen abgelagert wurden. In diesen Regionen sind die Quarz und Feldspat betonten Sand- und Kieskörper (Porengrundwasserleiter) vielfach von sehr wichtiger wasserwirtschaftlicher Bedeutung. Dies betrifft insbesondere die pannonen Schotter des Kobernauberwaldes in Oberösterreich oder die Hollabrunner-Mistelbacher-Schotter im Weinviertel / Niederösterreichs sowie die Sand- und Kieseinschaltungen im Schlier der oberösterreichischen Molassezone. Gleichmaßen von sehr hohem wasserwirtschaftlichen Stellenwert sind die Tertiärsedimente in der Südsteiermark und im Südburgenland innerhalb des Steirisch-Pannonischen Beckens und des Wiener Beckens. Darüber hinaus wird noch auf weitere, wesentlich kleinere Sedimentbecken im Bundesgebiet, wie vor allem das Horner Becken im Weinviertel in Niederösterreich, verwiesen. (vgl. SCHUBERT 2015b und PHILIPPITSCH 1994; ZOJER et al. 2005). Diese Sedimentlagen liegen wiederum in Wechsellagerung mit tonigen Sedimentpaketen, die sich zumeist aus unterschiedlichen Tonmineralien, wie z. B. Illit, Montmorillonit und Kaolinit sowie auch Karbonaten, zusammensetzen. Bei diesen Mineralien handelt es sich im Wesentlichen um Aluminium-Silizium-betonte Schichtsilikate mit wechselnden Anteilen an z. B. Natrium, Calcium, Magnesium und Kristallwasser. Durch deren Struktur sind sie meist sehr schlecht wasserdurchlässig und fungieren damit als wasserstauende Horizonte gegenüber den relativ sehr grobkörnigen und grobporigen Sand- und Kieskörpern.

Da diese Sedimente zumeist auch Karbonatgehalte aufweisen, sind die Grundwässer häufig erdalkalisch-karbonatischer Natur. Bei etwas tieferen Grundwässern mit längerer Verweilzeit können die Erdalkalien wie Calcium und Magnesium gegen Natrium ausgetauscht sein, darüber hinaus sind sie dann in der Regel auch an Eisen und Mangan angereichert.

Mit den tertiären Sedimenten sind die Begriffe artesische Grundwässer und Tiefengrundwässer eng verbunden, da die vorwiegende Nutzung über diese erfolgt. Derartige Grundwässer sind insbesondere aufgrund ihrer geschützten Lage und der hohen Wasseralter – insbesondere auch für die Trinkwasserversorgung – von großer Bedeutung.

5.3 QUARTÄRE SEDIMENTE (GEOKLASSEN C01-C25) –TAL- UND BECKENLANDSCHAFTEN (< 2,6 MIO. JAHRE)

Die diesen geologischen Klassen zugeordneten Sedimente sind zumeist von Flüssen transportiert worden. Ein Teil entstammt auch dem limnischen, glazigenen oder äolischen Ablagerungsmilieu. Dazu zählen die inneralpinen Tal- und Beckenlandschaften wie z. B. das Inn-(T), Salzach- (S) oder Drautal (K) sowie das Grazer- und Leibnitzer Feld (ST), das Eferdinger Becken und die Welser Heide (OÖ), das Tullnerfeld und

das Marchfeld (NÖ) oder das Südliche Wiener Becken (NÖ) als der größte Porengrundwasserkörper Österreichs. Der Gesteinsbestand wird im Wesentlichen von der Beschaffenheit der Einzugsgebiete und der Transportweite, aber auch von Verwitterung und Zementationsprozessen bestimmt. Zumeist sind in diesen Sedimenten mehr oder weniger große Anteile an Karbonatgesteinen mit deren Kalken und Dolomiten als Abtragungsschutt enthalten, was im Allgemeinen zu einem höheren Lösungsinhalt (z. B. Calcium, Magnesium und Hydrogenkarbonat) und pH-Wert des Grundwassers führt. Je nach geologischer Position schwankt der Anteil an schwerlöslichen silikatischen Mineralkomponenten aus den Kristallingesteinen wie z. B. den Zentralalpen / Hohe Tauern, der Böhmisches Masse oder der Grauwackenzone mit unterschiedlichen Vererzungshorizonten, die häufig für die natürliche Metallführung in Grundwässern verantwortlich sind.

Ein Beispiel für eine Ausnahme mit geringen Inhaltsstoffen stellt die Geoklasse C01 dar, deren Einzugsgebiet sich im Kristallin der Böhmisches Masse befindet. Hier sind – ähnlich wie im Einzugsgebiet der Sedimente – auffallend niedrige pH-Werte und Lösungsinhalte zu verzeichnen, was v.a. auf kurze Aufenthaltszeiten und geringes Lösungsvermögen der vorwiegend silikatischen Gesteinsminerale zurückzuführen ist.

Für die Wasserwirtschaft, sowohl die Trink- als auch Nutzwasserwirtschaft betreffend, sind in Österreich insbesondere die bekannt ergiebigen, gut durchlässigen quartären Schotteraquifere (Porengrundwasserleiter) mit großen Sedimentmächtigkeiten entlang der großen Flüsse wie Rhein, Inn, Salzach, Drau, Mur und vor allem auch die Donau von besonderer Bedeutung (PHILIPPITSCH 1994).

5.4 SEDIMENTE DES MESOZOIKUMS UND PERMS (GEOKLASSEN D01-D20) – NÖRDLICHE KALKALPEN, ZENTRALALPINES MESOZOIKUM, DRAUZUG, SÜDALPEN, BÖHMISCHE MASSE (CA. 300-66 MIO. JAHRE)

Bei den hier zusammengefassten Sedimentgesteinen handelt es sich größtenteils um Meeresablagerungen auf einem kontinentalen Sockel. Nur die Klasse D12 beinhaltet auch terrestrische Sedimente (siliziklastische Sedimente des Perms und der Untertrias) in einem größeren Umfang.

Die gegenständlichen, permischen bis mesozoischen Sedimentgesteine wurden nach der variszischen Gebirgsbildung auf unterschiedlichen kontinentalen Platten abgelagert, nämlich auf der Basis des Südalpins und des Ostalpins als Teil der Afrikanischen Platte und auf der Basis der Böhmisches Masse sowie des Subpenninikums als Teil der europäischen Platte. Teile davon wurden später bei der alpidischen Gebirgsbildung metamorph überprägt.

Diesem heute bis zu mehreren tausend Meter mächtigen Gesteinspaket ist aber gemein, dass es mit einem vorwiegend siliziklastischen Sedimentpaket wie dem rot gefärbten Grödener Sandstein beginnt (Permoskyth), wobei vor allem insbesondere die schiefer-tonartigen Gesteinsformationen dabei vielfach als Grundwasserstauer fungieren. Darüber folgen vor allem die aus Karbonatgesteinen aufgebauten und verkarstungsfähigen Kalke und Dolomite. Die bekanntesten Beispiele sind die Nördlichen Kalkalpen, die Gailtaler Alpen, Teile der Karnischen Alpen sowie die Nord- und Südkarawanken (siehe auch 5.6, altpaläozoische Gesteine). Der Karbonatreichtum führt naturgemäß zu höheren Calcium-, Magnesium- und Hydrogenkarbonat-Gehalten im Grundwasser, die auch mit höheren pH-Werten verbunden sind. Zudem sind typische Evaporit-Horizonte mit eingelagerten Gipsvorkommen weit verbreitet, welche dann im Grundwasser zu erhöhten Sulfatwerten führen. Die sowohl in den Südlichen als auch Nördlichen Kalkalpen in unterschiedlicher Verteilung und Größe auftretenden Blei-Zink-Vererzungen (namhafte ehem. Bergbauggebiete wie z. B. Bleiberg-Kreuth/Kärnten; Nassereith/Tirol; Annaberg/Niederösterreich) können lokal erhöhte Metallgehalte im Grundwasser bedingen.

Anzuführen sind auch Quellwässer mit erhöhten Salzgehalten (v. a. Natrium und Chlorid, d. h. gelöstes Steinsalz), welche aus der Basis der Kalkalpen („Haselgebirge“) stammen und wo seit Jahrtausenden ehemals eingedampftes Meerwasser in Form von Salzlagerstätten abgebaut wird oder wurde. (vor allem Hallstatt / Oberösterreich; Hallein / Salzburg; Altaussee / Steiermark; Hall / Tirol). Quellen im engeren Einzugsbereich zeigen dann auch erhöhte Salzgehalte.

Vor allem den mächtigen Karbonatplattformen der Mittel- und Obertrias entspringen sehr ergiebige Quellen, die für die Wasserwirtschaft von immens großer Bedeutung sind. So kann z. B. die Stadt Wien über zwei Hochquellleitungen aus den Nördlichen Kalkalpen (Hochschwabmassiv, Rax und Schneeberg) nahezu zur Gänze mit ca. 450.000 m³/Tag frischem, hochwertigem Karst-Quellwasser versorgt werden und Innsbruck über die Mühlauer Karstquellen aus dem Karwendelgebirge mit Schüttungsmengen zwischen 750 bis 2.000 l/s in gleicher Weise. Als Beispiel für den Süden können die Karstquellen in den Gailtaler Alpen am Dobratsch genannt werden, welche die gesamte Stadt Villach versorgen können.

5.5 GESTEINE DER FLYSCHZONE (GEOKLASSE E01) – VORARLBERG BIS KORNEUBURG/NIEDERÖSTERREICH (CA. 200-40 MIO. JAHRE)

Die Flyschzone schließt an die Molassezone im Norden an die Nördlichen Kalkalpen, die vom Rheintal in Vorarlberg bis zur Donau im Bereich Korneuburg reichen.

Die sogenannte Rhenodanubische Flyschzone ist gekennzeichnet durch einen intensiven Wechsel von Schiefertönen bis Mergeln mit meist kalkig gebundenen Sandsteinbänken mit unterschiedlichen Anteilen an Quarz, Glimmermineralen, Feldspatvariationen, bereichsweise aber auch sehr karbonatreichen Lagen sowie diversen Schwermineralen (Turmalin, Granat, Rutil, Chromit...). Sie sind das Resultat von schlammartigen Trübe- oder Suspensionsströmen, welche sich im Bereich von Kontinentalabhängigen vom Übergang eines Flachmeeres in die Tiefsee ausbilden können. Das Alter dieser Tiefwassersedimente reicht von der Unterkreide bis in das Eozän (ca. 145 bis 30 Mio. Jahre).

Aufgrund der mineralogischen Zusammensetzung besitzen diese Grundwässer häufig alkalischen Charakter und durch Karbonatführung vielfach auch erhöhte Härtegrade. An die Flyschzone sind nur seicht liegende Grundwasservorkommen gebunden. Das Grundwasser ist dabei meist an eine geringmächtige Auflockerungszone wie Hangschutt oder auch an Kluft- und Störungszonen gebunden (VOHRYZKA, 1973). Im Bereich von Hangrutschungen kann die Wasserwegigkeit auch tiefer reichen. Bei Unterach am Attersee in Oberösterreich sind im Bereich einer großen Rutschmasse im Flysch sogar abflusslose Senken mit einer unterirdischen Entwässerung bekannt (VAN HUSEN et al., 2017). Insgesamt sind die Quellen der Flyschzone durch das relativ geringe Speichervermögen der Gesteinseinheit in der Regel von lokaler Bedeutung.

5.6 GERING BIS NICHT METAMORPHE, ALTPALÄOZOISCHE GESTEINE (GEOKLASSE G01 BIS G04) – GRAUWACKENZONE, GRAZER PALÄOZOIKUM, GRUKTALER ALPEN, KARNISCHE ALPEN UND SÜDKARAWANKEN (CA. 475-300 MIO. JAHRE) -

Diese geologischen Klassen umfassen den Gesteinsbestand der Grauwackenzone im klassischen Sinn sowie des Gurktaler und Grazer Paläozoikums und den paläozoischen Gesteinsbestand der Karnischen Alpen (siehe auch 5.4) und der Südkarawanken. Die Gesteine bilden eine vielfältige Abfolge von schwach bis mäßig metamorphen Tonschiefern mit phyllitischem Habitus (z. B. Quarzphyllite, Serizitphyllite), ehemaligen quarzreichen Sedimentablagerungen in Form von Glimmerquarziten sowie Einschaltungen von sauren, siliziumreichen und auch basischen Vulkaniten (Orthogesteine wie z. B. Porphyroidgesteine und Metabasite) als Ausdruck von ehemals intensiven submarinen vulkanischen Ereignissen. Einen starken Kontrast dazu bilden die ebenfalls altpaläozoischen, beeindruckenden mehrere hundert bis tausend Meter

mächtigen biogenen Kalk- und Dolomitgesteinskörper der Karnischen Alpen oder des Grazer Paläozoikums. Aufgrund der vielfältigen Gesteinstypen unterschiedlicher Herkunft gibt es auch ein entsprechend breites mineralogisch-geochemisches Spektrum von Silikat- und Karbonatassoziationen (PHILIPPITSCH, 1994). Bei den Haupt- und Spurenelementen, den jeweils wichtigsten gesteinsaufbauenden Mineralien (z. B. Glimmer, Chlorit, Feldspäte, Quarz, Calcit, Dolomit mit jeweils diversen metallischen Spurenelementen) dominieren neben Silizium und Aluminium als Hauptbestandteil von diversen Schieferarten und Tiefengesteinen natürlich die chemischen Elemente aus der Erdalkali- (Ca, Mg) und Alkalreihe (Na, K). Insbesondere in der Grauwackenzone finden sich auch wichtige Erzlagerstätten, wie z. B. Schwaz / Tirol: Kupfer-Antimon-Fahlerze mit Silberführung; Mitterberg / Salzburg: Kupferkiesvererzungen mit Uran-Nickel-Gold-Tellur- und Quecksilber-Mineralisationen; Eisenerz / Steiermark mit dem „Steirischem Erzberg“: Eisenkarbonatvererzungen in devonischen Kalkmarmoren; Veitsch / Steiermark: Magnesitlagerstätte in Kalk- und Dolomitmarmoren; Edelmetall (Gold/Silber)- führende Arsenkiesvererzungen in Gailtaler Alpen, Goldeck- und Kreuzeckgruppe, Saualpe (Kärnten).

Wasserwirtschaftlich spielen die Schiefergesteinsarten aufgrund der geringen Speicherfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit eine untergeordnete Rolle. Im Verbreitungsgebiet der Schiefer beschränken sich die Grundwasservorkommen zumeist nur auf seichte, wenig ergiebige Auflockerungszonen, also auf Hangschuttbereiche und auf die meist nicht sehr tief reichenden Kluftsysteme. Lokal bedeutende Grundwasservorkommen sind in der Regel an großräumige Rutschungen und Sackungen gebunden – der Grund dafür sind die tiefreichenden Bewegungsflächen und die stärkere Auflockerung (SCHUBERT, 2015b). Ergiebiger können hingegen die vereinzelt auftretenden und verkarsteten Marmorzüge innerhalb der Schiefer sein. Besonders ergiebige Quellen treten in den größeren Karststöcken wie z. B. im Grazer Paläozoikum auf.

Die Gesteinszusammensetzung spiegelt sich in der Wasserchemie von Quellen gut wieder, die silikatbetonten Phyllite z. B. zeigen naturgemäß geringe elektrische Leitfähigkeiten und damit geringeren Anteil an Mineralinhaltsstoffen gegenüber Calcium-betonten Quellwässern aus den Kalkgebirgen.

Eine hydrochemische Besonderheit der gegenständlichen Gesteine ist das gehäufte Auftreten von Vererzungen und damit verbundenen erhöhten Metallgehalten im Grundwasser (z. B. Antimon oder Arsenkies).

5.7 OSTALPINES KRISTALLIN (GEOKLASSEN H1 BIS H4 UND I1) – (KRISTALLIN EXKLUSIVE POSTVARISZISCHE SEDIMENTE, > 300 MIO. JAHRE)

Das Verbreitungsgebiet dieser Gesteine umfasst den Großteil der Zentralalpen. Unter diesem Begriff werden hier die stärker metamorphen Gesteine des kristallinen Basements bzw. Untergrundes der Ostalpen zusammengefasst. Diese kristallinen Gesteine gehören unterschiedlichen tektonischen Komplexen an: dem Ötztal-Bundschuh-, Koralpe-Wölz- und Silvretta-Seckau-Deckensystem sowie dem Unterostalpin (vgl. SCHUSTER et al, 2015); sie finden also von Vorarlberg über Tirol, nach Kärnten bis in die Steiermark weite Verbreitung. Der Gesteinsbestand umfasst vor allem Phyllite, Glimmerschiefer, Paragneise sowie saure bzw. Si-reiche Orthogneise und basische, an Fe-, Mg-reiche Silikatphasen reiche Metavulkanite (vorwiegend Amphibolite, aber auch Eklogiten) und untergeordnet auch Ultrabasite; etwas häufiger hingegen sind Marmore beteiligt. Die elementare Zusammensetzung der dominierenden Silizium-Aluminium-reichen Mineralphasen ist ähnlich den der altpaläozoischen Gesteine im vorangegangenen Kapitel (vgl. Kapitel 5.6). Durch den höheren Metamorphosegrad gibt es entsprechende Unterschiede in der Ausbildung einzelner Mineralphasen.

Der Lösungsinhalt der Wässer und auch der pH-Wert sind aufgrund des Vorherrschens von Silikatgesteinen – mit Ausnahme jener in verkarstungsfähigen Marmorgesteinen – zumeist sehr gering.

Im Umfeld von Vererzungshorizonten (siehe auch Kapitel 5.6), die im ostalpinen Kristallin immer wieder auftreten, kann es zu erhöhten Metallgehalten (z.B. Arsen) kommen. Insbesondere im Verbreitungsgebiet von Orthogneisen mit magmatischer Herkunft (granitähnliche Zusammensetzung) sind erhöhte Uran- und Fluor-Gehalte charakteristisch (ELSTER et al., 2018). Im Verbreitungsgebiet von Ultrabasiten, also siliziumuntersättigten Tiefengesteine mit Magnesium- und Eisen-reichen Komponenten sind zudem erhöhte Chrom- und vor allem Nickel-Gehalte im Grundwasser möglich (vgl. Kapitel 5.9, Penninikum der Zentralzone).

Aufgrund der zumeist geringen Wasserdurchlässigkeit dieser Gesteine ist jedoch ihre wasserwirtschaftliche Bedeutung oft nur von lokaler Bedeutung. Im Verbreitungsgebiet von größeren Lockergesteinsmassen in glazial übertieften Tälern – eine Sonderstellung nehmen hier die Blockgletscher ein - und im Bereich (verkarsteter) Marmorzüge können Quellaustritte so ergiebig werden, dass sie für die Versorgung von kleineren Städten herangezogen werden können (z. B. Quellen des WV Köflach-Voitsberg).

5.8 HELVETIKUM I. A. UND KLIPPEN DER WASCHBERGZONE (GEOKLASSE J01) – VORARLBERG BIS WIEN BZW. STOCKERAU BIS MIKULOV/TSCHECHIEN (CA. 200-40 MIO. JAHRE)

Die gegenständlichen geologischen Klassen umfassen den gesamten Gesteinsbestand der helvetischen und ultrahelvetischen Decken zwischen Vorarlberg und Wien sowie der Klippen der Waschbergzone in Niederösterreich (Stockerau bis Mikulov, Tschechien). Es handelt sich dabei um marine Sedimente des kontinentalen Abhangs und Sockels, bestehend aus einer breiten Palette von unterschiedlichen Silikat- und Karbonatmineralen (Tonschiefer, Tonmergelstein, Mergel, Mergelstein, Mergelkalk, Kalk, Dolomit, Quarzsandstein, Kalksandstein, Brekzien, Konglomerat mit Großblöcken, Schiefer und Kalkschiefer). Diese wurden im Zuge der Alpenüberschiebung auf die Vorlandmolasse aufgeschoben (vgl. OBERHAUSER et al., 2007, SCHNABEL et al., 2002, KRENMAYR et al., 2006).

Der Großteil der genannten Sedimentgesteine ist schlecht wasserleitend, es sind daher nur lokal bedeutsame Grundwasservorkommen zu erwarten. Eine Ausnahme bildet das Gottesackermassiv in Vorarlberg, wo ein ergiebiger Karstaquifer auftritt.

Insbesondere in Gesteinsformationen mit hohem Karbonatanteil besitzen die Grundwässer entsprechend höhere Lösungsinhalte und leicht basischen pH-Wert.

5.9 PENNINIKUM DER ZENTRALZONE (GEOKLASSEN K01 UND K03) — (IN DIVERSEN GEOLOGISCH-TEKTONISCHEN FENSTERN DER SCHWEIZ UND ÖSTERREICH, VORWIEGEND CA. 200-66 MIO JAHRE)

Die in den genannten Geoklassen zusammengefassten Gesteine stammen vom Boden des Penninischen Ozeans. Dieser befand sich zwischen dem ehemaligen europäischen Festland, wie der Böhmisches Masse im Norden und dem vormals zu Afrika gehörenden Ostalpin im Süden. Sein Gesteinsbestand wurde später vom Ostalpin überschoben und metamorph überprägt. Die Gesteine des Penninikums der Zentralzone bilden heute eine Suture zwischen dem darunter liegenden ehemaligen europäischen Festland (= Subpenninikum; siehe Kapitel 5.10) und dem darüber befindlichen Ostalpin. Sie treten insbesondere in der Arosazone (Schweiz, Vorarlberg, Tirol), im Gargellenfenster (Vorarlberg), im Unterengadiner Fenster (Schweiz, Tirol), im Tauernfenster (Kärnten, Salzburg, Tirol, Südtirol) und im Rechnitzer Fenster (Burgenland) hervor. Dabei handelt es sich um Metavulkanite und Serpentinite der ozeanischen Kruste sowie um darauf abgelagerte jurassische bis paläogene Metasedimente wie Kalkglimmerschiefer, Phyllite und Schwarzphyllite. Im Bereich der Klammkalkzone in Salzburg sind auch Kalkmarmore häufig (vgl. WEBER, [Hrsg.], 1997, Schuster et al., 2015). Zu dieser geologischen Einheit zählt auch der höchste Berg Österreichs, der Großglockner.

Während es sich bei den Metavulkaniten vorwiegend um Grünschiefer handelt (sie bestehen zumeist aus Chlorid, Epidot, Hornblende und Albit), auch die Serpentinite vorwiegend aus Silikaten (Serpentinminerale) bestehen und Karbonat nur akzessorisch auftritt, enthalten die Metasedimente oft einen höheren Karbonatanteil. Kalkglimmerschiefer sind häufig sogar verkarstet. Die Gesamtlösungsinhalte sind daher sehr unterschiedlich. In Hinblick auf die Spurenelemente im Grundwasser sind diese auf die zahlreichen sulfidischen Erzvorkommen zurückzuführen. Die bekannteste schichtgebundene Kieslagerstätte im Tauernfenster für die seinerzeitige Gewinnung von Kupfererz ist wohl jene in Hüttschlag bei Großarl in Salzburg mit vor allem Pyrit, Kupferkies, Magnetkies und daneben auch Fahlerz, Arsenopyrit u.A. (WEBER, [Hrsg.], 1997).

Im Verbreitungsgebiet der gegenständlichen Gesteine liegen zahlreiche kleinere Quellen von zentralen Wasserversorgungsanlagen (der Konsens beträgt zumeist wenige l/s). Dabei kommen viele der Quellen im Bereich von Massenbewegungen zu liegen. Stark schüttende Karstquellen bilden eine Ausnahme (z. B. Wölflerquelle bei Fusch an der Glocknerstraße).

5.10 SUBPENNINIKUM (EXKLUSIVE POSTVARISZISCHER BEDECKUNG) (GEOKLASSEN L02 UND L05) (ZENTRALE TEILE DES TAUERNFENSTERS WIE Z. B. GROSSVENEDIGER ODER SONNBLICK; > 300 MIO JAHRE)

Die gegenständlichen Geoklassen umfassen die Zentralgneise des Tauernfensters (alpidisch metamorphe Granite) und ihr „altes Dach“, also jene Gesteine, in die diese Granite in variszischer Zeit intrudierten. Letztere bestehen aus der Habach-Gruppe mit deren Phylliten, Schwarzphylliten, Glimmerschiefern und Metavulkaniten sowie dem sogenannten „Altkristallin des Tauernfensters“ mit vorwiegend Ortho- und Paragneisen, Migmatiten, Glimmerschiefern, Amphiboliten. (vgl. WEBER [Hrsg.], 1997 und SCHUSTER et al., 2015). Die Gesteine des Perms und Mesozoikums des Subpenninikums (= postvariszische Bedeckung) werden in der vorliegenden Arbeit in die im Kapitel 5.4 dargestellten geologischen Klassen integriert.

Bei den genannten Gesteinen handelt es sich durchwegs um aluminiumreiche Silikatgesteine mit unterschiedlicher Verteilung der Alkali-(K, Na) und Erdalkalielemente (Ca, Mg), daher ist hier im Grundwasser grundsätzlich eine geringe Gesamtmineralisation zu erwarten. Bezüglich Spurenelemente im Grundwasser können sulfidischen Vererzungen von Bedeutung sein. In WEBER [Hrsg.] (1997) werden im Verbreitungsgebiet dieser Gesteine vor allem Arsen-, Blei-, Gold-, Kupfer-, Pyrit- und Wolfram-Mineralisationen ersichtlich gemacht (z. B. Wolframbergbau im Felbertal, Salzburg oder ehemaliger Goldbergbau im Raum Rauris-Badgastein oder im Raum Schellgaden bei St. Michel im Lungau, ebenfalls Salzburg).

Im Verbreitungsgebiet der Gesteine des Subpenninikums befinden sich zahlreiche kleinere Quellen von zentralen Wasserversorgungsanlagen. Viele von diesen befinden sich im Bereich von Massenbewegungen (z.B. zwischen Krimml und Mittersill, in Bad Gastein, alles Salzburg, und Mallnitz, Kärnten).

5.11 TERTIÄRE MAGMATITE (GEOKLASSEN M01 UND M04) (Z. B. RIESERFERNER PLUTON /OSTTIROL, 23-34 MIO. JAHRE) UND VULKANITE IM STEIRISCHEN BECKEN (CA. 3-12 MIO. JAHRE)

Die tertiären magmatischen Tiefengesteine bestehen zum einen aus den im Oligozän (23-34 Mio. Jahre) intrudierten Tonaliten im Umfeld des Periadriatischen Lineaments, der größten Störungszone der Alpen von Turin bis in die Ungarische Tiefebene (z. B. Pustertal, Gailtal) und zum anderen aus jenen geologisch sehr jungen Vulkaniten (ca. 15 bis 2 Mio. Jahre), die vor allem im Steirischen, aber auch in anderen inneralpinen Becken aufgestiegen sind. Tonalite bestehen hauptsächlich aus Quarz, aluminiumreichen Silikatmineralisationen wie Plagioklas-Feldspäten und dunklen eisenreichen Silikatmineralien wie Biotit oder Hornblende. Bei den Vulkaniten des Steirischen Beckens kann in Latite, Basanite und Basalttuffe mit

variierender Zusammensetzung von vor allem Feldspatvariationen (Nephelin), Pyroxen, Olivin, Amphibol, Glimmer, Calcit, Magnetit, Ilmenit...) unterschieden werden (vgl. SCHÖNLAUB [Hrsg.], 2000 und KRÖLL et al., 1988).

Die tertiären Magmatite sind aufgrund ihrer geringen Verbreitung nur lokal von wasserwirtschaftlicher Bedeutung. Im Umfeld der Vulkanite bzw. der Störungen, an die sie gebunden sind, kommt es noch heute zu CO₂-Aufstiegen, was im Grundwasser zu einem niedrigeren pH-Wert und zu erhöhten Lösungsinhalten führen kann. Auch Spurenelemente wie Arsen können dann in erhöhter Konzentration auftreten. Im Verbreitungsgebiet der magmatischen Tonalitgesteine sind hingegen geringe Lösungsinhalte, verbunden mit einem geringen pH-Wert, zu erwarten.



Abbildung 6: Maltawasserfall, Kärnten

6 BEGRIFF HINTERGRUNDWERT

(H. BRIELMANN)

DER IN DER EU-GRUNDWASSERRICHTLINIE definierte Begriff „Hintergrundwert“ wurde in §3 Z 4 der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW, BGBl. II Nr. 98/2010) unverändert übernommen:

Hintergrundwert ist die Konzentration eines Stoffes oder der Wert eines Indikators in einem Grundwasserkörper, der keinen oder nur sehr geringen anthropogenen Veränderungen gegenüber einem Zustand ohne störende Einflüsse entspricht.

Was ist also unter dem „Hintergrundwert“ der Grundwasserbeschaffenheit im Sinne der oben zitierten Definition zu verstehen? Was ist unter „keinen oder nur sehr geringen anthropogenen Veränderungen“ zu verstehen?

Nicht immer wird ein anthropogener Einfluss von der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit vollständig zu trennen und zu quantifizieren sein. Beispielhaft genannt seien hier der flächendeckende Eintrag von Stoffen über den Luft- oder Bodenpfad (z.B. Stickstoff, Quecksilber) sowie Sekundärreaktionen in komplexen hydrogeochemischen Systemen. So kann beispielsweise eine anthropogene Stickstoffdüngung die Entstehung von Salpetersäure bewirken, in deren Folge (geogenes) Magnesium aus Tonmineralen freigesetzt wird (KÖLLE 2017). Ferner kann der durch anthropogenen Eintrag von Nitrat ausgelöste Prozess der Denitrifikation in pyrithaltigen Grundwasserleitern zu einem gleichzeitigen Anstieg der geogenen Sulfatkonzentrationen führen. Auch Grundwasserentnahmen können theoretisch das Fließregime verändern und das Einsickern oder Aufsteigen von Grundwässern aus angrenzenden geologischen Strukturen mit unterschiedlichen hydrochemischen Signaturen bewirken.

WALTER et al. (2015) definieren in Anlehnung an KUNKEL et al. (2004) den Hintergrundwert als die „Obergrenze der Konzentrationen“ [...], „die im Grundwasser der jeweils untersuchten hydrogeochemischen Einheit unter dem Einfluss der natürlichen Einwirkungen entsteht, wobei ubiquitäre anthropogene Einflüsse in einem dicht besiedelten Land [...] von diesen natürlichen Einwirkungen nicht mehr abgetrennt werden können.“ Für eine statistisch aussagekräftige Angabe über diese natürlichen, ubiquitär bzw. überall verbreiteten und überprägten Hintergrundwerte sollen kleinräumige Anomalien anthropogener, aber auch geogener Natur aus den jeweiligen Datensätzen entfernt werden (KUNKEL et al. 2004, BLA-GEO & LAWA 2015).

Das Ergebnis der Bestimmung des Hintergrunds der Grundwasserbeschaffenheit hängt somit maßgeblich von zwei Faktoren ab:

Entscheidenden Einfluss auf die Hintergrundwerte haben der zugrundeliegende Datensatz und der Zeitraum (anthropogener Beeinflussungen), den dieser Datensatz abbildet. In Anhang II, Teil A der Grundwasserrichtlinie ist festgelegt, dass für die Charakterisierung der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit auf Datensätze der Grundwasserüberwachung zurückzugreifen ist. Diese stammen überwiegend aus den letzten zwei bis drei Jahrzehnten der Erhebung der Wassergüte in Österreich nach der GZÜV (ab 2007) bzw. der WGEV (Wassergüte-Erhebungsverordnung bis 2006).

Ferner werden die ermittelten Hintergrundwerte von der gewählten Methode bestimmt und deren Fähigkeit Art und Größenordnung anthropogener Einträge ins Grundwasser sowie Art und Größenordnung anthropogen ausgelöster Sekundärreaktionen zu identifizieren und vor allem zu quantifizieren. Zur Ermittlung von Hintergrundwerten steht es den Mitgliedstaaten frei, je nach vorhandenen Studien und

konzeptionellen Modellen ihren eigenen Ansatz zu wählen (CIS Leitfaden Nr. 18, Europäische Kommission 2009).

Im vorliegenden Bericht werden die Begriffe „Hintergrundwert“, „natürlicher Hintergrundwert“ und „geogener Hintergrundwert“ im Sinne der eingangs angeführten Definition der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW, BGBl. II Nr. 98/2010) verwendet.

6.1 FACHLICHE ANSÄTZE ZUR ERMITTLUNG DES HINTERGRUNDS

Es gibt derzeit keine europaweit rechtlich festgelegte, standardisierte Methode zur Ableitung von Hintergrundwerten im Grundwasser. Die Entwicklung einer entsprechenden Methode bleibt den EU-Mitgliedsstaaten überlassen. Allerdings wurde beispielsweise im EU-Forschungsprojekt BRIDGE (Background criteria for the identification of groundwater thresholds, MÜLLER et al. 2006) ein Vorschlag zur Ableitung von Hintergrundwerten in Abhängigkeit vom verfügbaren Daten- und Kenntnisstand erarbeitet. KUNKEL et al. (2004), MÜLLER et al. (2006), SHAND et al. (2007) und PREZIOSI et al. (2014) fassen die möglichen Verfahren zur Ermittlung eines repräsentativen Datensatzes für die Charakterisierung der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit sowie zur Ableitung von Hintergrundwerten zusammen. Diese sind im Folgenden kurz erläutert.

6.1.1 UNTERSUCHUNG VON TIEFENGRUNDWASSER

Tiefengrundwasser wird im Allgemeinen als frei von menschlicher Beeinflussung angesehen, da es „aufgrund einer weiträumigen Überdeckung durch minderdurchlässige Schichten nicht unmittelbar durch Infiltrationen von der Oberfläche alimentiert“ wird (GOLDBRUNNER 1984, 1987). Allerdings ist Tiefengrundwasser aufgrund seiner hohen Aufenthaltsdauer im Gesteinsuntergrund in der Regel durch eine höhere Mineralisierung gekennzeichnet und deshalb als **nicht** repräsentativ für das Grundwasser aus den **oberen** Grundwasserstockwerken anzusehen. Zudem zeigen jüngere Untersuchungen, dass auch Tiefengrundwasser anfällig für anthropogene Beeinträchtigungen sein kann (z.B. JASECHKO et al. 2017). Dies trifft insbesondere dann zu, wenn die Wasser führenden Gesteinsschichten oberflächennah gelegen sind oder aufgrund natürlicher geologischer Prozesse (Tektonik) bis an die Erdoberfläche auskeilen. Aber auch durch unsachgemäße Erschließung dieser Tiefengrundwasserkörper kann es über die ausgebauten technischen Einrichtungen zu Kontaminationen kommen.

Die heimischen Vorkommen von trinkbaren Tiefengrundwässern wurden im Jahr 2015 durch die Geologische Bundesanstalt im Auftrag des BMNT (vormals BMLFUW) charakterisiert (SCHUBERT 2015).

6.1.2 UNTERSUCHUNG VON GRUNDWASSER IN NATURSCHUTZGEBIETEN

Grundwasser in Naturschutzgebieten sollte weitestgehend frei von menschlichen Einflüssen sein, solange auch die jeweiligen Einzugsgebiete der Grundwassermessstellen durch die entsprechenden Schutzgebiete erfasst werden. Eine Beeinflussung durch über den Niederschlag eingetragene anthropogene Stoffe kann allerdings auch dort nicht ausgeschlossen werden.

Da aber Naturschutzgebiete in der Regel nicht repräsentativ über die Grundwasserkörper verteilt sind und darüber hinaus auch die Anzahl an geeigneten Grundwasserbeobachtungen meist eingeschränkt ist, lassen sich über diesen Ansatz die Hintergrundwerte für Österreich nicht flächendeckend seriös ableiten.

6.1.3 HYDROCHEMISCHE MODELLIERUNG VON LÖSUNGSVORGÄNGEN IN GRUNDWASSERLEITERN

Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit lässt sich auch auf der Grundlage geochemischer Modellierungen beschreiben. Dieser Ansatz ist jedoch sehr aufwändig, erfordert eine ausgezeichnete Datenlage und ist daher grundsätzlich am besten in räumlich abgegrenzten, gut beobachteten Projektgebieten bei speziellen Fragestellungen umzusetzen.

6.1.4 PRÄSELEKTION – VORAUSWAHL WEITESTGEHEND UNBEEINFLUSSTER GRUNDWASSERMESSSTELLEN

Bei dieser Vorgehensweise werden anthropogen beeinflusste Grundwassermessstellen mittels geeigneter Indikatoren vom Datensatz zur Beschreibung der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit ausgeschlossen. Bei den Indikatoren handelt es sich um Substanzen, deren Ursprung ausnahmslos auf menschliche Aktivitäten zurückgeführt werden kann, wie z.B. Pestizide, PAKs, Pharmazeutika oder industriell hergestellte synthetische Stoffe. Überschreiten die Messwerte einer Grundwassermessstelle die Schwellenwerte der entsprechenden Leitsubstanzen, werden diese Grundwassermessstellen bei dieser Verfahrensweise von der Charakterisierung der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit ausgeschlossen. Diese erfolgt ausschließlich auf Basis der Datensätze der unbeeinflussten Messstellen.

WAGNER et al. (2014) wenden beispielsweise zur Präselektion bei bekannter anthropogener Belastung in urbanen Bereichen, im Umfeld von Deponien, Altstandorten, Altlasten und Bergbaugebieten Kriterien der Berliner Liste (SENSTADT, 2005) an, welche Schwellenwerte für anorganische Stoffe (z.B. Metalle), organische Stoffe (z.B. PAKs), Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte angibt.

Von KUNKEL et al. (2004) und im EU-Projekt BRIDGE (MÜLLER et al. 2006) wurden darüber hinaus folgende weitere Kriterien für die Vorauswahl von Messstellen vorgeschlagen:

- Ausschluss von Proben deren Ionensummenfehler 10 % übersteigt
- von Proben mit unbekannter Entnahmetiefe
- von Proben aus hydrothermalen Grundwässern
- von Proben mit Salzgehalten > 1000 mg/l NaCl
- von Proben deren Nitratgehalt bei oxischen Verhältnissen > 10 mg/l ist
- von Proben deren Ammoniumgehalt bei anoxischen Verhältnissen > 0,5 mg/l ist,
- von Proben deren Kaliumgehalt 5 mg/l übersteigt
- Auftrennung von Proben aus aeroben bzw. anaeroben Grundwasserleitern auf Basis der Sauerstoffgehalte
- aerob: ≥ 1 mg/l Sauerstoff (O_2), zweiwertiges Eisen (Fe^{2+}) < 0,2 mg/l, zweiwertiges Mangan (Mn^{2+}) < 0,5 mg/l
- anaerob: < 1 mg/l Sauerstoff (O_2), zweiwertiges Eisen (Fe^{2+}) $\geq 0,2$ mg/l, zweiwertiges Mangan (Mn^{2+}) $\geq 0,5$ mg/l
- Umwandlung von Zeitreihen in Mediane, damit alle Messstellen gleichwertig in die Auswertungen einfließen

Abbildung 7: Kriterien zur Vorauswahl von Grundwassermessstellen (KUNKEL et al. 2004, MÜLLER et al. 2006).

Das Verfahren der Präselektion resultiert im Ausschluss der gesamten Probe, mit dem Nachteil, dass damit eine relativ große Datenmenge ausgeschlossen werden muss. Hinzu kommt, dass nicht immer der Zusammenhang zwischen bestimmten Indikatorsubstanzen und anderen Grundwasserbestandteilen klar definiert ist, so dass unter Umständen auch Parameter ausgeschlossen werden, die von der menschlichen Beeinflussung gänzlich unbeeinflusst sind. So bewirkt beispielsweise der Eintrag von anthropogenen Spurenstoffen ins Grundwasser nicht zwangsläufig eine Veränderung der Hauptionenkonzentration im Grundwasser.

6.1.5 KOMPONENTENTRENNUNG

Dieser Methode zur Abtrennung von natürlicher Grundwasserbeschaffenheit und anthropogener Beeinflussung liegt die Feststellung zugrunde, dass die Konzentrationen eines geochemischen Parameters in einer hydrogeochemischen Einheit häufig durch zwei unterschiedliche, statistische Häufigkeitsverteilungen beschrieben werden können und diese Einzelverteilungen mit geeigneten statistischen Verfahren separiert werden können. KUNKEL et al. (2004) zeigten beispielsweise für Grundwasserparameter, dass sich die sogenannte **natürliche bzw. geogene** Komponente der Grundwasserbeschaffenheit, die überwiegend durch die reaktive Wechselwirkung des Grundwassers mit dem durchströmten Gestein geprägt ist, durch eine Lognormalverteilung beschreiben lässt. Hingegen wird für die anthropogene Komponente, die durch die Höhe der Einträge bestimmt wird, eine Normalverteilung erwartet.

Die Überprüfung darauf, ob die Messwerte eines Grundwasserparameters in einer hydrogeochemischen Einheit der Normal- oder Lognormalverteilung folgen bzw. zwei unterschiedliche Grundwasserkomponenten vorliegen, ist beispielsweise mittels Häufigkeitsdiagrammen oder im Wahrscheinlichkeitsnetz (WAGNER et al. 2014) möglich. Entsprechende Methoden finden sowohl in der Ableitung chemischer Hintergrundwerte für Böden, für atmosphärische Einträge als auch in der Explorationsgeochemie zum Aufspüren geologischer Anomalien breite Anwendung.

Die Methode erlaubt das Einbeziehen aller vorhandenen Datenpunkte, setzt jedoch fundierte statistische Kenntnisse voraus.

Die Methode der Komponententrennung kommt im vorliegenden Projekt zur Anwendung, um den Hintergrund der Grundwasserbeschaffenheit zu bestimmen und wird in Kapitel 9.4 detailliert erläutert.



Abbildung 8: Karstquelle im Freilichtmuseum Winden (Wander Bertoni)

7 ERHEBUNG VON BEEINFLUSSUNGEN

(C. SCHATNER, I. ZIERITZ, F. HUMER)

7.1 VORGEHENSWEISE

UM DEN ANTHROPOGENEN EINFLUSS auf die charakteristische Grundwasserbeschaffenheit und deren regionaltypischen Chemismus bestmöglich abgrenzen zu können, werden für jede einzelne Messstelle mögliche Belastungs- oder Einflussfaktoren erhoben. Ziel ist es, gering- bzw. nichtbelastete Regionen abzugrenzen, die in der anschließenden Datenanalyse verifiziert werden und gegebenenfalls bei Nachverdichtungsbedarf bevorzugt berücksichtigt werden.

Durch eine genaue Differenzierung der Einflussfaktoren und das kausale Verbinden mit dem jeweiligen Parameter können einzelne Substanzgruppen in der anschließenden Datenanalyse unabhängig voneinander berücksichtigt werden. Somit können möglicherweise anthropogen beeinflusste Grundwassermessstellen parameterspezifisch verworfen werden.

Zur Veranschaulichung wird folgendes Beispiel angeführt: Wird eine Messstelle für die Berechnung des Hintergrundwerts für Chrom ausgeschieden, weil sie von einer Altlast beeinflusst wird, so kann sie für die Berechnung des Hintergrundwerts für einen anderen Parameter durchaus herangezogen werden.

Für die Analyse konnten Daten aus verschiedenen Quellen herangezogen werden: Aus der H₂O-Fachdatenbank des Umweltbundesamtes wurden die Stammdateneinträge zu den unterschiedlichen Beeinflussungen der Messstelle herangezogen und mit GIS-Auswertungen von verschiedenen Themenkarten ergänzt. In der H₂O-Fachdatenbank werden Qualitäts- sowie auch Stammdaten der Messstellen, die der Gewässerzustandsüberwachung in Österreich gemäß Wasserrechtsgesetz 1959 i.d.G.F. dienen, verwaltet. Es stehen für 2.819 Messstellen Stammdaten zur Verfügung, da man auch auf die Stammdaten von bereits aufgelassenen Messstellen zurückgreifen kann. Das Messnetz der Gewässerzustandsüberwachung umfasst aktuell rund 2.000 Messstellen. Für die Auswertungen der anthropogenen Einflüsse auf die Messstellen waren jene Stammdateneinträge relevant, die eine Beeinflussung der Messstelle durch unterschiedliche Faktoren angeben.

Um die anthropogene Beeinflussung einer Messstelle festzustellen, wurde des Weiteren deren Lageinformationen mit der CORINE Land Cover Karte verschnitten. Im Rahmen des EU-weiten CORINE-Programmes werden digitale Bilder von Satelliten einheitlich erfasst und ausgewertet. Anhand dieser Daten werden die Landbedeckung und die Flächennutzung in 44 unterschiedliche Klassen kategorisiert ([Umweltbundesamt > CORINE Land Cover](#)). Die für die Auswertung benötigten Kategorien (vgl. Tabelle 1) können je nach Relevanz in einem 100 m- oder 500 m-Radius in die Bewertung aufgenommen werden.

Zusätzlich konnte auf Daten aus dem Straßennetz der ASFINAG (Autobahnen und Schnellstraßen) und des NAVTEC-Datensatzes (Bundesstraßen und Eisenbahnnetz) zurückgegriffen werden, um etwa die Beeinflussung durch Verkehrswege zu beurteilen. Für die Beeinflussung durch Altablagerungen wurde die Lage der Messstellen mit den Daten des Altlastenatlas verschnitten. Im Altlastenatlas werden Altablagerungen und Altstandorte, die als Verdachtsflächen gemeldet wurden und bei denen durch Untersuchungen nachgewiesen wurde, dass von ihnen eine erhebliche Gefahr für die Gesundheit des Menschen oder die Umwelt ausgeht, eingetragen ([Umweltbundesamt > Altlastenatlas](#)). Für die Bewertung der Messstelle flossen jene Altlasten mit ein, die sich in einem 100 m Radius um den Entnahmepunkt befinden.

Darüber hinaus wurden auch die Daten des Berichtsgewässernetzes des Bundes und die Daten zum Nitratrückhaltevermögen der österreichischen Bodenkartierung ausgewertet und analysiert.

Um die Vielzahl der Einflussfaktoren aus den unterschiedlichen Datenquellen überschaubar zu machen, wurden sie in 14 Kategorien zusammengefasst (vgl. Tabelle 1).

TABELLE 1: EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE MESSTELLEN

Einflussfaktor	Einfließende Datensätze	Inhalt
Industrie/Gewerbe	H ₂ O Fachdatenbank ¹	„Beeinflussung durch Industrie/Gewerbe“
	Corine ²	Industrie/Gewerbeflächen (100 m und 500 m Radius)
Altablagerungen	H ₂ O Fachdatenbank ¹	„Beeinflussung durch Industrie/Gewerbe“
	Altlastenatlas ³	Altlastenstandorte aus dem Altlastenatlas in höchstens 100 m Entfernung
Deponien	H ₂ O Fachdatenbank ¹	„Beeinflussung durch Deponien“
	Corine ²	Deponien, Abraummhalden im 500 m Radius
Verkehrswege	H ₂ O Fachdatenbank ¹	„Beeinflussung durch Verkehrswege“
	Straßennetz ⁴	nächstgelegene Autobahn in höchstens 100 m Entfernung
	Straßennetz ⁵	nächstgelegene Bundesstraße in höchstens 100 m Entfernung
	Eisenbahnnetz ⁵	nächstgelegene Eisenbahnstrecke in höchstens 100 m Entfernung
	Corine ²	Straßen/Eisenbahnnetze, funktionell zugeordnete Flächen im 100m und 500 m Radius
Klär-, Versickerungsanlagen	H ₂ O Fachdatenbank ¹	„Beeinflussung durch Klär-, Versickerungsanlagen“
Erdöl-, Gasgewinnungsanlagen	H ₂ O Fachdatenbank ¹	„Beeinflussung durch Erdöl-, Gasgewinnungsanlagen“
Landwirtschaft	H ₂ O Fachdatenbank ¹	„Beeinflussung durch Landwirtschaft“
	Corine ²	Nicht bewässertes Ackerland, Weinbauflächen, Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Vegetation von sign. Größe, komplexe Parzellenstruktur, 100m und 500 m Radius
	Nitratrückhaltevermögen basierend auf der Österreichischen Bodenkartierung ⁶	Landwirtschaftliche Böden: Nitratrückhaltevermögen sehr gering, gering, mittel bis hoch, nicht kartiert
geschlossene Siedlungsgebiete	H ₂ O Fachdatenbank ¹	„Beeinflussung durch geschlossene Siedlungsgebiete“
	Corine ²	Durchgängig und nicht durchgängig städtische Prägung, Städtische Grünflächen, Sport- und Freizeitanlagen, 100 m und 500 m Radius
	Nitratrückhaltevermögen basierend auf der Österreichischen Bodenkartierung ⁶	Siedlung
Sonstige Beeinflussung d. Mst. aus Umgebung	H ₂ O Fachdatenbank ¹	„Sonstige Beeinflussung d. Mst aus Umgebung“ und „Beeinflussung durch Wildtierhaltung“
	Corine ²	Wiesen und Weiden, 100 m und 500 m Radius
Gewässer	Gewässernetz ⁷	nächstgelegenen Fließgewässer (Fluss) in höchstens 100 m Entfernung
Weidtierhaltung	H ₂ O Fachdatenbank ¹	„Beeinflussung durch Weidetierhaltung“ und „Beeinflussung durch Wildtierhaltung“
	Corine ²	Wiesen und Weiden, 100 m und 500 m Radius
(Flug-)Häfen	Corine ²	Flughäfen, 100 m und 500 m Radius, Hafengebiete, 500 m Radius
Wälder und naturnahe Flächen	Corine ²	Laubwälder, Nadelwälder, Mischwälder, natürliches Grünland, Heiden und

Einflussfaktor	Einfließende Datensätze	Inhalt
		Moorheiden, Wald/Strauch Übergangsstadien, Felsflächen ohne Vegetation, Flächen mit spärlicher Vegetation, 100 m und 500 m Radius
	Nitratrückhaltevermögen basierend auf der Österreichischen Bodenkartierung ⁶	Teil-Wald, Wald
Feuchtfächen	Corine ²	Sümpfe, Torfmoore, 100 m und 500 m Radius

¹ Datenquelle: Erhebung der Wassergüte in Österreich gemäß Hydrographiegesetz i.d.g.F. des BGBl. Nr. 252/90 (gültig bis Dezember 2006) bzw. Gewässerzustandsüberwachung in Österreich gemäß Wasserrechtsgesetz 1959 i.d.g.F.; BMLFUW, Sektion VII/

Abteilung 1 Nationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen, Abfrage vom 25.04.2016

² Verschneidung mit den Karten "Corine 2000" und "Corine 2012": Computergestützte Satellitenbildinterpretation (IMAGE 2012= SPOT, IRS) der Bodenbedeckung/Landnutzung anhand der CORINE Nomenklatur, Mindesterschließungsgröße 25 ha; Europäisches COPERNICUS-Projekt (früher GMES) koordiniert von der europäischen Umweltagentur in 31 europäischen Ländern, Quelle: Umweltbundesamt

³ Altlastenstandorte aus dem Altlastenatlas des Bundes zur Erfüllung des Altlastensanierungsgesetzes mit spezieller Klassifikation. Der Datensatz stellt Bereiche dar, die eine erhebliche Gefahr für Mensch und Umwelt bedeuten, Quelle: Altlastenatlas, BMLFUW, Ämter der Landesregierungen

⁴ Straßennetz ASFINAG; Straßengraph der Autobahnen, Schnellstraßen und Rampen im Verantwortungsbereich der ASFINAG, Quelle: ASFINAG

⁵ Navtec Straßendaten, Quelle: GDI-L_GDS\Basisdaten\Verkehrsnetz_liz_GENEHMIGUNG\Navtec\2007

⁶ Nitratrückhaltevermögen von über dem Grundwasserkörper liegenden Böden, basierend auf der Österreichischen Bodenkartierung, Quelle: Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen (IKT)

⁷ Fließgewässer (Flüsse), Quelle: Berichtsgewässernetz des Bundes (BMLFUW, Umweltbundesamt GmbH, Landes-GIS)

7.2 KARTE DER GERINGBELASTETEN GEBIETE

Ausgehend von den oben angeführten Erhebungen der Belastungs- und Einflussfaktoren wurden diese kartografisch dargestellt. Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über jene Regionen, die als gering belastet eingestuft werden können.

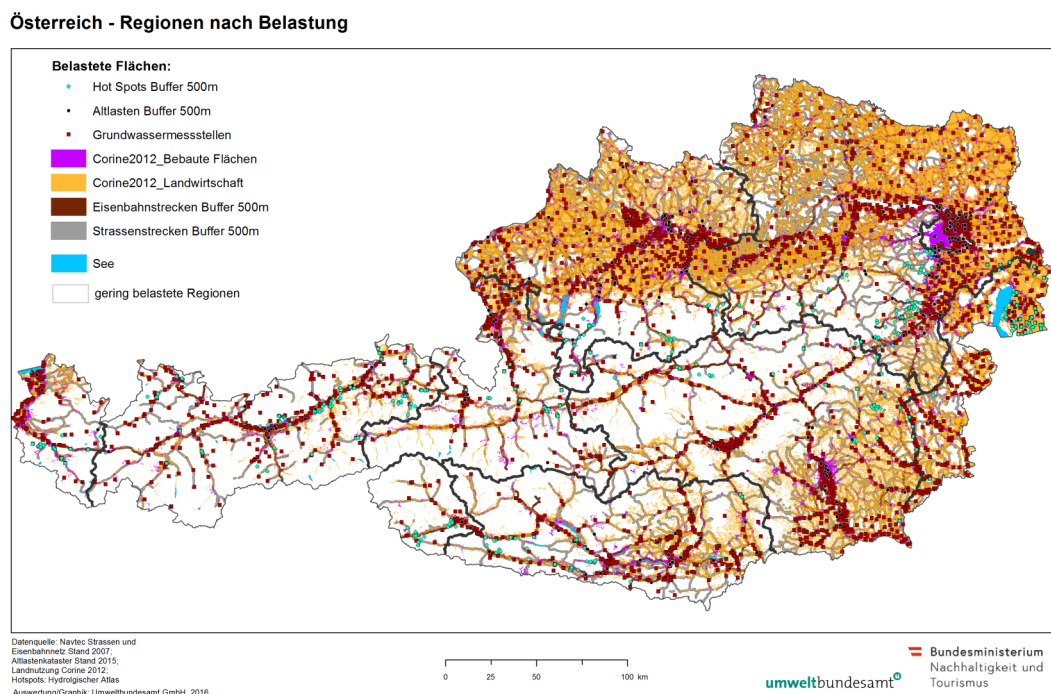


Abbildung 9: Karte mit Regionen nach Belastung und nicht belasteten Regionen.

Wie zu erwarten liegen die gering belasteten Regionen hauptsächlich in den bewaldeten oder durch natürliches Grünland dominierten Gebieten der Nördlichen und Südlichen Kalkalpen. Währenddessen muss mit teilweise flächendeckenden Beeinflussungen in den dicht besiedelten Bereichen oder stark

landwirtschaftlich genutzten Bereichen in den nördlichen, östlichen und südöstlichen Gebieten Österreichs gerechnet werden.



Abbildung 10: Bodinggraben, Oberösterreich

8 ABGRENZUNG DER GEOLOGISCHEN KLASSEN

(PH. LEGERER, G. SCHUBERT)

IN DER VORLIEGENDEN STUDIE basiert die Ermittlung der geogenen Hintergrundwerte für die im Grundwasser gelösten natürlichen Stoffe nicht – wie in der Vorgängerstudie HOBIGER et al. 2004 – auf der statistischen Auswertung der Grundwassermessstellen eines Grundwasserkörpers bzw. einer Gruppe von Grundwasserkörpern, sondern auf der Analyse der Messstellen innerhalb einer geologischen Einheit. Dieser Ansatz wurde deswegen gewählt, da innerhalb eines Grundwasserkörpers oftmals verschiedene geologische Einheiten mit unterschiedlichen geochemischen Eigenschaften auftreten (Beispiel siehe Abbildung 11) und da sich geologische Einheiten oftmals über mehrere Grundwasserkörper erstrecken (vgl. Abbildung 12).

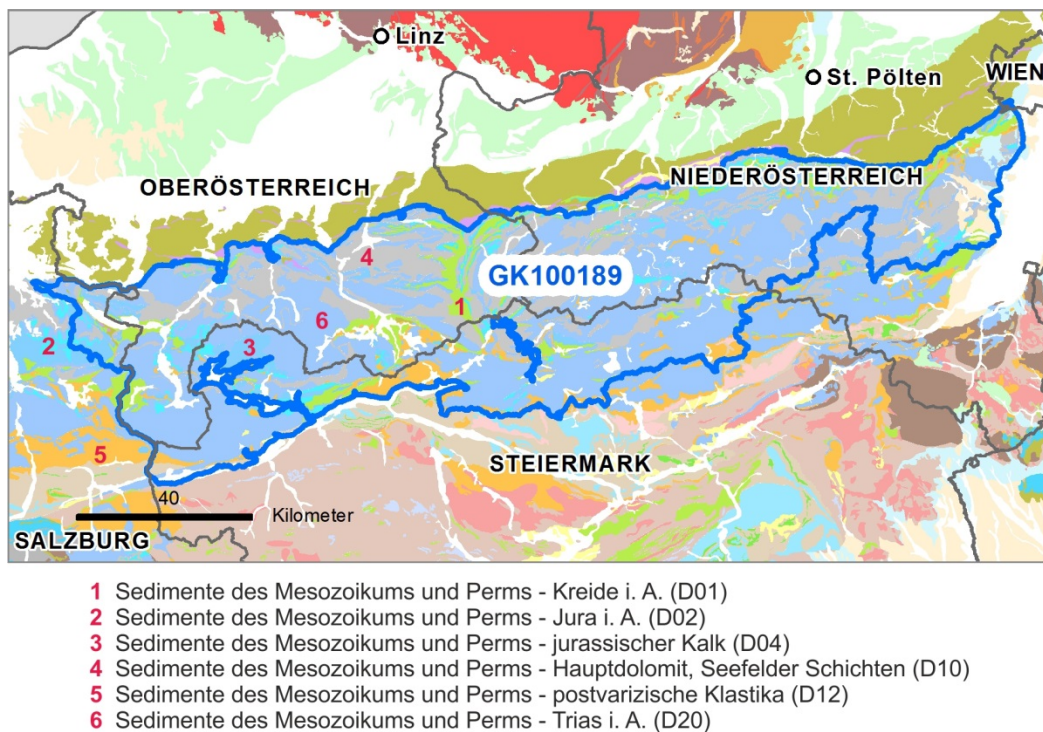


Abbildung 11: Innerhalb eines Grundwasserkörpers oder einer Gruppe von Grundwasserkörpern treten oftmals verschiedene geologische Einheiten mit unterschiedlichen geochemischen Eigenschaften auf. Das Bild zeigt als Beispiel blau umrissen den Grundwasserkörper GK100189 – Nördliche Kalkalpen [DUJ], der verschiedene geologische Einheiten umfasst, wie der Legende zu entnehmen ist (diese beschränkt sich auf die kalkalpinen Schichtglieder; in Klammer ist die geologische Klasse angegeben).



Abbildung 12: Geologische Einheiten treten oftmals nicht nur in einem Grundwasserkörper (oder in einer Gruppe von Grundwasserkörpern) auf, sondern erstrecken sich häufig über mehrere Grundwasserkörper. Ein anschauliches Beispiel dafür liefert der Hauptdolomit (im Bild grau ausgeschieden), der in sämtlichen Grundwasserkörpern der Nördlichen Kalkalpen weit verbreitet ist, sowie auch in vielen Grundwasserkörpern der Zentralzone auftritt.

Der nun gewählte Ansatz bietet folgende Vorteile:

Da die Ermittlung des geogenen Hintergrundwertes auf geochemisch einheitlich beschaffenen Klassen beruht, ist in Analogie zu den Ergebnissen von z. B. VON BOSSEW et al. 2008 zu erwarten, dass sich für die einzelnen Klassen signifikantere Werte ergeben, als dies beim Vorgängerprojekt der Fall war. Die Aussagekraft wird dadurch verbessert.

Da sich die diversen geologischen Einheiten über mehrere Grundwasserkörper erstrecken, können bei der Ermittlung des geogenen Hintergrundwertes Messstellen von mehreren Grundwasserkörpern gemeinsam ausgewertet werden, was die Statistik verbessert (höhere Anzahl von Analysen pro Klasse).

8.1 VORGEHENSWEISE

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der geologischen Klassen lässt sich grob in die beiden folgenden Schritte unterteilen:

In einem ersten Schritt wurden die Einzugsgebiete aller verwendeten Messstellen geologisch bewertet und darauf aufbauend geologische Klassen zugeteilt.

In einem zweiten Schritt wurde die räumliche Verbreitung der verwendeten geologischen Klassen in einer eigens für das Vorhaben kompilierten geologischen Übersichtskarte im Maßstab 1: 500.000 visualisiert. Bei dieser Karte lag das Hauptaugenmerk auf der Darstellung der Lithologie bzw. Petrographie, also auf der Visualisierung von geochemisch einheitlich beschaffenen Einheiten.

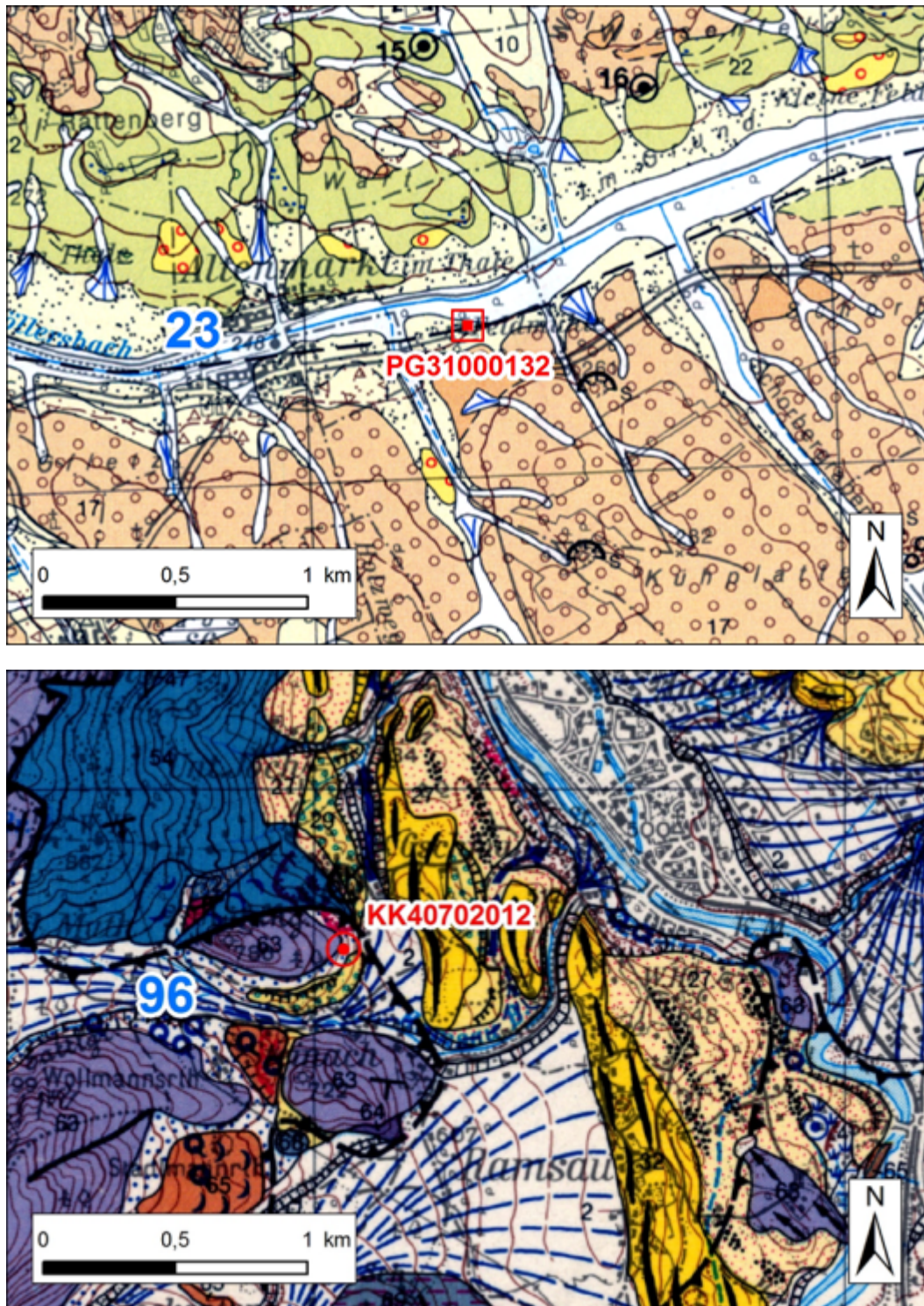


Abbildung 13: Beispiele für zwei von 2.761 erstellten geologischen Lagepläne zu den GZÜV-Messstellen; oben ist eine Grundwassermessstelle, unten eine Quellmessstelle dargestellt. Die wesentlichen Schichtglieder des Einzugsgebietes werden in der Geodatabase „Bewertung_GZUeV_Mst.mdb“ aufgezählt (LEGERER et al. 2016).

Aufbauend auf der Bewertung der Einzugsgebiete der Messstellen in der Datenbank wurden die Messstellen geologischen Klassen zugeordnet. Bei der Bildung dieser Klassen wurde zum einen in typische Gesteins-Grundarten unterschieden, da sich diese geochemische klar voneinander unterscheiden (z.B. basische Metavulkanite, saure Orthogneise, Paragneise/Glimmerschiefer/Phyllite, Marmore etc.). Zum anderen wurden bei gewissen Schichtgliedern ihre zu erwartenden geochemischen Besonderheiten berücksichtigt und für diese dann eigene Klassen gebildet; dies betrifft zum Beispiel die Karbonate der Grauwackenzone oder

des ostalpinen Kristallins, in denen unterschiedliche Vererzungen auftreten. Auf diese Besonderheiten wird bei der Einzelbeschreibung der 52 geologischen Klassen eingegangen. Bei den quartären Lockersedimenten wurde vor allem ihr Einzugsgebiet ins Treffen geführt. So wurden beispielsweise quartäre Lockersedimente, die stark karbonatbetonte Einzugsgebiete in derselben geologischen Einheit besitzen, zu einer Klasse zusammengefasst.

Bei der Festlegung der Detailliertheit dieser Klassen war generell folgendes zu beachten:

die räumlich unterschiedliche Verfügbarkeit von großmaßstäbigen geologischen Karten,

die im Bearbeitungsmaßstab 1 : 500.000 notwendige Generalisierung (die Klassen mussten in der Folge auch auf einer Übersichtskarte im Maßstab 1 : 500.000 darstellbar sein; siehe unten),

die Häufung von GZÜV-Messstellen in den Tallagen (für die Ermittlung der geogenen Hintergrundwerte werden vor allem solche herangezogen) und

dass eine Differenzierung in detaillierte Klassen zwar die Signifikanz geogener Hintergrundwerte erhöht, dass sie aber gleichzeitig die Anzahl der für die statistische Auswertung zur Verfügung stehenden Messstellen erniedrigt.

Für einige Klassen standen zu wenige GZÜV-Messstellen zur Verfügung, um daraus geogene Hintergrundwerte ableiten zu können. Hier fand eine Nachverdichtung in Form einer Erhebung weiterer hydrochemischer Analysen aus anderen Informationsquellen statt. Das Umweltbundesamt führte eine Recherche bei den Ämtern der Landesregierungen durch, wobei die Geologische Bundesanstalt bei der Bewertung des Einzugsgebiets mitwirkte. Die Geologische Bundesanstalt schrieb zudem 111 ausgewählte Wasserversorger an und ersuchte diese um die Übermittlung von Trinkwasseranalysen. Die Auswahl erfolgte auf Basis der an der Geologischen Bundesanstalt aufliegenden Wasserentnahmedatenbank (BERKA et al. 2014). Die angeschriebenen Wasserversorger lieferten zu 44 Messstellen 222 Trinkwasseranalysen, die ebenfalls in die Auswertungen miteinfließen.

Aufgrund der manchmal dünnen Datenlage war es mitunter auch notwendig, gröbere geologische Klassen mit einem größeren Umfang an geologischen Formationen zu bilden. So wurden z. B. die Ultrabasite des Oberostalpins mit den basischen Vulkaniten der gleichen tektonischen Einheit zusammengefasst, da im Verbreitungsgebiet der Ultrabasite keine ausreichende Anzahl an geeigneten Messstellen vorhanden war. Das Endergebnis der Klassenbildung ist in Tabelle 2 wiedergegeben. Es wird darauf hingewiesen, dass die bei der Beurteilung der Messstellen ebenfalls verwendete geologische Klasse „F01 – Anthropogene Ablagerungen“ ein Ausschlussgrund für die betroffene Messstelle war, d. h., dass diese Messstellen nicht für die Auswertung der geogenen Hintergrundwerte verwendet wurden. In der Karte 1 : 500.000 gelangte diese Klasse ebenfalls nicht zur Darstellung.

Aufbauend auf der Gliederung der Messstellen in geologische Klassen wurde die Verbreitung dieser Klassen in einer geologischen Übersichtskarte im Maßstab 1 : 500.000 dargestellt (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15). Das Hauptaugenmerk dieser Übersichtskarte liegt, wie bereits erwähnt, auf der Darstellung unterschiedlicher Lithologien. Mit der vorliegenden Karte liegt erstmals österreichweit eine einheitliche, detaillierte Darstellung dieser Art vor.

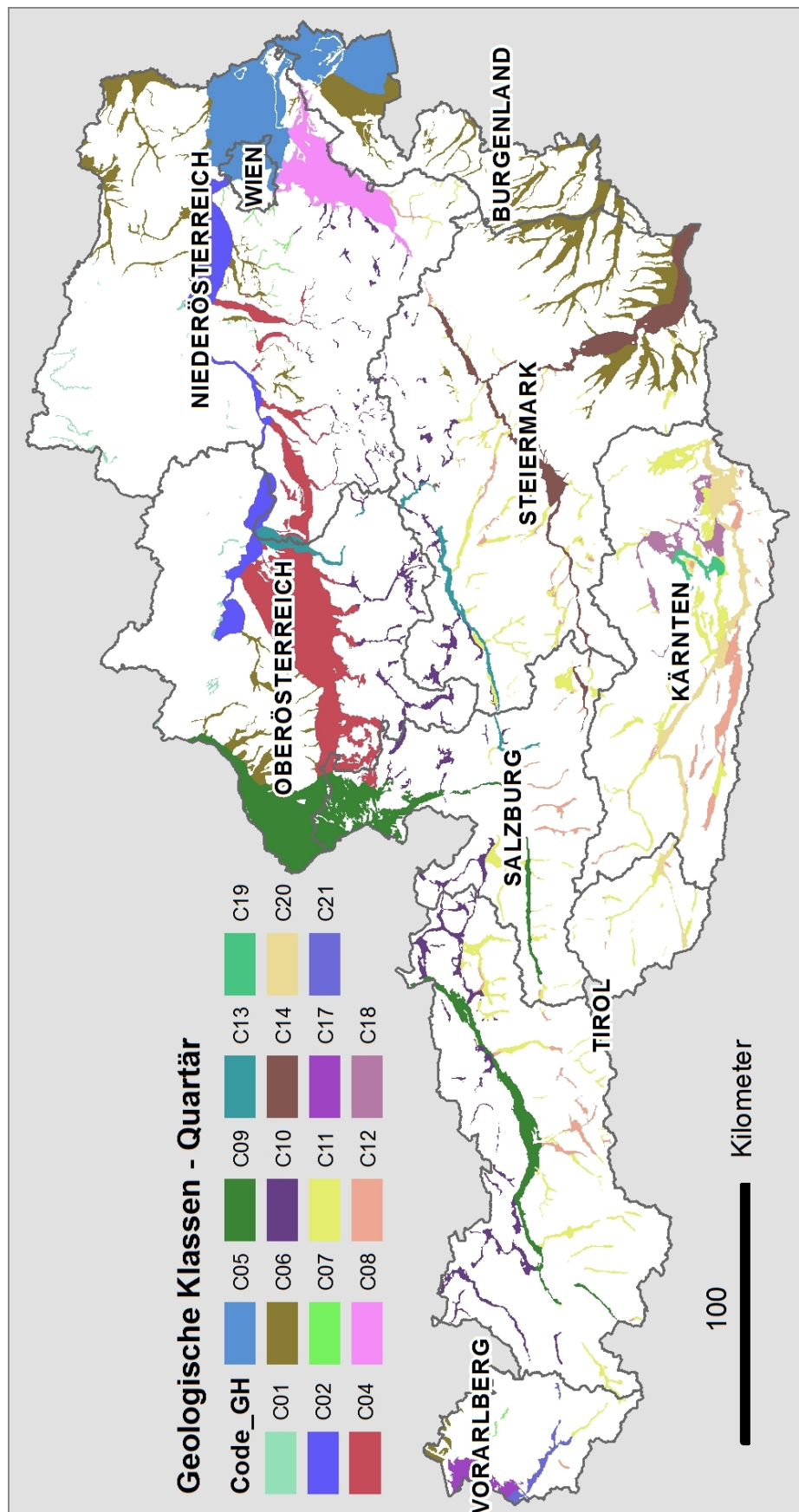


Abbildung 14: Übersicht zu den geologischen Klassen des Quartär; die Namen der Klassen sind in Tabelle 2 aufgelistet.

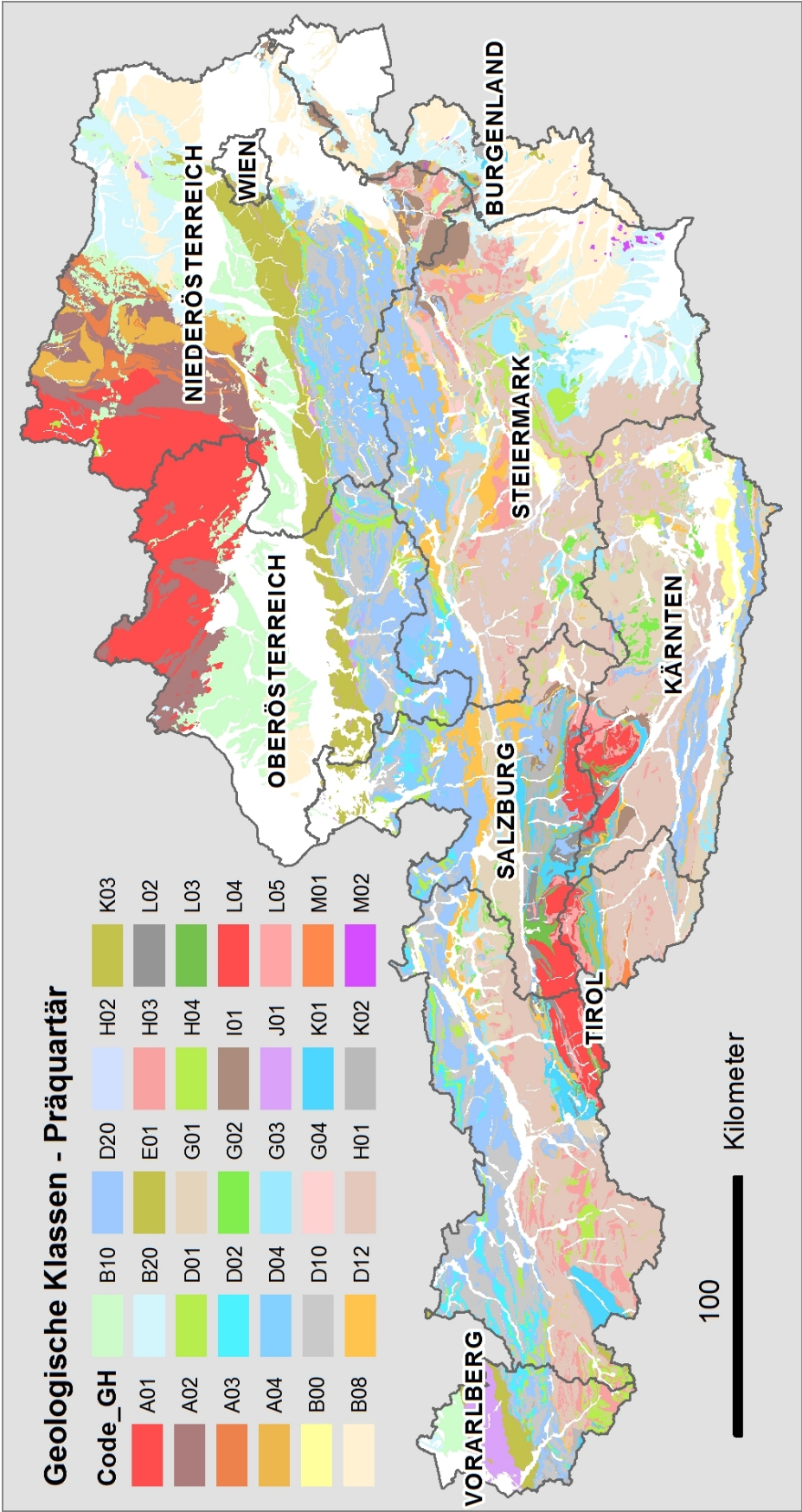


Abbildung 15: Übersicht zu den geologischen Klassen des Präquartärs; die Namen der Klassen sind in Tabelle 2 aufgelistet.

TABELLE 2: GEOLOGISCHE KLASSEN UND IHRE MESSSTELLENANZAHL.

KÜRZEL	ANZAHL MST	BEZEICHNUNG DER GEOLOGISCHEN KLASSE
		KRISTALLIN DER BÖHMISCHEN MASSE
A01	28	- variszische Intrusiva
A02	25	- vorwiegend Paragneis und Amphibolit
A03	5	- Präkambrische Intrusiva
A04	7	- Gföhler Einheit
		TERTIÄRE SEDIMENTE
B00	11	- inneralpines Tertiär, undifferenziert
B08	38	- Pannonium
B10	80	- Danium bis Ottnangium
B20	35	- Karpatium bis Sarmatium
		QUARTÄRE SEDIMENTE
C01	28	- lokale Sedimente auf Böhmischer Masse
C02	180	- Hochterrassen, Niederterrassen und Talflur der Donau, Eferdinger Becken bis Tullnerfeld
C04	218	- karbonatbetonte Sedimente des nördlichen Alpenvorlandes östlich Salzach und Mattig
C05	169	- Hochterrassen, Niederterrassen und Alluvionen des Marchfelds und daran anschließend südlich der Donau
C06	258	- lokale Talfüllungen, Schwemmkegel und Terrassen auf Sedimenten des Neogens
C07	2	- lokale Talfüllungen, Schwemmkegel und Terrassen auf Flyschzone und Helvetikum
C08	74	- fluviatile Sedimente des südlichen Wiener Beckens
C09	232	- Sedimente entlang der Flüsse Inn, Salzach und Mattig
C10	86	- karbonatbetonte Sedimente in den Nördlichen Kalkalpen
C11	153	- kristallinbetonte Sedimente in den Zentralalpen
C12	48	- karbonatbetonte Sedimente in den Zentralalpen
C13	58	- Alluvionen, Schwemmkegel und Terrassen entlang der Enns
C14	221	- Alluvionen, Schwemmkegel und Terrassen entlang der Mürz und Mur
C17	42	- Alluvionen, Schwemmkegel und Terrassen im Rheintal ohne Illschwemmfächer
C18	58	- Alluvionen, Schwemmkegel und Terrassen entlang der Gurk
C19	36	- Alluvionen, Schwemmkegel und Terrassen entlang der Glan
C20	99	- Alluvionen, Schwemmkegel und Terrassen entlang der Drau c und im Jauntal
C21	25	- Alluvionen, Schwemmkegel und Terrassen entlang der Ill und Aflenz ab Kalkalpen
		SEDIMENTE DES MESOZOIKUMS UND PERMS
D01	6	- Kreide i. A.
D02	9	- Jura i. A.
D04	3	- jurassischer Kalk
D10	33	- Hauptdolomit, Seefelder Schichten
D12	7	- postvarizische Klastika
D20	98	- Trias i. A.

ABGRENZUNG DER GEOLOGISCHEN KLASSEN

KÜRZEL	ANZAHL MST	BEZEICHNUNG DER GEOLOGISCHEN KLASSE
		GESTEINE DER FLYSCHZONE
E01	22	- Gesteine der Flyschzone i. A.
		GERING BIS NICHT METAMORPHE ALTPALÄOZOISCHE GESTEINE
G01	11	- Tonschiefer, Phyllit, Glimmerschiefer
G02	7	- Vulkanite
G03	15	- Marmor, Kalke, Dolomite
G04	2	- Porphyroid und andere Orthogneise
		OSTALPINES KRISTALLIN
H01	90	- Phyllit, Glimmerschiefer, Phyllonit und Paragneis
H02	2	- Marmor
H03	9	- Orthogneis
H04	6	- Metavulkanite und Ultrabasite
I01	7	- unterostalpines Basement i. A.
		HELVETIKUM I. A. UND KLIPPEN DER WASCHBERGZONE
J01	8	- Helvetikum i. A. und Klippen der Waschbergzone
		PENNINIKUM DER ZENTRALZONE
K01	9	- karbonatdominierte Festgesteine
K02	4	- Phyllite und Schwarzphyllite
K03	1	- Metavulkanite und Serpentine
		SUBPENNINIKUM
L02		- Phyllite
L03	1	- Metavulkanite
L04	3	- Zentralgneis
L05	1	- Altkristallin
		TERTIÄRE MAGMATITE
M01		- oligozäne Tonalite
M02	1	- tertiäre Vulkanite

Anmerkung: Die bei der Beurteilung der Messstellen ebenfalls verwendete Unterklasse „F01 – Anthropogene Ablagerungen“ war ein Ausschlussgrund, die Messstelle nicht für die Ableitung eines geogenen Hintergrundwertes zu verwenden; in der Karte 1 : 500.000 werden diese lediglich lokal vorhandenen Ablagerungen nicht dargestellt.

9 ERMITTLUNG DER HINTERGRUNDWERTE

(H.BRIELMANN, F. HUMER, J. GRATH)

9.1 AUSWAHL DER GRUNDWASSERPARAMETER

FÜR DIE ABLEITUNG DER HINTERGRUNDWERTE der Grundwasserbeschaffenheit in Österreich wurden jene Messgrößen ausgewählt, die zum einen die Hauptbestandteile der Grundwasserbeschaffenheit widerspiegeln und für die zum anderen ausreichend Daten aus der Gewässerzustandsüberwachung vorliegen. Schließlich fordert die Grundwasserrichtlinie (RL 2006/118/EG) und die Qualitätszielverordnung Grundwasser (BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F) die Ermittlung der Hintergrundwerte auf der Grundlage der erhobenen Grundwassergütedaten nach der Grundwasserzustandsüberwachungsverordnung 2006 i.d.g.F..

Da die Hintergrundwerte als Grundlage für die Bewertung von Grenz- oder Schwellenwertüberschreitungen im Grundwasser dienen sollen, wurden zudem die Parameter einbezogen, für die es Schwellenwerte in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QVZ Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.) gibt oder für die Parameter- oder Indikatorwerte der Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 208/2015 i.d.g.F.) vorliegen.

Für die Auswahl der zu untersuchenden Grundwasserinhaltsstoffe wurde zudem auf die Parameterliste des Projektes GEOHINT (GBA 2004) zurückgegriffen.

In einem weiteren Schritt wurde die Anzahl der vorhandenen Messwerte je Parameter für die Gesamtheit der Messstellen des Messnetzes der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV, 2006 i.d.g.F.) für den Zeitraum 1997–2017 überprüft. Für einen Großteil der Parameter stehen rund 120.000 qualitätsgesicherte Messwerte in der H₂O-Fachdatenbank zur Verfügung. Für die Spurenstoffe Kupfer, Nickel, Aluminium, Zink, Cadmium, Blei, Quecksilber, Chrom und Arsen können jeweils etwa 60.000 Werte für die Berechnung herangezogen werden und für Uran liegen rund 9.000 Werte vor (siehe Tabelle 4).

Die Auswertungen zur Ermittlung der Hintergrundwerte im Grundwasser erfolgten im aktuellen Projekt „AKTUALISIERTE HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH“ zunächst für insgesamt 27 Grundwasserparameter. Die Liste der Parameter des Projektes GEOHINT (GBA 2004) wurde somit um Quecksilber, Sauerstoff, Uran und Zink erweitert.

Aufgrund einer zu geringen Datenlage konnten die ebenfalls in Frage kommenden Grundwasserinhaltsstoffe Antimon, Barium, Bismut, Brom, Fluorid, Kobalt, Lithium, Molybdän, Selen, Silber, Silikat, Strontium, Thallium, Vanadium und Zinn **nicht** in die Parameterliste mit aufgenommen werden.

Tabelle 3 nennt die ausgewählten Grundwasserparameter, die in Kapitel 11 hinsichtlich ihrer Eigenschaften, natürlichen Vorkommen und Konzentrationsbereiche, anthropogenen Beeinflussungen, Wirk- und Gebrauchseigenschaften und Hintergrundwerte beschrieben werden. Zudem sind den Parameterbeschreibungen die entsprechenden Prüfwerte beigelegt.

TABELLE 3: AUSGEWÄHLTE PARAMETER ZUR ABLEITUNG VON HINTERGRUNDWERTEN

Gruppe	Parameter	Einheit	GZÜV-Code
Milieu- und Summenparameter	Elektrische Leitfähigkeit bei 20°C	[µS/cm]	G366
	pH-Wert	[-]	G118
	Sauerstoffgehalt	[mg/l]	G119
Hauptinhaltsstoffe	Calcium	[mg/l]	G134
	Chlorid	[mg/l]	G155
	Hydrogenkarbonat	[mg/l]	G157
	Kalium	[mg/l]	G137
	Magnesium	[mg/l]	G135
	Natrium	[mg/l]	G136
	Sulfat	[mg/l]	G156
Nebeninhaltsstoffe	Ammonium	[mg/l]	G152
	Eisen	[mg/l]	G138
	Mangan	[mg/l]	G139
	Nitrat	[mg/l]	G154
	Nitrit	[mg/l]	G153
	Phosphat	[mg/l]	G159
Spurenstoffe	Aluminium	[µg/l]	G425
	Arsen	[µg/l]	G429
	Blei	[µg/l]	G426
	Chrom, gesamt	[µg/l]	G427
	Bor	[mg/l]	G151
	Cadmium	[µg/l]	G421
	Nickel	[µg/l]	G428
	Kupfer	[µg/l]	G424
	Quecksilber	[µg/l]	G422
	Uran	[µg/l]	G433
	Zink	[µg/l]	G423

9.2 DATENGRUNDLAGEN

Die Hintergrundkonzentrationen der natürlichen Stoffe im Grundwasser sollen auf Basis der Ergebnisse der Grundwasserüberwachung nach der EU-Grundwasserrichtlinie ermittelt werden (RL 2006/118/EG bzw. Novelle aus 2014: RL 2014/80/EU, Anhang II, Teil A).

9.2.1 DATEN DER GEWÄSSERZUSTANDSÜBERWACHUNG (GZÜV)

Wesentliche Datengrundlage für das Projekt AKTUALISIERTE HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH sind deshalb die auf Grundlage der österreichischen Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV, BGBl. II Nr. 479/06 i.d.g.F.) erhobenen Grundwasserdaten im **Zeitraum 1997 – 2017**. Für das Jahr 2017 wurden Daten des 1. Halbjahres berücksichtigt.

Die flächendeckende und repräsentative Überwachung der Grundwasserqualität umfasst lt. GZÜV grundsätzlich 2.016 Messstellen, das entspricht einem Verhältnis von einer Messstelle auf ca. 40 km². Die Messstellenverteilung berücksichtigt für eine optimale Überwachung der Grundwasserkörper sowohl die vorgegebenen natürlichen Verhältnisse (z.B. Hydrogeologie, Böden) wie auch jene der menschlichen Nutzung (z. B. Landnutzung, Deponien). Daraus resultiert beispielsweise auch eine etwas höhere Messstellendichte bei erhöhtem Belastungs- und Gefährdungspotenzial des Grundwassers in den intensiv genutzten Gebieten Österreichs. Grundsätzlich ist die Messstellendichte in den Porengrundwasserleitern der Tal- und Beckenlagen durch die Lage und Gesteinszusammensetzung mit durchschnittlich einer Messstelle auf 7,4 km² höher als jene in den Karst- und Kluftgrundwasserleitern der Gebirgsregionen mit deren verstreuten Einzelquellen mit einer Messstelle auf 92,3 km². Die Grundwassermessstellen setzen sich aus Sonden, privaten Hausbrunnen, Quellen, Industriebrunnen und Wasserversorgungsanlagen zusammen.

Die Fläche Österreichs wird durch die Ausweisung von insgesamt 138 Grundwasserkörpern bzw. Gruppen von Grundwasserkörpern vollständig erfasst. Vertikal werden oberflächennahe Grundwasserkörper und Tiefengrundwasserkörper unterschieden. Die oberflächennahen Grundwasserkörper unterteilen sich in 63 Einzelporengrundwasserkörper und 66 Gruppen von Grundwasserkörpern. Es gibt neun Tiefengrundwasserkörper, die jedoch für die Ermittlung der Hintergrundwerte in diesem Bericht **nicht** betrachtet werden.

Der Beobachtungszyklus einer jeden Messstelle für die Beobachtung der Grundwässer gemäß GZÜV umfasst sechs Jahre. Dieser Zeitraum beinhaltet ein Jahr „Erstbeobachtung“ bzw. „Überblicksweise Überwachung“ mit einem erweiterten Parameterumfang und anschließend fünf Jahre „Wiederholungsbeobachtung“ bzw. „Operative Überwachung“ mit einem festgeschriebenen Mindestumfang sowie relevanten Parametern aus der Erstbeobachtung. Der wesentliche Unterschied zwischen diesen beiden Messreihen liegt also im Parameterumfang und der Messfrequenz. Die Grundwässer werden entsprechend der aktuellen Messreihe bzw. Belastungssituation ein- bis viermal jährlich untersucht.

Insgesamt werden in der Regel rund 130 Parameter verschiedener Stoffgruppen überwacht. Neben etwa neun Vor-Ort-Parametern, wie beispielsweise dem pH-Wert, der elektrischen Leitfähigkeit, der Wassertemperatur oder dem Sauerstoffgehalt gehören dazu 17 chemische-analytische Parameter wie die Haptionen, Nährstoffe sowie Eisen und Mangan. Ebenfalls Teil des Parameterumfangs sind zehn Metalle, 17 leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe sowie rund 80 Pestizide. Zusätzliche und zeitlich begrenzte Sondermessprogramme können den Parameterumfang des flächendeckenden, laufenden Überwachungsprogramms erhöhen.

9.2.2 ZUSÄTZLICH ERHOBENE DATEN

Ergänzend zu den Grundwasserdaten auf Basis der GZÜV wurden bundesweit Daten von Trinkwasserversorgungen insbesondere in jenen Gebieten erhoben, für die die Messstellendichte der GZÜV in Bezug auf die Anforderungen der statistischen Auswertungen im speziellen Fall (Mindestanzahl der Messwerte) nicht ausreicht. Zusätzlich flossen Daten der Eigenuntersuchungen des Grundwassers von Landesmessstellen der Bundesländer Steiermark und Vorarlberg in die Auswertungen ein. Auch für diese zusätzlich erhobenen Daten wurden die Auswertungen auf den Zeitraum 1997–2017 begrenzt, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Die Daten aus den Eigenuntersuchungen des Bundeslandes Steiermark entsprachen im Wesentlichen den Anforderungen an den Parameterumfang zur Ermittlung der Hintergrundkonzentrationen im Grundwasser (Tabelle 3). Die elektrische Leitfähigkeit wurde auf die erforderliche Referenztemperatur von 20°C umgerechnet. Daten für die Spurenstoffe Quecksilber und Uran liegen an diesen Messstellen nicht vor.

TABELLE 4: ANZAHL DER ERHOBENEN DATENPUNKTE JE PARAMETER UND DATENSATZ.

Parameter	Formel/Symbol	Einheit	GZÜV	Steiermark	Vorarlberg	WVA
pH-Wert		[-]	121028	1065	157	215
Elektr. Leitfähigkeit (20°C)		[µS/cm]	121052	1066	157	215
Sauerstoffgehalt	O ₂	[mg/l]	120705	1059	144	17
Chlorid	Cl ⁻	[mg/l]	121261	1045	157	211
Nitrat	NO ₃ ⁻	[mg/l]	121252	1065	222	211
Nitrit	NO ₂ ⁻	[mg/l]	120762	1047	145	172
Sulfat	SO ₄ ²⁻	[mg/l]	120991	1045	157	211
Phosphat	PO ₄ ³⁻	[mg/l]	120688			
Hydrogenkarbonat	HCO ₃ ⁻	[mg/l]	121094	1050	9	211
Natrium	Na ⁺	[mg/l]	121233	1047	157	189
Kalium	K ⁺	[mg/l]	121259	1047	157	189
Ammonium	NH ₄ ⁺	[mg/l]	121116	1021	157	209
Calcium	Ca ²⁺	[mg/l]	121283	1042	157	186
Magnesium	Mg ²⁺	[mg/l]	121286	1042	157	186
Eisen	Fe ²⁺	[mg/l]	119767	395	157	180
Mangan	Mn ²⁺	[mg/l]	119771	395	155	201
Aluminium	Al	[µg/l]	62797	320		19
Arsen	As	[µg/l]	63363			
Blei	Pb	[µg/l]	62907	320		20
Bor	B	[mg/l]	120680	57	157	20
Cadmium	Cd	[µg/l]	62837	320		20
Chrom, gesamt	Cr	[µg/l]	62907			
Kupfer	Cu	[µg/l]	62908	320	127	20
Nickel	Ni	[µg/l]	62910	320		20
Quecksilber	Hg	[µg/l]	62901			20
Uran	U	[µg/l]	9123			21
Zink	Zn	[µg/l]	62911	320	127	13

Ebenso entsprachen die Daten aus den Eigenuntersuchungen des Bundeslandes Vorarlberg im Wesentlichen den Anforderungen an den Parameterumfang zur Ermittlung der Hintergrundkonzentrationen im Grundwasser (Tabelle 3). Bezüglich der Spurenstoffe liegen für diese Messstellen nur Daten für Kupfer und Zink vor.

Die von den Wasserversorgern österreichweit erhobenen Daten lagen mit unterschiedlichem Parameterumfang (siehe Tabelle 4) und zum Teil unterschiedlichen Maßeinheiten vor, was vor allem den abweichenden Anforderungen der Trinkwasserverordnung (BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F) an die Erhebung der Trinkwasserqualität im Vergleich zur Erhebung der Grundwasserqualität laut GZÜV geschuldet ist. Wenn erforderlich, wurden Parameter umgerechnet, um die Daten zu homogenisieren und die entsprechende Vergleichbarkeit der Messdaten zu gewährleisten (Kapitel 9.3.1).

Insgesamt wurden österreichweit 2.528.156 Datenpunkte, also 2,5 Millionen Einzeldaten, von 2.789 Messstellen der oberflächennahen Grundwasserkörper erhoben. Diese wurden einer ausführlichen Datenaufbereitung und -prüfung wie im Folgenden dargestellt, unterzogen.

9.3 DATENAUFBEREITUNG UND DATENPRÜFUNG

9.3.1 HOMOGENISIERUNG

Analog zur Vorgangsweise zur Aufnahme von Gewässerdaten in die H₂O-Fachdatenbank des Umweltbundesamtes wurden die erhobenen Datensätze hinsichtlich ihrer Messparameter – soweit erforderlich – durch die entsprechenden Umrechnungen – vereinheitlicht. Das Ergebnis ist damit ein homogener Basisdatensatz.

9.3.2 PRÜFUNG AUF MINDESTDATENUMFANG

Grundsätzlich liegen mit dem Datensatz der GZÜV-Grundwasserüberwachung zahlreiche, qualitativ hochwertige und langjährige Zeitreihen vor. Für Messstellen, die durch die notwendigen Anpassungen des GZÜV-Messnetzes über kürzere Messreihen verfügen sowie die Messreihen von Messstellen der Wasserversorger und Bundesländer, die zusätzlich erhoben wurden, wurde ein **Mindestdatenumfang von**

- mindestens sechs Messwerte aus einem Zeitraum von drei Jahren (halbjährlich) oder
- mindestens acht Messwerte aus einem Zeitraum von zwei Jahren (quartalsweise) oder
- mindestens zwölf Messwerte aus einem Zeitraum von einem Jahr (monatlich)

in Bezug auf die Hauptinhaltsstoffe festgelegt. Auf diese Weise soll gewährleistet werden, dass je Messstelle eine Stichprobe vorliegt, die zumindest kurzfristige hydrogeochemische Änderungen durch unterschiedliche Grundwasserneubildungsbedingungen und jahreszeitlich schwankende Messstellenbeeinflussungen repräsentiert.

9.3.3 PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG

In einem dritten Schritt wurden einzelne Messgrößen des Basisdatensatzes auf Plausibilität, also Nachvollziehbarkeit, überprüft. Da die eigentliche Prüfung auf geologische Anomalien und anthropogene Beeinflussungen in der Methode zur Ableitung der Hintergrundwerte erfolgt, wurden die Plausibilitätskriterien weiter gefasst, als es zum Beispiel in der Bewertung der Trink- und Grundwasserqualität im Allgemeinen üblich ist.

Messwerte des pH-Wertes, die nicht zwischen 4,0 und 13,0 lagen, wurden von der weiteren Auswertung als „unplausible Werte“ ausgeschlossen. Die meisten natürlichen Wässer sowie Trinkwässer liegen im enger gefassten Bereich zwischen pH-Wert 4,5 und 9,5. Dieser Bereich wird im Rahmen der gegenständlichen Untersuchungen weiter gehalten, um hydrogeochemische Anomalien nicht von vornherein auszuklammern.

Messwerte des Sauerstoffgehaltes außerhalb des Bereiches zwischen 0 und 15,5 mg O₂/l wurden von der weiteren Auswertung als „unplausible Werte“ ausgeschlossen. Die meisten Grundwässer liegen im enger gefassten Bereich zwischen 2 und 8 mg/l Sauerstoff (KUNKEL et al. 2002). Dieser Bereich wird im Rahmen der gegenständlichen Untersuchungen weiter gehalten, um insbesondere Karst- und Kluftgrundwässer, die durchaus höhere natürliche Sauerstoffgehalte aufweisen können, nicht von vornherein auszuklammern.

9.3.4 PRÜFUNG AUF DIMENSIONS- ODER KOMMAFEHLER

Die Messdaten des gesamten Basisdatensatzes wurden parameterweise auf extreme Ausreißer hin überprüft, die durch Eingabefehler, das heißt mit Dimensions- und Kommafehler, in den Basisdatensatz gelangt sind. Die auf diese Weise ermittelten Ausreißer wurden von den weiteren Auswertungen ausgeschlossen.

9.3.5 PRÜFUNG AUF IONENBILANZFEHLER

In einem weiteren Schritt wurde die Qualität der Datensätze der Wasseranalysen durch die Berechnung des Ionenbilanzfehlers evaluiert.

$$\text{Ionenbilanzfehler} = \frac{\sum \text{Kationen} - \sum \text{Anionen}}{\sum \text{Kationen} + \sum \text{Anionen}} * 200$$

In der Kationen-Summe werden dabei Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium und Wasserstoff (über den pH-Wert) berücksichtigt, optional auch Ammonium, Eisen und Mangan. In die Anionen-Summe fließen die molaren Konzentrationen von Chlorid, Nitrat, Sulfat, Hydrogenkarbonat und Hydroxidionen (über den pH-Wert) ein, optional auch Nitrit und Phosphat. Bezüglich des Phosphats wurde die pH-abhängige Dissoziation der Phosphorsäure zu H_2PO_4^- und HPO_4^{2-} zu berücksichtigt.

Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden in dieser Prüfung durch die halbe Bestimmungsgrenze (=BG/2) ersetzt, Werte unterhalb der Nachweisgrenze mit der Nachweisgrenze (=NG).

$$\sum \text{Kationen} = 2[\text{Ca}^{2+}] + 2[\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{H}^+] + [\text{NH}_4^+] + 2[\text{Fe}^{2+}] + 2[\text{Mn}^{2+}]$$

$$\sum \text{Anionen} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{NO}_3^-] + 2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{OH}^-] + x[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{NO}_2^-]$$

Datensätze wurden in Abhängigkeit von der Summe der Äquivalentkonzentrationen verworfen, wenn:

- Summe der Äquivalentkonzentrationen ≤ 2 mmol/l und Ionenbilanzfehler $> 15\%$
- Summe der Äquivalentkonzentrationen > 2 mmol/l und Ionenbilanzfehler $> 10\%$,

da bei mineralstoffarmen Wässern die Abweichungen in der Regel größer sind (KÖLLE 2017).

Die einzelnen Prüfschritte resultieren in dem in Tabelle 5 dargestellten Datenumfang.

TABELLE 5: DATENUMFANG NACH DATENAUFBEREITUNG UND -PRÜFUNG

Parameter	Formel/Symbol	Einheit	Anzahl Werte		
			gesamt	<BG/NG	<BG/NG in %
pH-Wert		[-]	118334	0	0
Elektr. Leitfähigkeit (20 °C)		[µS/cm]	118027	0	0
Sauerstoffgehalt	O ₂	[mg/l]	117493	2628	2
Chlorid	Cl ⁻	[mg/l]	118287	8641	7
Nitrat	NO ₃ ⁻	[mg/l]	118315	8479	7
Nitrit	NO ₂ ⁻	[mg/l]	117743	89636	76
Sulfat	SO ₄ ²⁻	[mg/l]	118308	518	0
Phosphat	PO ₄ ³⁻	[mg/l]	116751	34060	29
Hydrogenkarbonat	HCO ₃ ⁻	[mg/l]	118324	3	0
Natrium	Na ⁺	[mg/l]	118301	6331	5
Kalium	K ⁺	[mg/l]	118307	13897	12
Ammonium	NH ₄ ⁺	[mg/l]	117909	76657	65
Calcium	Ca ²⁺	[mg/l]	118305	4	0
Magnesium	Mg ²⁺	[mg/l]	118304	362	0

Parameter	Formel/Symbol	Einheit	Anzahl Werte		
			gesamt	<BG/NG	<BG/NG in %
Eisen	Fe ²⁺	[mg/l]	104286	59340	57
Mangan	Mn ²⁺	[mg/l]	113552	83000	73
Aluminium	Al	[µg/l]	60761	49882	82
Arsen	As	[µg/l]	60738	46873	77
Blei	Pb	[µg/l]	60914	52822	87
Bor	B	[mg/l]	116761	37467	32
Cadmium	Cd	[µg/l]	60524	56991	94
Chrom, gesamt	Cr	[µg/l]	60586	49137	81
Kupfer	Cu	[µg/l]	60743	31097	51
Nickel	Ni	[µg/l]	60684	41771	69
Quecksilber	Hg	[µg/l]	53802	53429	99
Uran	U	[µg/l]	8958	3516	39
Zink	Zn	[µg/l]	53139	9180	17

BG...Bestimmungsgrenze, NG...Nachweisgrenze

9.3.6 PRÜFUNG AUF TREND

Trenduntersuchungen von Grundwasserbeschaffenheitsparametern dienen grundsätzlich der Überprüfung auf zeitliche Veränderungen der Grundwasserqualität. Diese können natürliche Ursachen haben, wie beispielsweise Änderungen in den Grundwasserneubildungsbedingungen. So können stetig abnehmende Niederschläge zu einer verminderten Versickerung gering mineralisierter Neubildungswässer und einem Anstieg der Mineralisation an einer Grundwassermessstelle führen.

Häufig haben zeitliche Änderungen in der Grundwasserqualität ihre Ursachen aber in einer veränderten Bewirtschaftung im Einzugsgebiet einer Grundwassermessstelle, die beispielsweise zu einem Eintrag von unerwünschten Stoffen in den Grundwasserleiter führen kann oder mit Grundwasserspiegelschwankungen und sich damit möglicherweise ändernden Redoxbedingungen verknüpft ist.

Die Ergebnisse von Trenduntersuchungen hängen stark davon ab, inwieweit die Länge der Zeitreihen die die Grundwasserqualität beeinflussenden Prozesse repräsentativ abbilden. Die Länge der Zeitreihen sollte es ermöglichen saisonale und periodische natürliche Schwankungen der Grundwasserqualität von anthropogenen Beeinflussungen zu unterscheiden. Hier muss in Abhängigkeit von der Datenlage häufig ein Kompromiss gefunden werden.

Die Messstellen, für die langjährige Zeitreihen vorliegen, wurden im Projekt AKTUALISIERTE HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH mittels Mann-Kendall-Test auf einen gleichbleibenden Anstieg oder Rückgang der Grundwasserkonzentrationen überprüft. Dieser nicht-parametrische, statistische Test basiert auf Messwerträgen und findet in Bezug auf Umwelt-, Klima- oder hydrologische Daten weit verbreitete Anwendung (HELSEL & HIRSCH 1992, POHLERT 2016). Er trifft keine Annahmen bezüglich der zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeitsverteilung der Messwerte und kann gut auf Datensätze mit Ausreißern und Werten unterhalb der Bestimmungs- oder Nachweisgrenze angewendet werden.

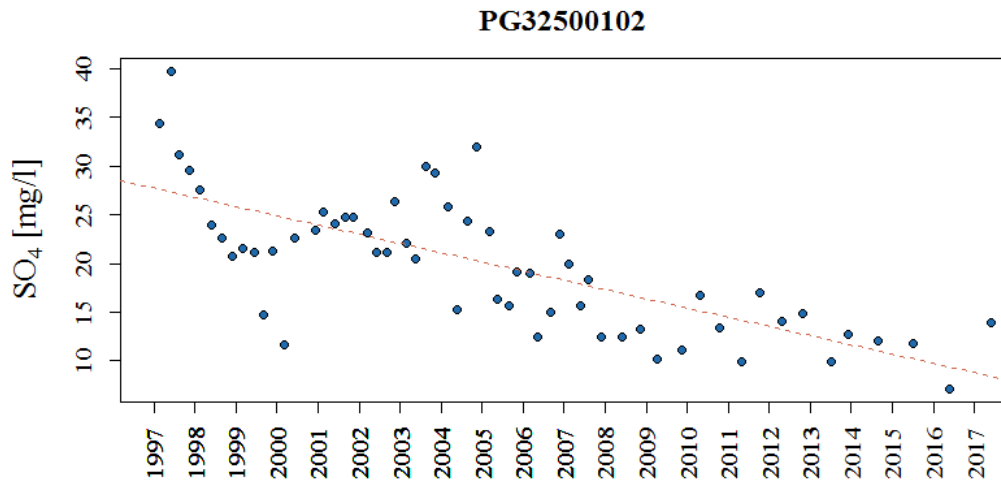


Abbildung 16: Sulfatkonzentrationen an der GZÜV-Messstelle PG32500102 im Zeitraum 1997–2017. Die Klassifizierung des Mann-Kendall-Test-Ergebnisses ergibt mit $\tau = -0,55$ und $p = 0$ einen fallenden Trend. Die Steigung der Akritas-Theil-Sen-Linie beträgt $-0,95$ und der Achsenabschnitt $1917,4$.

Der Testparameter „Kendall’s tau“ kann vergleichbar mit einem Korrelationskoeffizienten hinsichtlich der Trendstärke interpretiert werden. Ist das Vorzeichen positiv, ist auch der Zusammenhang positiv; ist es negativ, ist der Zusammenhang negativ. Der Betrag des Parameters kann hinsichtlich der Stärke des Zusammenhangs interpretiert werden.

Die Bestimmung der Trendrate, also der Steigung der Trendgeraden, welche beispielsweise bei fallenden Trends einen negativen Wert aufweist, erfolgte mittels der Akritas-Theil-Sen-Methode, die auch für Datensätze mit Werten unter der Bestimmungs- und Nachweisgrenze anwendbar ist (AKRITAS et al. 1995).

TABELLE 6: INTERPRETATION DES TRENDPARAMETERS „KENDALL’S TAU“ (UNTER DER VORAUSSETZUNG DER TREND IST SIGNIFIKANT).

Kendall’s tau	Interpretation
$\geq 0,8$	starker Trend
$\geq 0,5$ und $< 0,8$	Trend
$\geq 0,1$ und $< 0,5$	schwacher Trend
$< 0,1$	kein Trend

Für die Prüfung auf Trend mussten die Messstellenzeitreihen Minimalkriterien erfüllen. So sollten für jede Messstelle und den entsprechenden Parameter mindestens jeweils zwei Werte aus sechs aufeinanderfolgenden Jahren vorliegen. Der Anteil der Messwerte je Parameter und Zeitreihe unter der Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenze sollte nicht größer als 60% je Messstelle sein.

Die Ergebnisse der Trenduntersuchung wurden zum Ausschluss offensichtlich anthropogen beeinflusster, lokal erhöhter Konzentrationen herangezogen (siehe Kapitel 9.4.5). Allerdings können auf diese Weise keine anthropogenen Einflüsse detektiert werden, welche zunächst einen Konzentrationsanstieg und anschließend einen Konzentrationsabfall ähnlicher Größenordnung (oder umgekehrt) hervorrufen. Die Detektion derartiger Phänomene muss aufgrund einer angestrebten pragmatischen Vorgehensweise Detailuntersuchungen und Befundaufklärungen vorbehalten bleiben.

9.4 ABLEITUNG DER HINTERGRUNDWERTE

9.4.1 STATISTISCHE GRUNDLAGEN

Die Analyse der Struktur von Messwerten mittels statistischer Häufigkeitsverteilungen findet in vielen Bereichen des Alltags Anwendung (z.B. in der Ökonomie, der Analyse industrieller Prozessdaten und eben auch bei der Analyse von Umweltdaten) und wird im Detail in den entsprechenden Statistik-Nachschlagewerken (beispielsweise SCHLITGEN 2009) sowie bei KUNKEL et al. (2004) beschrieben.

Werden Messwerte bzw. Daten numerisch sortiert, also in eine Rangfolge gebracht und für jeden Wert anschließend eine Häufigkeit bestimmt („gezählt“), spricht man von den **absoluten Häufigkeiten** bzw. einer **primären Häufigkeitsverteilung**. Werden Messwerte eines Merkmals dabei in Klassen zusammengefasst, spricht man von einer **sekundären Häufigkeitsverteilung** mit Klassenbildung.

Durch Normierung mit der Gesamtzahl der betrachteten Werte können absolute Häufigkeiten in **relative Häufigkeiten** überführt werden, was den Vergleich eines Merkmals oder Parameters zwischen zwei unterschiedlichen Stichproben (beispielsweise Messwerten aus zwei unterschiedlichen Grundwasserkörpern) ermöglicht. Die Summe aller relativen Häufigkeiten vom kleinsten Wert aufsteigend, wird als **kumulierte Häufigkeit** bezeichnet.

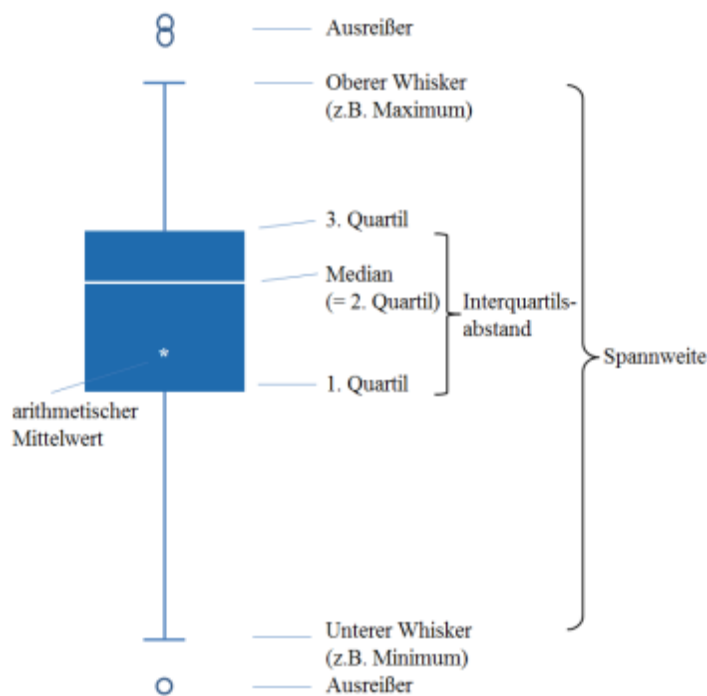


Abbildung 17: Box-Whisker-Plot und Maßzahlen statistischer Häufigkeitsverteilungen.

Zur Beschreibung von Häufigkeitsverteilungen werden in der Regel statistische Kennwerte genutzt. Diese Maßzahlen der Verteilung lassen sich beispielsweise sehr gut mittels Box-Whisker-Plots (TUKEY 1977) darstellen (Abbildung 17). Die im Box-Whisker-Plot dargestellten und andere wichtige statistische Kennwerte sind im Folgenden kurz erklärt:

Mittelwert: Durchschnitt, arithmetisches Mittel, Maßzahl zur Darstellung mittlerer Verhältnisse, beschränkt aussagekräftig bei schiefen und mehrgipfeligen Verteilungen der Messwerte

Median: halbiert die Stichprobenverteilung (50%-Perzentil, mittlerer Wert), robust gegenüber Ausreißern, bei symmetrischen Verteilungen gleich dem Mittelwert

Standardabweichung: Maß für die Streuung der Messwerte, begrenzt aussagekräftig bei unsymmetrischen Verteilungen

Quartile: unterteilen Stichproben in vier Teilbereiche mit gleich vielen Messwerten (25%, 50%, 75% und 100% der Messwerte)

Perzentile: unterteilen Stichproben in beliebige Teilbereiche, das x%-Perzentil entspricht dem Messwert, bei dem die kumulierte Häufigkeit x beträgt (z.B. 90%-Perzentil – kumulierte Häufigkeit = 0,9 bzw. 90% der Werte liegen unterhalb dieses Werts bzw. 10% darüber)

Minimum: der kleinste Wert

Maximum: der größte Wert

Spannweite: Differenz zwischen größtem und kleinsten Wert (siehe Whisker)

Interquartilsabstand (IQR): Streuungsmaß für das Intervall, in dem die mittleren 50% der Stichproben liegen

Die Spannweite der Hintergrundkonzentrationen von Grundwasserinhaltsstoffen kann ebenfalls durch entsprechende statistische Kennwerte beschrieben werden. Grundlage für deren Ermittlung ist die Abgrenzung der unbeeinflussten **Normalpopulation** des Datensatzes (= dem hydrogeochemischen Hintergrund) von anthropogenen Beeinflussungen der Grundwasserbeschaffenheit in einer hydrogeochemischen Einheit.

9.4.2 VORGANGSWEISE

Der erste Schritt besteht in der Zuordnung der untersuchten Messstellen zu den homogenen, hydrogeochemischen Einheiten, welche in diesem Projekt als geologische Klassen abgegrenzt wurden. Die Methode zur Abgrenzung ist in Kapitel 6 dargelegt. Tabelle 2 zeigt die Messstellenanzahl je geologischer Klasse nach Datenaufbereitung und -prüfung.

Für eine homogene, hydrogeochemische Einheit kann angenommen werden, dass sich die Hintergrundkonzentrationen eines Grundwasserinhaltsstoffes durch eine Lognormalverteilung beschreiben lassen. Die Darstellung der Häufigkeiten eines Grundwasserinhaltsstoffes in einer hydrogeochemischen Einheit bzw. geologischen Klasse muss dementsprechend den bekannten Ausprägungen dieser Verteilungen, wie beispielsweise in Abbildung 18 widergegeben, folgen.

Überlagernde Einflüsse resultieren in mehrgipfligen Häufigkeitsverteilungen. Dabei kann es sich um anthropogene Beeinflussungen handeln. Aber auch geogene fazielle Unterschiede oder unterschiedliche Redoxverhältnisse in den abgegrenzten hydrogeochemischen Einheiten können zur Ausprägung von zwei oder mehr Teilpopulationen in den Häufigkeitsdiagrammen führen. Zudem kann eine ubiquitäre Überprägung durch flächenhafte, diffuse Einträge zu einer generellen Verschiebung der natürlichen Konzentrationsverteilung hin zu höheren Konzentrationen führen. Geologische Anomalien oder Punktquellen anthropogener Einträge können als Ausreißer bzw. Extremwerte in den Verteilungen aufscheinen.

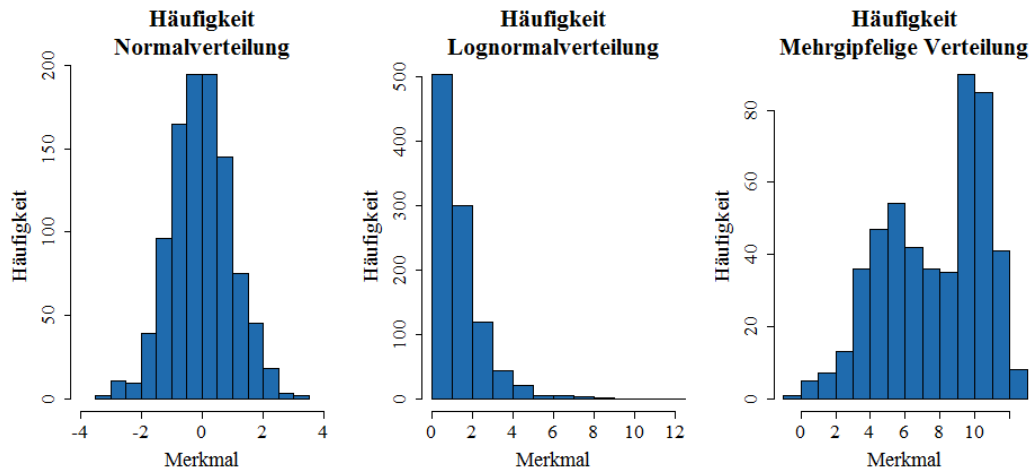


Abbildung 18: Beispiele für Häufigkeitsverteilungen. Normalverteilung (links), Lognormalverteilung (Mitte) und mehrgipfelige Häufigkeitsverteilung (rechts).

Die Überprüfung darauf, ob die Messwerte eines Grundwasserparameters in einer hydrogeochemischen Einheit der Normal- oder Lognormalverteilung folgen, ist mittels Darstellung der Messwerte in einem **Wahrscheinlichkeitsnetz** leichter als in den Häufigkeitsdiagrammen möglich. Das Wahrscheinlichkeitsnetz basiert auf einem speziellen Koordinatenpapier, dass auf der x-Achse (=Abszisse) linear, auf der y-Achse (Ordinate) beispielsweise nach der integrierten Normal- oder Lognormalverteilung berechnet ist. Beim logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz ist zusätzlich die x-Achse logarithmisch transformiert. Das Grundprinzip wird im Detail von KÖLLE (2017), WALTER et al. (2012) und WAGNER et al. (2014) beschrieben.

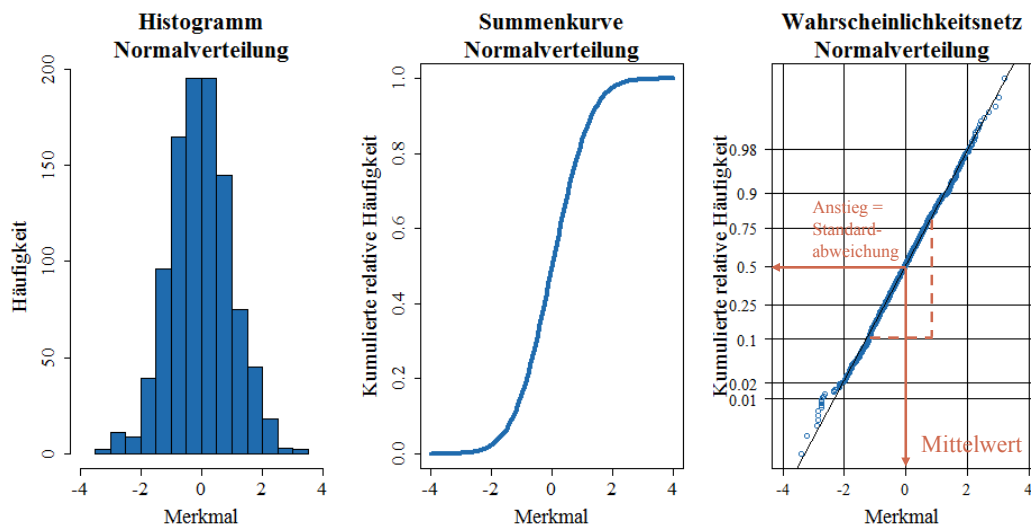


Abbildung 19: Bearbeitung von Häufigkeitsverteilungen im Wahrscheinlichkeitsnetz (nach KÖLLE 2017).

Die Häufigkeiten normalverteilter Messwerte ergeben im Histogramm eine Glockenkurve (Abbildung 19, links). Werden die Häufigkeiten schrittweise aufsummiert, resultiert eine S-Kurve (Abbildung 19, Mitte). Die weitere Übertragung der kumulierten relativen Häufigkeiten in das Wahrscheinlichkeitsnetz, ergibt bei Normal-(oder Lognormalverteilung) eine Gerade (Abbildung 19, rechts). Aus dem Abszissenwert des Schnittpunkts dieser Geraden mit dem 50%-Quantil bzw. Z-Wert = 0 lässt sich der Mittelwert ableiten. Die Standardabweichung ist gleich der reziproken Steigung dieser Geraden. Basierend auf Mittelwert und Standardabweichung lassen sich alle anderen statistischen Parameter der Normal- bzw. Lognormalverteilung dieser Messwertpopulation einschließlich der Perzentile zur Ableitung der Hintergrundwerte berechnen.

Abweichungen von der Gerade deuten darauf hin, dass eine Teilpopulation des Datensatzes nicht der gewählten Verteilung folgt (WALTER 2006). Verschiedene Teilpopulationen, die beispielsweise auf anthropogene Beeinflussung oder fazielle Unterschiede zurückzuführen sind, resultieren in Knickpunkten im Gesamtdatensatz und Geraden mit abweichendem Anstieg (Abbildung 20, rechts). Für jede Teilpopulation lassen sich wiederum Mittelwert und Standardabweichung ableiten und daraus die statistischen Kennwerte ihrer Verteilung berechnen.

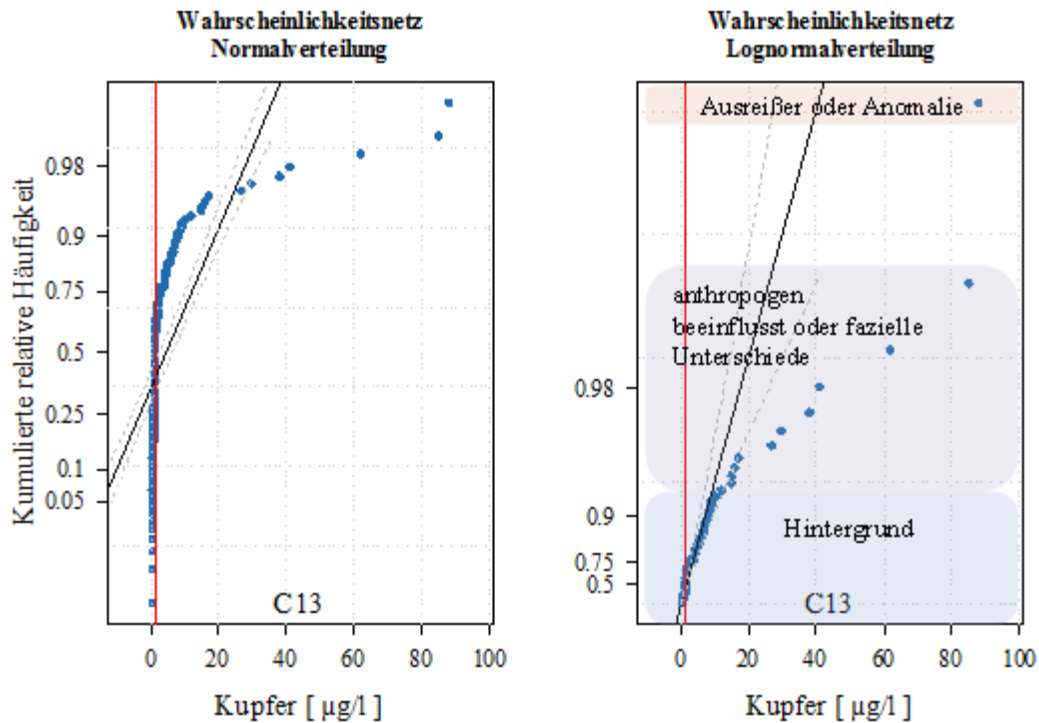


Abbildung 20: Prüfung der Messdaten für Kupfer der Geologischen Klasse C13 auf Normal- bzw. Lognormalverteilung im Wahrscheinlichkeitsnetz. Die rote senkrechte Linie markiert die maximale Bestimmungsgrenze des Parameters, die schwarze Linie den Idealverlauf der Messwerte bei der zugrunde gelegten statistischen Verteilung, die gestrichelten grauen Linien das entsprechende Konfidenzintervall (Signifikanzniveau $\alpha=0,025$).

Das in Abbildung 4 dargestellte Beispiel zeigt die in die Ableitung der Hintergrundwerte einfließenden Datenpunkte für Kupfer in der Geologischen Klasse C13. Die linke Abbildung zeigt, dass die Daten nicht normalverteilt sind, da sie stark von der Ideallinie normalverteilter Messwerte abweichen. Zudem liegt ein Großteil der Datenpunkte unterhalb oder nahe der Bestimmungsgrenze dieses Parameters.

In der rechten Abbildung ist jedoch zu erkennen, dass die Datenpunkte im unteren Konzentrationsbereich lognormalverteilt sind, bis sie ab einem Knickpunkt bei einer Konzentration von $15\mu\text{g/l}$ Kupfer von dieser Verteilung abweichen. Die Messwerte oberhalb des Knickpunktes sind als anthropogen beeinflusst anzusehen bzw. sind durch fazielle Unterschiede hervorgerufen und werden zunächst als **hydrochemische Anomalien** bzw. **lokal erhöhte Werte** ausgewiesen. Die Messwerte unterhalb des Knickpunktes bilden die Datenbasis zu Ermittlung der flächenhaften Hintergrundkonzentrationen für Kupfer in dieser Geologischen Klasse.

9.4.3 UMGANG MIT ZEITREIHEN

In der Ableitung der Hintergrundwerte werden die Zeitreihen der gemessenen Grundwasserparameter der einzelnen Messstellen als **Median** berücksichtigt, eine übliche, pragmatische Vorgangsweise bei der Ableitung von Hintergrundwerten (KUNKEL et al. 2002, BLA-GEO & LAWA 2015, TEDD et al. 2007).

Auf diese Weise wird für jede Messstelle bezüglich eines Grundwasserparameters eine repräsentative Probe erzeugt, alle Messstellen fließen mit gleicher Gewichtung in die Auswertungen ein.

Zwar werden auf diese Weise nicht in jedem Einzelfall mögliche schüttungsbedingte Konzentrationsänderungen einzelner Grundwassermessstellen erfasst, es ist jedoch davon auszugehen, dass bei einer ausreichend großen Anzahl von Stichproben in einer hydrogeochemischen Einheit auch diese natürlichen Schwankungen abgedeckt werden.

Zudem führt die – zur Abdeckung natürlicher Konzentrationsschwankungen – denkbare Verwendung von Maximal- und Minimalwerten oder um einzelne Ausreißer bereinigter Perzentile insbesondere bei trendbehafteten Zeitreihen zu Verzerrungen im Hinblick auf die abgeleiteten Hintergrundkonzentrationen. Auch wiesen insbesondere die Zeitreihen der Metalle immer wieder Ausreißer im Sinne von einzelnen hohen Messwerten auf, die eine aufwendige Datenbereinigung bei der Komponententrennung nach sich gezogen hätte.

9.4.4 UMGANG MIT WERTEN UNTERHALB DER NACHWEIS- UND BESTIMMUNGSGRENZE

Die Werte unter der Bestimmungs- und Nachweisgrenze werden in den Auswertungen insofern berücksichtigt, als dass sie die Lage der Normalpopulation im Wahrscheinlichkeitsnetz beeinflussen (siehe beispielsweise Abbildung 20). Die Regressionsparameter, also die Steigung und der Achsenabschnitt, auf deren Basis in der Folge die Perzentile des Parameters zur Ableitung des Hintergrundwertes bestimmt werden, werden allein aus den **quantifizierten** Daten der Normalpopulation berechnet. Die Normalpopulation umfasst den Datenbereich des Hintergrunds der Grundwasserbeschaffenheit.

Die an die quantifizierten Daten der Normalpopulation angepasste Regressionsgerade wird genutzt, um Schätzwerte für jeden Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze abzuleiten. Diesem als **robuste Regression** an Rangstatistiken bezeichneten Verfahren liegt die Annahme zugrunde, dass die Verteilung, welche die Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze beschreibt, auch für die Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze zutrifft.

Das Verfahren liefert deutlich genauere Abschätzungen der statistischen Kennwerte als der bloße Ersatz von Werten unterhalb der Bestimmungs- und Nachweisgrenze durch beispielsweise die halbe Bestimmungs- oder Nachweisgrenze und ist deshalb insbesondere für den Spurenstoffbereich von großem Interesse. Für eine ausführliche Beschreibung der Methodik wird auf die entsprechende Fachliteratur (HELSEL 2005) verwiesen.

Die Methode erfordert mindestens drei bis vier Werte (HELSEL 2005). Um die Sicherheit hinsichtlich der Statistik der Parameter zu erhöhen, wird eine Mindestanzahl von acht bis zehn Werten in der Normalpopulation empfohlen (BLA-GEO & LAWA 2015). Diese Empfehlung war jedoch aufgrund der geringen Messstellenanzahl in einzelnen geologischen Klassen nicht durchgehend umzusetzen, so dass die Regression auch mit vier Werten in der Normalpopulation durchgeführt wurde.

Die Methode ist theoretisch bis zu einem Anteil von 80% der Messwerte unterhalb der Bestimmungs- oder Nachweisgrenze anwendbar. Oberhalb eines Prozentsatzes von 50% der Messwerte ist allerdings zu prüfen, ob die quantifizierten Werte die Normalpopulation abbilden oder bereits eine anthropogene Beeinflussung oder Anomalie widerspiegeln. Bei mehr als 80% der Werte unterhalb der Bestimmungs- oder Nachweisgrenze sind die Ergebnisse unsicher, in begründbaren Fällen lassen sich noch das 90- bzw. 97%-Perzentil ermitteln. Anderenfalls wird die maximale Bestimmungsgrenze des jeweiligen Grundwasserparameters als obere Schranke der Hintergrundkonzentration angegeben.

9.4.5 BEURTEILUNG DER LOKAL ERHÖHTEN WERTE (= HYDROCHEMISCHEN ANOMALIEN)

Mittels Komponententrennung werden parameterweise Messstellen mit **lokal erhöhten** (oder im Falle von pH) verminderten Werte gekennzeichnet und anschließend hinsichtlich der Ursachen für diese von den flächenhaften Hintergrundwerten abweichenden Konzentrationen beurteilt. Ziel ist dabei die Unterscheidung anthropogener und geogener Ursachen. Dazu werden die erhobenen Beeinflussungen (Kapitel 7) sowie zusätzliche Informationen aus dem Inventar der Bergbaubetriebe, der Altlasten- und der Haldenkataster herangezogen, ebenso Vergleiche mit den Ergebnissen vorangegangener Projekte wie z.B. „Metalle im Grundwasser“.

Für den Ausschluss offensichtlich **anthropogen** verursachter hydrochemischer Anomalien wurden neben den Experteneinschätzungen der KollegInnen aus den Bundesländern folgende Kriterien festgelegt:

- Mediane von als lokal erhöhte Werte (=hydrochemische Anomalien) identifizierten Messstellen, für die in der Trendprüfung ein **Trend** oder **starker Trend** festgestellt wurde, unabhängig davon, ob dieser fallend oder steigend ist, werden als anthropogen verursacht ausgeschlossen.
- Mediane des Parameters Phosphat von als lokal erhöhte Werte (=hydrochemische Anomalien) identifizierten Messstellen, deren Nitrat-Median den Schwellenwerte der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser von 45 mg/l Nitrat überschreiten, werden als anthropogen verursacht ausgeschlossen.
- Mediane des Parameters Kalium von als Phosphat von als lokal erhöhte Werte (=hydrochemische Anomalien) identifizierten Messstellen, die im Korrelationsdiagramm einen deutlichen Zusammenhang mit dem Parameter Nitrat aufweisen, werden als anthropogen verursacht ausgeschlossen.

9.4.6 FESTLEGUNG DER HINTERGRUNDKONZENTRATIONEN

Von besonderem Interesse ist in Bezug auf die Hintergrundkonzentrationen des Grundwassers in einer homogenen, hydrogeochemischen Einheit oder geologischen Klasse natürlich die **Festlegung der oberen Schranke** der Konzentrationsverteilung eines Beschaffenheitsparameters. Für die Beschaffenheitsparameter Sauerstoff und pH ist zudem die **untere Schranke** bedeutend, da es im Hinblick auf diese Parameter vor allem im niedrigen Konzentrationsbereich zur Mobilisierung wasserwirtschaftlich kritischer Grundwasserinhaltsstoffe wie beispielsweise Eisen, Mangan, Nitrit, Arsen oder Kupfer kommen kann.

Diese sogenannten **Hintergrundwerte** sind Ausgangspunkt für die Bewertung möglicher Qualitätszielüberschreitungen. Sie stellen Warnwerte dar, deren Überschreitung oder in Bezug auf Sauerstoff und den pH-Wert Unterschreitung, auf anthropogene Beeinflussungen zurückzuführen ist oder sich die Situation an der Messstelle grundlegend geändert hat.

Für die Festlegung der Schranken gibt es kein standardisiertes Verfahren. Die EU-Mitgliedsländer nutzen unterschiedliche Ober- und Untergrenzen zum Ausschluss von Ausreißern und extremen, möglicherweise anthropogen beeinflussten Messwerten. Im Allgemeinen werden das 90%-, 95%- oder 97,7%-Perzentil sowie analog im unteren Konzentrationsbereich das 10%-, 5%- oder 2,3%-Perzentil als Hintergrundwerte festgelegt und zwar in Abhängigkeit vom Kenntnisstand in Bezug auf das konzeptionelle Modell einer hydrogeochemischen Einheit.

Zwangsläufig basiert die Festlegung der Schranken der Hintergrundkonzentrationen, also der Hintergrundwerte eines Grundwasserbeschaffenheitsparameters, auf einem gewissen Maß subjektiver Festlegungen. So gibt es laut SHAND et al. (2007) aufgrund häufiger Überlappungen geogener und

anthropogener Einflüsse keine Garantie dafür, dass sich in den ausgeschlossenen 2, 5 oder 10% der Messwerte nicht auch Messwerte verbergen, die den geogenen Hintergrund repräsentieren bzw. umgekehrt anthropogen beeinflusste Messwerte in die als unbeeinflusst definierte Normalpopulation der Messwerte einfließen. Dennoch stellen das 90%- bzw. 97,7%-Perzentil die Konzentrationen dar, die nur von 2,3 bis 10% der Proben überschritten werden. Es ist deshalb davon auszugehen, dass dieser Konzentrationsbereich in nachfolgenden Probenahmen nur überschritten wird, wenn sich die äußeren Rahmenbedingungen geändert haben.

Im BRIDGE-Projekt (MÜLLER et al. 2006) wurde folgende Vorgangsweise empfohlen:

- gut beobachtete Grundwasserkörper mit vielen Messstellen, zahlreichen chemischen Analysen, bekannten geochemischen Reaktions- und Transformationsprozessen → Hintergrundwert: das 97,7%-Perzentil unbeeinflusster Messstellen,
- gute Datengrundlage, aber nicht ausreichend, um die geochemischen Eigenschaften des Grundwasserkörpers genau zu beschreiben → Hintergrundwert: das 90%-Perzentil.

Theoretisch ist auch die Festlegung spezifischer Schranken für jeden Parameter in jeder geologischen Klasse in Abhängigkeit vom Kenntnisstand der dominierenden hydrogeochemischen Prozesse denkbar.

Im vorangegangenen GEOHINT-Projekt (GBA 2004) wurden die Maximalwerte der Verteilungen als Hintergrundwerte der Grundwasserkörper angegeben.

Im vorliegenden Projekt werden, ausgehend von der identifizierten Normalpopulation der Messwerte, das 10%-Perzentil als untere Schranke und das 90%-Perzentil als obere Schranke der Hintergrundkonzentrationen festgelegt, um den beschriebenen möglichen Überlagerungen anthropogener und geogener Effekte im oberen Wertebereich der Langzeitdatenreihen Rechnung zu tragen.

9.4.7 ANWENDUNG DER HINTERGRUNDKONZENTRATIONEN

In der einschlägigen Literatur (LFU 2001, BLA-GEO & LAWA 2015, TEDD et al. 2007) wird die Anwendung und Interpretation von Hintergrundkonzentrationen für die Aufgaben des Grundwasserschutzes erläutert.

Durch die Festlegung der 10%- und 90%-Perzentile als untere und obere Schranken der Hintergrundkonzentration umfasst der Hintergrund 80% aller Werte in einer hydrogeochemischen Einheit. Lokal und regional können jedoch höhere Konzentrationen auftreten. Diese lassen sich, so sie durch Messstellen der Gewässerzustandsüberwachung erfasst werden, mit der angewandten Methode der Komponententrennung identifizieren und werden im vorliegenden Projekt in den Ergebniskarten als Punktdaten (= lokal erhöhte Werte = hydrochemische Anomalien) ausgewiesen.

Ein Kompromiss muss zwischen der Repräsentativität der Hintergrundwerte für jedwede mögliche geogene auftretende Konzentration eines Grundwasserbeschaffenheitsparameters in einer hydrogeochemischen Einheit und der Nutzung von Hintergrundwerten zu Frühwarnzwecken im Hinblick auf anthropogene Verunreinigungen durch die Festlegung der Spannweite der Hintergrundkonzentrationen gefunden werden.

Ein Unterschreiten von Hintergrundwerten eines Beschaffenheitsparameters bedeutet nicht zwangsläufig, dass keine anthropogene Beeinflussung vorliegt. Mögliche Trends in den Zeitreihen der beobachteten Parameter können Indiz für anthropogene Beeinflussungen auch in vorerst unkritischen Konzentrationsbereichen sein.

Bei der Überschreitung von Schwellenwerten der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser oder den Parameter- und Indikatorparameterwerten der Trinkwasserverordnung an einer Grundwassermessstelle oder einer Wasserversorgungsanlage kann in einem ersten Schritt durch Vergleich mit den Hintergrundwerten geprüft werden, ob möglicherweise geogene Ursachen für die beobachteten Konzentrationen vorliegen. Lassen sich die Überschreitungen nicht durch die Hintergrundkonzentrationen erklären, sind in einem zweiten Schritt durch entsprechende Experten mögliche kleinräumige natürliche Besonderheiten, punktuelle oder diffuse anthropogene Quellen als Ursache der Grenzwertüberschreitungen durch standortspezifische Betrachtungen abzuklären.



Abbildung 21: Bodensee, Nassfeld, Kärnten

10 BEGLEITENDE AUSWERTUNGEN

(H. BRIELMANN)

10.1 EINFLUSS DER DATENDICHTE AUF DIE HINTERGRUNDWERTE

AUF GRUNDLAGE DER BESCHRIEBENEN, PRAGMATISCHEN und in international vergleichbaren Studien bewährten Vorgangsweise wurden auf Basis der erhobenen Datengrundlage Hintergrundwerte für 50 der 52 geologischen Klassen abgeleitet. Aufgrund der geringen Messstellendichte in einzelnen Regionen Österreichs konnten jedoch nicht für alle geologischen Klassen **statistisch abgesicherte** Hintergrundwerte ermittelt werden.

Für die Klassen L02 – „Subpenninikum – Phyllite“ und M01 – „Tertiäre Magmatite – oligozäne Tonalite“ lagen auch nach der Nachverdichtung keine Daten entsprechend der eingangs definierten Anforderungen vor (Tabelle 2, Kapitel 9.3.2).

Die statistische Methode zur Ableitung der Hintergrundwerte, also zur Abschätzung der 10%- und 90%-Perzentile eines Grundwasserinhaltsstoffes in einer geologischen Klasse erfordert mindestens vier, idealerweise acht bis zehn Messstellen-Mediane in der Normalpopulation des Datensatzes. Die Normalpopulation ist der – nach der Abtrennung anthropogen oder durch fazielle Besonderheiten beeinflusster Messstellen – zur Ableitung der Hintergrundwerte verbleibende Datensatz.

Diese erforderliche Datendichte wird trotz Nachverdichtung des Datensatzes derzeit nicht für alle geologischen Klassen erreicht. Mit Hinblick auf das Messnetz der Gewässerzustandsüberwachung stehen insbesondere in den durch Karst- und Kluftgrundwasser geprägten Gebieten generell weniger Messstellen zur Verfügung (eine Messstelle je 92,3 km²). Einige dieser geologischen Klassen sind durch lokale bzw. geringe Wasservorkommen gekennzeichnet.

In den geologischen Klassen mit weniger als vier Medianen (= Messstellen) wird der jeweils höchste, unbeeinflusste Messstellen-Median zur Festlegung des Hintergrundwertes herangezogen. Liegen die Messstellen-Mediane unter der Nachweisgrenze, wird der Hintergrundwert mit $< BG_{\max}$, also „kleiner als die maximale Bestimmungsgrenze“ für die geologische Klasse und den untersuchten Parameter festgelegt.

Für die Parameter mit mehr als 80% – in begründeten Fällen mit mehr als 90% (siehe Kapitel 9.4.4) – der Mediane unterhalb der Bestimmungsgrenze wird der Hintergrundwert ebenfalls mit $< BG_{\max}$, also „kleiner als die maximale Bestimmungsgrenze“ für die geologische Klasse und den untersuchten Parameter festgelegt. Diese Einschränkungen sind bei der Einzelfallprüfung von Messwerten gegen die Hintergrundwerte in diesen geologischen Klassen zu berücksichtigen.

Für den Parameter **Quecksilber** liegen 100% der für die Hintergrundbeurteilung herangezogenen Werte (2.507 von 2.507 Messstellen-Medianen) unterhalb der Bestimmungsgrenze. Eine statistische Ableitung von Hintergrundwerten ist aufgrund der vorliegenden Datenbasis mit den entsprechenden analytischen Bestimmungsgrenzen der GZÜV (geforderte Mindestbestimmungsgrenze derzeit 0,1 µg/l) deshalb derzeit nicht möglich. Die erwarteten Hintergrundwerte liegen jedenfalls unterhalb der gegenwärtigen Mindestbestimmungsgrenze von 0,1 µg/l.

Die GZÜV-Daten zeigen aber, dass sich die Quecksilberkonzentrationen im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper durchwegs auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen und als gesundheitlich unbedenklich einzustufen sind, da sie ausnahmslos weit unterhalb des Schwellenwertes der QZV Chemie GW und des Parameterwertes der TWV liegen.

Für die Parameter Aluminium, Cadmium und Blei liegen 94%, 98% und 97% aller Werte unterhalb den entsprechenden Bestimmungsgrenzen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung. Damit ist auch für diese Parameter überwiegend keine statistische Ableitung der Hintergrundkonzentrationen möglich. Die erwarteten Hintergrundwerte liegen fast flächendeckend unterhalb der jeweiligen Mindestbestimmungsgrenzen von 10 µg/l für Aluminium, 1 µg/l für Blei und 0,2 µg/l für Cadmium.

Die Mindestbestimmungsgrenzen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung werden den technischen Möglichkeiten angepasst und betragen entsprechend Richtlinie 2009/90/EG (zur Festlegung technischer Spezifikationen für die chemische Analyse und die Überwachung des Gewässerzustands) höchstens 30% des Schwellenwertes. Zwar können technisch mittlerweile durchaus tiefere Bestimmungsgrenzen erreicht werden, diese sind jedoch häufig mit höheren Kosten verbunden und deshalb nicht verhältnismäßig.



Abbildung 22: Plöcken, Obere Spielbodenalm, Karnische Alpen, Kärnten

TABELLE 7: PARAMETERSPEZIFISCHER DATENUMFANG FÜR DIE HINTERGRUNDBEURTEILUNG (MESSWERT = MESSSTELLEN-MEDIAN)

Parameter	Formel /Symbol	Einheit	Anzahl der Messwerte je Parameter		
			gesamt	<BG/NG	<BG/NG in %
pH-Wert		[-]	2571	0	0
Elektr. Leitfähigkeit		[μ S/cm]	2571	0	0
Sauerstoffgehalt	O ₂	[mg/l]	2550	1	0
Chlorid	Cl ⁻	[mg/l]	2565	223	9
Nitrat	NO ₃ ⁻	[mg/l]	2570	189	7
Nitrit	NO ₂ ⁻	[mg/l]	2565	2182	85
Sulfat	SO ₄ ²⁻	[mg/l]	2571	5	0
Phosphat	PO ₄ ³⁻	[mg/l]	2508	704	28
Hydrogenkarbonat	HCO ₃ ⁻	[mg/l]	2571	0	0
Natrium	Na ⁺	[mg/l]	2570	157	6
Kalium	K ⁺	[mg/l]	2571	355	14
Ammonium	NH ₄ ⁺	[mg/l]	2554	1885	74
Calcium	Ca ²⁺	[mg/l]	2571	0	0
Magnesium	Mg ²⁺	[mg/l]	2571	9	0
Eisen	Fe ²⁺	[mg/l]	2544	1608	63
Mangan	Mn ²⁺	[mg/l]	2554	1971	77
Aluminium	Al	[μ g/l]	2531	2369	94
Arsen	As	[μ g/l]	2507	1948	78
Blei	Pb	[μ g/l]	2533	2315	91
Bor	B	[mg/l]	2529	826	33
Cadmium	Cd	[μ g/l]	2509	2442	97
Chrom, gesamt	Cr	[μ g/l]	2507	2221	89
Kupfer	Cu	[μ g/l]	2530	1326	52
Nickel	Ni	[μ g/l]	2519	1873	74
Quecksilber	Hg	[μ g/l]	2507	2507	100
Uran	U	[μ g/l]	1977	691	35
Zink	Zn	[μ g/l]	2520	400	16

BG...Bestimmungsgrenze, NG...Nachweisgrenze

Für den Parameter **Cadmium** liegen 97% der für die Hintergrundbeurteilung herangezogenen Werte (2.442 von 2.509 Messstellen-Medianen) unterhalb der Bestimmungsgrenze. Eine Ableitung von repräsentativen Hintergrundwerten für die Gesamtfläche Österreichs ist aufgrund der vorliegenden Datenbasis mit den entsprechenden analytischen Bestimmungsgrenzen der GZÜV (geforderte Mindestbestimmungsgrenze derzeit 0,2 μ g/l) deshalb derzeit nicht möglich. Lokal erhöhte Cadmium-Konzentrationen geogener oder anthropogener Natur sind im Grundwasser nachweisbar. Insgesamt bewegen sich die Cadmiumkonzentrationen im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper auf einem sehr niedrigen Niveau und sind als gesundheitlich unbedenklich einzustufen, da sie weit unterhalb des Schwellenwertes der QZV Chemie GW und des Parameterwertes der TWV liegen.

Für den Parameter **Aluminium** liegen 94% der für die Hintergrundbeurteilung herangezogenen Werte (2.369 von 2.533 Messstellen-Medianen) unterhalb der Bestimmungsgrenze. Eine Ableitung von repräsentativen Hintergrundwerten ist aufgrund der vorliegenden Datenbasis mit den entsprechenden analytischen Bestimmungsgrenzen der GZÜV (geforderte Mindestbestimmungsgrenze derzeit 10 μ g/l) derzeit nur für

Geologische Klassen mit geogen erhöhten Aluminiumkonzentrationen möglich. Ebenso lassen sich lokal erhöhte Aluminium-Konzentrationen im Grundwasser geogener oder anthropogener Natur detektieren.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die Aluminiumkonzentrationen im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper auf einem sehr niedrigen Niveau bewegen und bis auf zwei Ausnahmen im Allgemeinen weit unterhalb des Indikatorwertes der TWV liegen.

Auch für den Parameter **Blei** liegen 91% der für die Hintergrundbeurteilung herangezogenen Werte (2.315 von 2.531 Messstellen-Medianen) unterhalb der Bestimmungsgrenze. Eine Ableitung von repräsentativen Hintergrundwerten ist aufgrund der vorliegenden Datenbasis mit den entsprechenden analytischen Bestimmungsgrenzen der GZÜV (geforderte Mindestbestimmungsgrenze derzeit 1 µg/l) derzeit nur für Geologische Klassen mit geogen oder anthropogen erhöhten Bleikonzentrationen möglich. Ebenso lassen sich lokal erhöhte Blei-Konzentrationen geogener oder anthropogener Natur im Grundwasser detektieren.

Insgesamt zeigen die GZÜV-Daten, dass die Bleigehalte im Grundwasser oberflächennaher Grundwasserkörper sehr niedrige Konzentrationen aufweisen und als gesundheitlich unbedenklich einzustufen sind.

10.2 EINFLUSS DER ABGRENZUNG DER GEOLOGISCHEN KLASSEN AUF DIE HINTERGRUNDWERTE

Die Qualität der Unterscheidung der anthropogenen bzw. durch fazielle Besonderheiten beeinflussten Datenpopulation von der Normalpopulation im Wahrscheinlichkeitsnetz ist neben der zugrundeliegenden Datendichte stark von der Abgrenzung der geologischen Klassen als homogene, hydrochemische Einheiten abhängig. In den Auswertungen zeigte sich, dass insbesondere die durch quartäre Sedimente geprägten geologischen Klassen häufig überlagernde Teilpopulationen aufwiesen, die zum einen auf anthropogene Beeinflussungen, zum anderen aber auch auf natürliche Faktoren, wie unterschiedliche Niederschlags-, Redox- oder Bodenbedingungen zurückzuführen sind:

So zeigte sich in der geologischen Klasse C02 – „Quartäre Sedimente – Niederterrassen und Talflur der Donau, Eferdinger Becken bis Tullnerfeld“ eine gewisse Staffelung der Konzentrationsbereiche nach Grundwasserkörpern entlang der Donau beispielsweise für Sulfat, Chlorid und Magnesium (Abbildung 23).

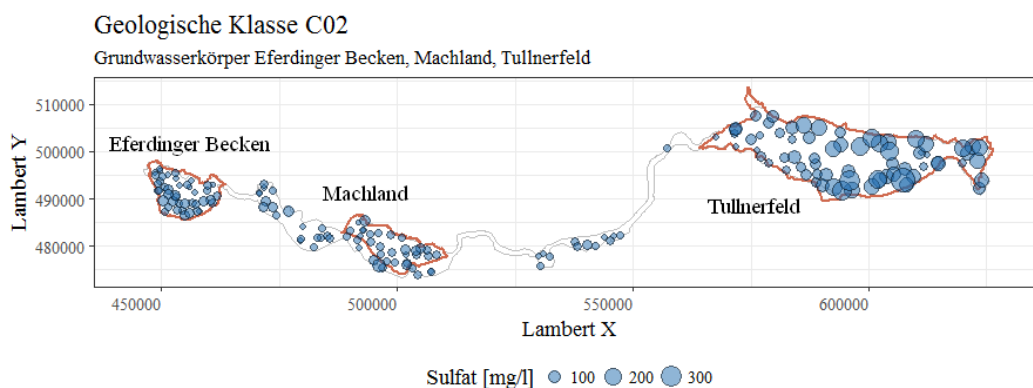


Abbildung 23: Sulfatkonzentrationen in der Geologischen Klasse C02 – „Quartäre Sedimente - Niederterrassen und Talflur der Donau, Eferdinger Becken bis Tullnerfeld“. Die Grenzen der Grundwasserkörper Eferdinger Becken, Machland und Tullnerfeld sind in Rot hervorgehoben. Die geologische Klasse beinhaltet Anteile sechs weiterer Grundwasserkörper.

In der geologischen Klasse C05 – „Quartäre Sedimente – Sedimente der Donau unterhalb Korneuburg inklusive Marchfeld“ prägten sich insbesondere die geochemischen Eigenheiten des Grundwasserkörpers Seewinkel [LRR] beispielsweise in Bezug auf die Parameter Natrium, Sulfat, Arsen und Uran durch (Abbildung 24).

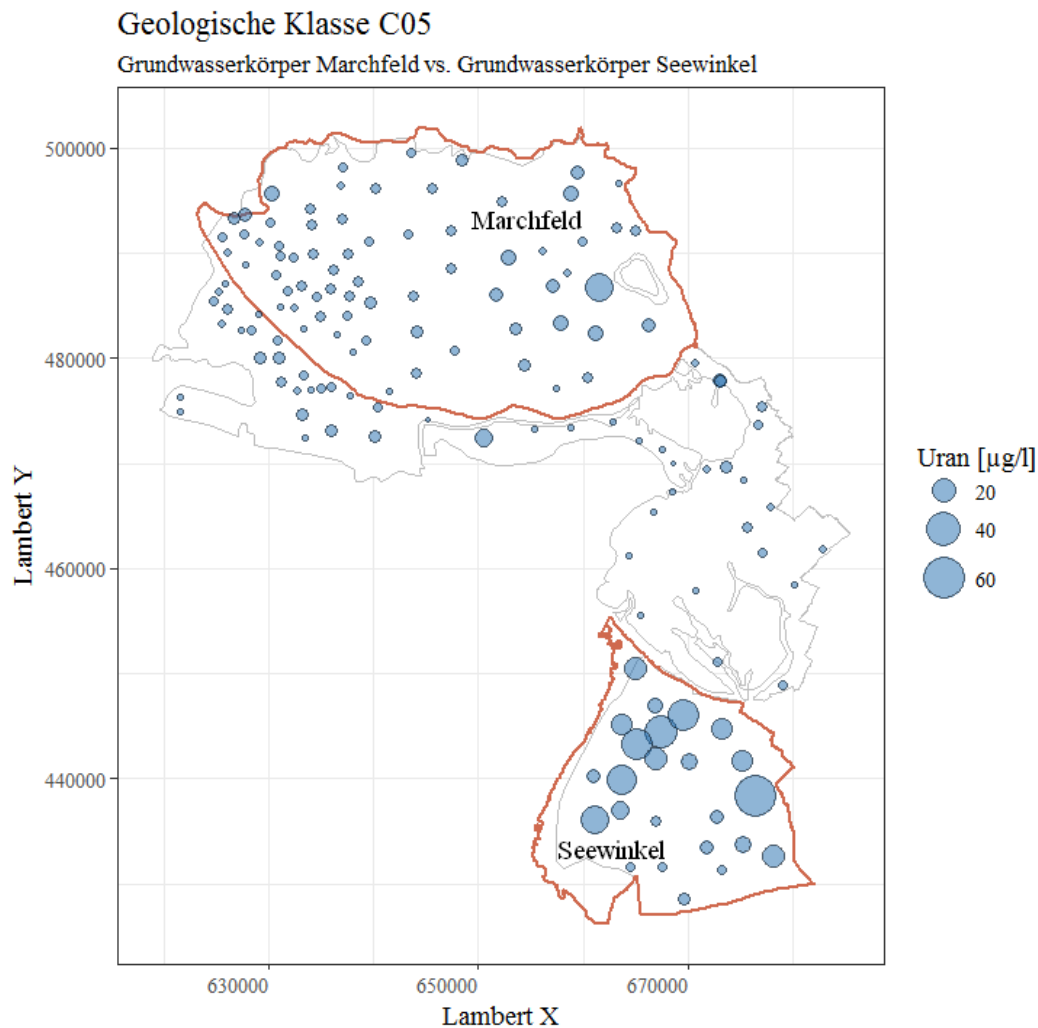


Abbildung 24: Urankonzentrationen in der Geologischen Klasse C05 – „Quartäre Sedimente – Sedimente der Donau unterhalb Korneuburg inklusive Marchfeld“. Die Grenzen der Grundwasserkörper Marchfeld und Seewinkel sind in Rot hervorgehoben. Die geologische Klasse beinhaltet Anteile fünf weiterer Grundwasserkörper.

In der geologischen Klasse C06 – „Quartäre Sedimente – lokale Talfüllungen, Schwemmkegel und Terrassen auf Sedimenten des Neogens“ wiesen insbesondere die steirischen Grundwassermessstellen in Bezug auf die Metalle häufig andere Konzentrationsbereiche auf, als die im Weinviertel oder Schlierhügelland gelegenen Messstellen. Grundwässer in der Südoststeiermark sind häufig durch gespannte Bedingungen (Arteser) und niedrige Sauerstoffkonzentrationen gekennzeichnet.

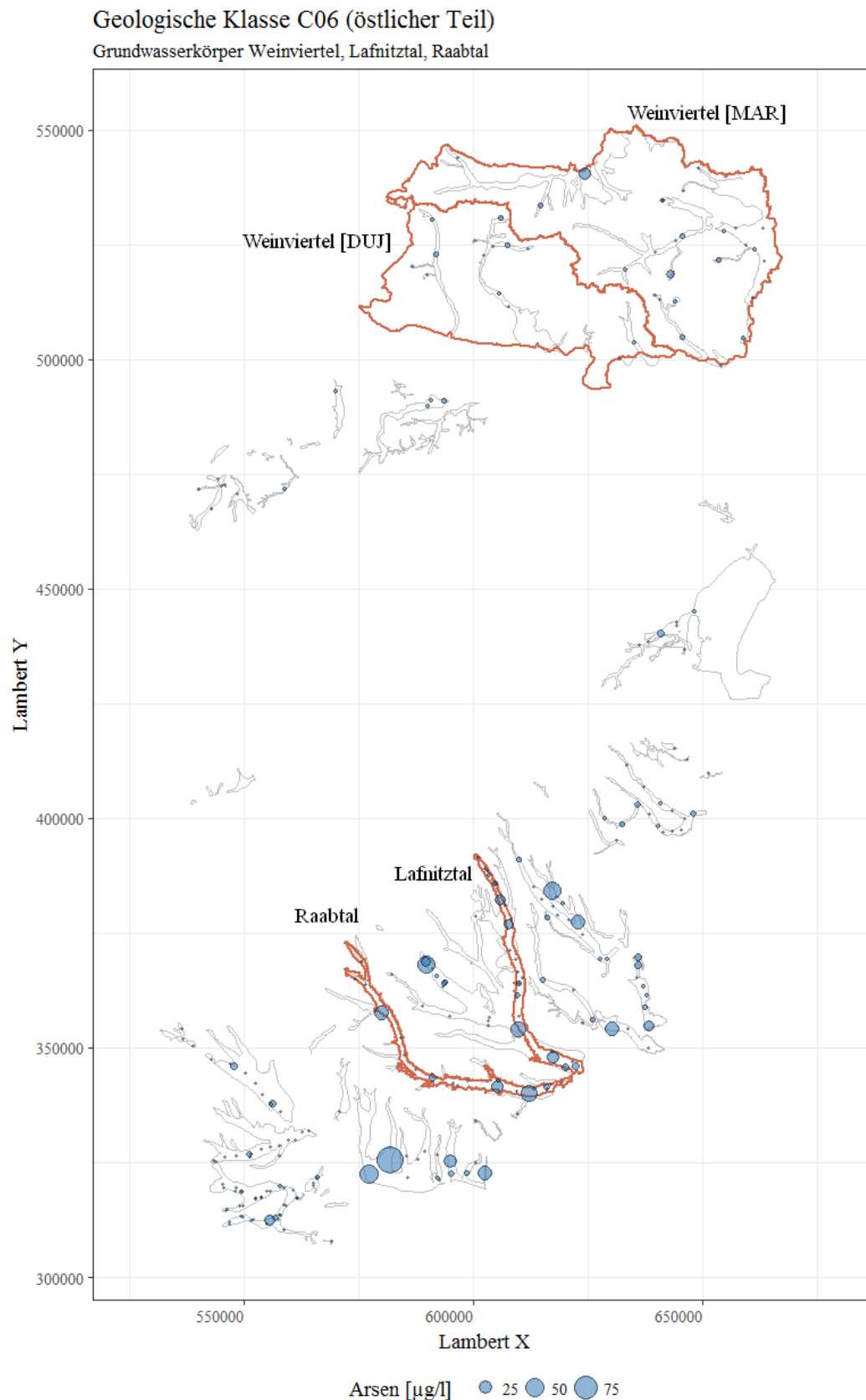


Abbildung 25: Arsenkonzentrationen in der Geologischen Klasse C06 – „Quartäre Sedimente - lokale Talfüllungen, Schwemmkegel und Terrassen auf Sedimenten des Neogens“. Die Grenzen der Grundwasserkörper Weinviertel [DUF] und [MAR], Raabtal und Lafnitztal sind in Rot hervorgehoben. Die geologische Klasse beinhaltet noch Anteile sechs weiterer Grundwasserkörper.

Diese Unterschiede sind bei der Anwendung der Hintergrundkonzentrationen zur Beurteilung von Änderungen der Grundwasserqualität im regionalen Kontext zu berücksichtigen.

10.3 TRENDBEURTEILUNG

Beeinflussungen des Grundwassers durch menschliche Aktivitäten können über die Zeit zu charakteristischen Trends in den Gehalten der Grundwasserbeschaffenheitsparameter führen, welche von natürlichen saisonalen oder periodischen Schwankungen der Grundwasserqualität deutlich abweichen. Trenduntersuchungen wurden deshalb genutzt, um den Grad der menschlichen Beeinflussung auf die Grundwasserparameter in den untersuchten Grundwässern festzustellen.

Eine zusammenfassende Darstellung der Trendauswertungen ist Abbildung 26 zu entnehmen, Details der Tabelle 8.

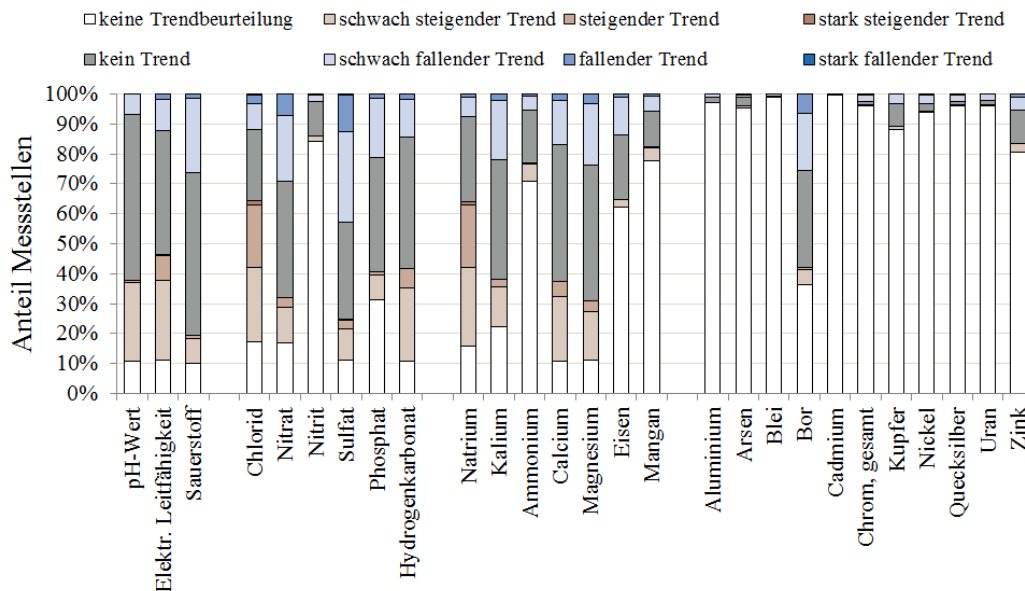


Abbildung 26: Ergebnisse der messstellenspezifischen Trendbeurteilung für die untersuchten Parameter. Für jede Messstelle und den entsprechenden Parameter lagen mindestens jeweils zwei Werte aus sechs aufeinanderfolgenden Jahren vor. Der Anteil der Messwerte je Parameter und Zeitreihe unter der Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenze durfte nicht größer als 60% je Messstelle sein.

Insbesondere für die untersuchten Metalle sowie die Parameter Nitrit, Ammonium, Eisen und Mangan war eine statistisch abgesicherte Trendbeurteilung wegen des hohen Anteils von Werten unter der Bestimmungs- und Nachweisgrenze oder einer unzureichenden Länge der Zeitreihen (zum Beispiel für Uran, Erhebung im Rahmen der GZÜV seit 2013) häufig nicht möglich.

Die Mindestbestimmungsgrenzen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung werden den technischen Möglichkeiten angepasst und betragen entsprechend Richtlinie 2009/90/EG (zur Festlegung technischer Spezifikationen für die chemische Analyse und die Überwachung des Gewässerzustands) höchstens 30% des Schwellenwertes. Zwar können technisch mittlerweile durchaus tiefere Bestimmungsgrenzen erreicht werden, diese sind jedoch häufig mit höheren Kosten verbunden und deshalb nicht verhältnismäßig.

Ein höherer Anteil von Messstellen mit signifikant **fallenden Trends** im Gesamtzeitraum 1997–2017 wurde vor allem für die Parameter Bor, Nitrat und Sulfat festgestellt, während die Parameter Chlorid und Natrium aber auch Hydrogencarbonat und der pH-Wert durch einen höheren Anteil von Messstellen mit signifikant **steigenden Trends** im Zeitraum 1997–2017 gekennzeichnet sind.

Die Ergebnisse der Trendauswertung wurden herangezogen, um die in der Methode zur Ableitung der Hintergrundwerte ermittelten **lokal erhöhten Werte** (= hydrochemischen Anomalien) hinsichtlich einer möglichen anthropogenen Beeinflussung zu beurteilen. Basierend auf der Annahme, dass signifikant fallende und steigende Trends im betrachteten Zeitraum auf menschliche Aktivitäten und nicht – wie beispielsweise saisonale Schwankungen – auf natürliche Variationen zurückzuführen sind, werden alle **lokal erhöhten Werte**, die einem signifikant steigendem bzw. stark steigendem oder fallendem bzw. stark fallenden Trend unterliegen als „anthropogen beeinflusst“ von der Kartendarstellung der Hintergrundwerte ausgeschlossen. Weisen die als „lokal erhöhte Werte“ identifizierten Messstellen nur einen **schwach** fallenden oder steigenden Trend auf, verbleiben sie im Datensatz.

TABELLE 8: PARAMETERSPEZIFISCHE ERGEBNISSE DER TREND AUSWERTUNG.

Parameter	Einheit	Anzahl		Trendbeurteilung						
		n	n*	schwach fallend	fallend	stark fallend	kein Trend	schwach steigend	steigend	stark steigend
pH-Wert	[-]	2571	280	170	5	0	1421	676	19	0
Elektr. Leitfähigkeit	[µS/cm]	2571	289	267	48	0	1066	678	220	3
Sauerstoffgehalt	[mg/l]	2550	261	630	36	0	1392	207	24	0
Chlorid	[mg/l]	2565	444	222	79	7	603	638	532	40
Nitrat	[mg/l]	2570	433	565	181	4	994	309	84	0
Nitrit	[mg/l]	2565	2155	59	6	0	295	46	4	0
Sulfat	[mg/l]	2571	283	776	315	9	836	276	74	2
Phosphat	[mg/l]	2508	784	491	39	0	961	211	22	0
Hydrogenkarbonat	[mg/l]	2571	280	329	43	0	1126	624	167	2
Natrium	[mg/l]	2570	408	164	30	2	732	669	538	27
Kalium	[mg/l]	2571	569	510	51	2	1029	351	59	0
Ammonium	[mg/l]	2554	1812	120	20	1	447	143	10	1
Calcium	[mg/l]	2571	280	383	53	1	1175	550	129	0
Magnesium	[mg/l]	2571	283	525	83	1	1167	418	94	0
Eisen	[mg/l]	2544	1586	316	31	0	546	57	8	0
Mangan	[mg/l]	2554	1988	130	21	0	299	102	14	0
Aluminium	[µg/l]	2531	2459	28	0	0	43	1	0	0
Arsen	[µg/l]	2507	2388	20	5	0	72	19	3	0
Blei	[µg/l]	2533	2503	13	2	0	15	0	0	0
Bor	[mg/l]	2529	918	483	162	1	820	127	18	0
Cadmium	[µg/l]	2509	2499	4	1	0	4	1	0	0
Chrom, gesamt	[µg/l]	2507	2403	52	11	1	27	12	1	0
Kupfer	[µg/l]	2530	2229	80	0	0	190	28	3	0
Nickel	[µg/l]	2519	2364	80	5	0	60	9	1	0
Quecksilber	[µg/l]	2507	2403	52	11	1	27	12	1	0
Uran	[µg/l]	1977	1901	44	1	0	26	5	0	0
Zink	[µg/l]	2520	2028	115	24	0	274	74	5	0

n...Anzahl der ausgewerteten Messstellen, n*...Anzahl der Messstellen, für die aufgrund unzureichender Datenlage keine Trendbewertung durchgeführt wurde

11 HINTERGRUNDWERTE – ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER EINZELPARAMETER

(H. BRIELMANN, U. WEMHÖNER, I. ZIERITZ, T. ROSMANN)

IN DIESEM KAPITEL WERDEN die für die einzelnen Grundwasserbeschaffenheitsparameter ermittelten Konzentrationsspannen und Hintergrundwerte dargestellt.

Neben allgemeinen Informationen zu den jeweiligen Parametern werden Angaben zu ihrem natürlichen Schwankungsbereich, ihren potentiellen anthropogenen Hauptquellen sowie ihren Wirkungen und Gebrauchseigenschaften gemacht. Ebenfalls dargestellt sind die parameterspezifischen relevanten Prüfwerte für das Grund- und Trinkwasser. Dazu wird insbesondere auf die Hydrochemische Karte Österreichs (2017), den Geochemischen Atlas von Österreich und die bundesweite Darstellung der Bach- und Flusssedimentgeochemie (GBA 2015), auf die Standardwerke von MATTHESS (1973) und KÖLLE (2017) und die einschlägigen gesetzlichen Regelungen (QZV Chemie GW, BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F, TWV, BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) zurückgegriffen.

Die Konzentrationsverteilung der einzelnen Parameter in den jeweiligen geologischen Klassen sowie die von der jeweiligen Normalpopulation abweichenden und als **lokal erhöhte Werte** identifizierten Datenpunkte werden mittels Boxplots (siehe auch Kapitel 9.4.1) dargestellt und diskutiert.

Die österreichweit für die geologischen Klassen und 27 untersuchten Parameter ermittelten Hintergrundwerte werden in Kartendarstellungen veranschaulicht. Bei den in den Karten dargestellten Hintergrundwerten handelt es sich im Normalfall um die obere Schranke des Hintergrunds, also das 90%-Perzentil des betrachteten Parameters, demnach 90% der Werte darunterliegen. Ausnahmen bilden die Darstellung der Sauerstoffkonzentrationen und das pH-Wertes, hier werden jeweils die Mediankonzentrationen je geologischer Klasse dargestellt. Für diese beiden Parameter erschien die Darstellung der mittleren Bedingungen sinnvoller als eine Über- oder Unterschreitungsgrenze. Die obere und untere Schranke der Hintergrundkonzentrationen sind jeweils den Datenblättern der geologischen Klassen zu entnehmen.

Die Hintergrundwerte der einzelnen geologischen Klassen werden für die Kartendarstellung parameterweise in Klassen der Hintergrundwerte zusammengefasst. Die Bandbreite der jeweiligen Klassen ist der Kartenlegende zu entnehmen. Niedrige Konzentrationsbereiche weisen einen hellen Blauton auf, hohe Konzentrationsbereiche einen dunklen. Geologische Klassen, die über keine ausreichende Datengrundlage zur Ableitung von Hintergrundwerten verfügen, sind weiß dargestellt.

Ist die obere Grenze der niedrigsten Klasse des Hintergrunds in der Kartendarstellung die maximale Bestimmungsgrenze eines Parameters, so besitzt diese Konzentrationsklasse keine untere Grenze, andernfalls bildet der niedrigste Hintergrundwert einer geologischen Klasse die untere Grenze. Die obere Grenze der höchsten Klasse des Hintergrunds in der Kartendarstellung bildet in der Regel der höchste Hintergrundwert eines geologischen Parameters. Auf diese Weise ist die gesamte Spannbreite der Hintergrundwerte eines Parameters aus der Karte ablesbar.

Auf eine Kartendarstellung für Quecksilber wurde verzichtet, da für diesen Parameter alle Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen.

Zusätzlich zu den flächenhaft abgeleiteten Hintergrundwerten sind aus der Karte die mittels der Komponententrennung ausgewiesenen lokal erhöhten, im Falle vom pH-Wert im Vergleich zum

Hintergrundwert deutlich verminderten Werte als Punktdarstellungen ersichtlich. Im Falle von Sauerstoff wurde keine Komponententrennung durchgeführt. Hier sind auf der Karte, die als sauerstofffrei ($\leq 0,5$ mg/l) bezeichneten Mediankonzentrationen einzelner Messstellen in orange dargestellt, die den Indikatorparameterwert des Österreichischen Lebensmittelbuches von 3 mg/l Sauerstoff unterschreitenden und als sauerstoffarm charakterisierten Messstellen-Mediane in Gelb.

Diese punktuellen Daten sind für die Kartendarstellung ebenfalls in Konzentrationsklassen zusammengefasst worden. Dabei ist der niedrigste Konzentrationsbereich gelb eingefärbt. Messstellen, an denen die Mediane einen Richtwert wie beispielsweise der Schwellenwert der QZV Chemie GW oder die Parameter- und Indikatorparameterwerte der Trinkwasserverordnung überschritten werden, sind in der Karte mit einem roten Punkt widergegeben. Dabei bildet der entsprechende Richtwert die untere Grenze dieser Punktklasse, der höchste tatsächlich gefundene Wert die obere Grenze.

In den Karten sind ferner Staats- und Bundeslandgrenzen, die Grenzen der oberflächennahen Einzelgrundwasserkörper, Landeshauptstädte sowie der Neusiedlersee und der Bodensee dargestellt.

11.1 ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT

ALLGEMEINES

Die elektrische Leitfähigkeit erlaubt eine unspezifische, pauschale Aussage über die Gesamtkonzentration der in einem Wasser enthaltenen Ionen. Sie beruht auf der Fähigkeit der im Wasser gelösten Ionen elektrischen Strom zu transportieren. Sie wird meist in „ $\mu\text{S}/\text{cm}$ “ und – da sie temperaturabhängig variiert – unter Angabe der Referenztemperatur angegeben. Je mehr Ionen in einem Wasser gelöst sind, desto höher ist die elektrische Leitfähigkeit.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Die elektrische Leitfähigkeit hängt in erster Linie von den anstehenden Gesteinen und den Verweilzeiten des Wassers im Untergrund ab. Mineralstoffarme Grundwässer weisen im Allgemeinen elektrische Leitfähigkeiten im Bereich von 100 bis 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (bei 25°C) auf, Lagerstättenwässer > 100.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (bei 25°C) (MATTHESS 1990, KÖLLE 2017).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Menschliche Aktivitäten, die einen Anstieg Ionenkonzentration – insbesondere der Hauptionen wie Hydrogenkarbonat, Calcium, Magnesium, Chlorid und Sulfat – im Grundwasser bewirken, führen zu einem Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit. Sie ist deshalb ein guter und einfach zu bestimmender Indikatorparameter für Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 9: ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [$\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	2250
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	2500

HINTERGRUNDWERTE

Die Hintergrundkonzentrationen der elektrischen Leitfähigkeit (bei 20°C) aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa 83 bis 1545 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Zieht man die elektrische Leitfähigkeit als Indikator für die Gesamtmineralisation der Wässer heran, so weisen die Wässer in den Graniten, Granitdioriten und Paragneisen des Kristallin der Böhmisches Masse (A01, A02) die geringsten Mineralgehalte auf, ebenso die Wässer in den Orthogneisen (H03), in den Metavulkaniten und Serpentiniten (H04) sowie im unterostalpinen Basement (I01) des Oberostalpinen Kristallin.

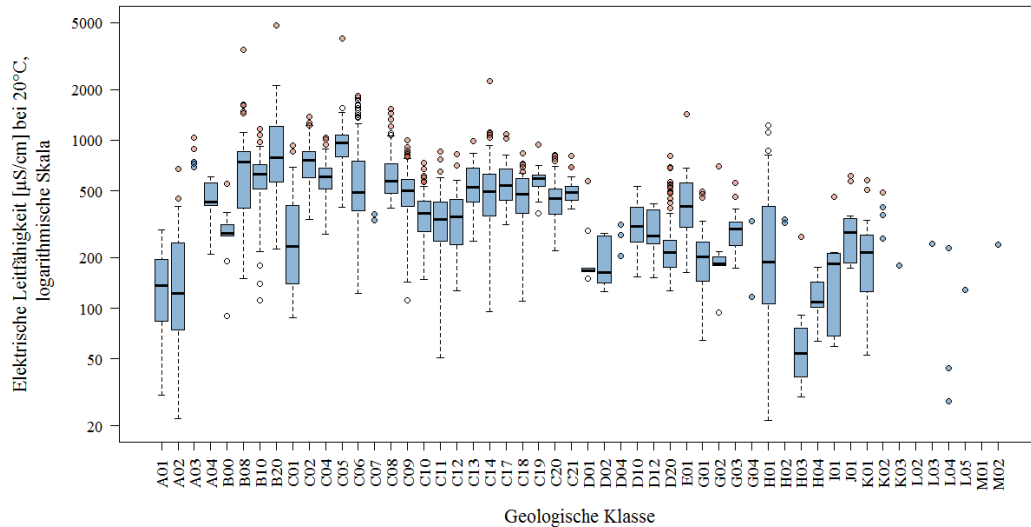


Abbildung 27: Boxplot-Darstellung der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, ist die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt.

Hohe elektrische Leitfähigkeiten finden sich vor allem in den Tertiären Sedimenten der Molassezone, des Wiener und Steirischen Beckens (B08, B10, B20) sowie in den Quartären Sedimenten des Seewinkels und des Marchfelds (C05), des Neogens (C06) und entlang der Donau (C02). Im Seewinkel prägen sich die salzhaltigen Wässer im Bereich der Sodalacken durch. In den genannten quartären Gebieten ist außerdem von einer ubiquitären anthropogenen Überprägung und entsprechenden Beeinflussung der Mineralisation der Grundwässer auszugehen. So können beispielsweise Düngung, Abwässer, Deponien oder Streusalzanwendung zu einer Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit führen.



Abbildung 28: Eis am Fluss

KARTE ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

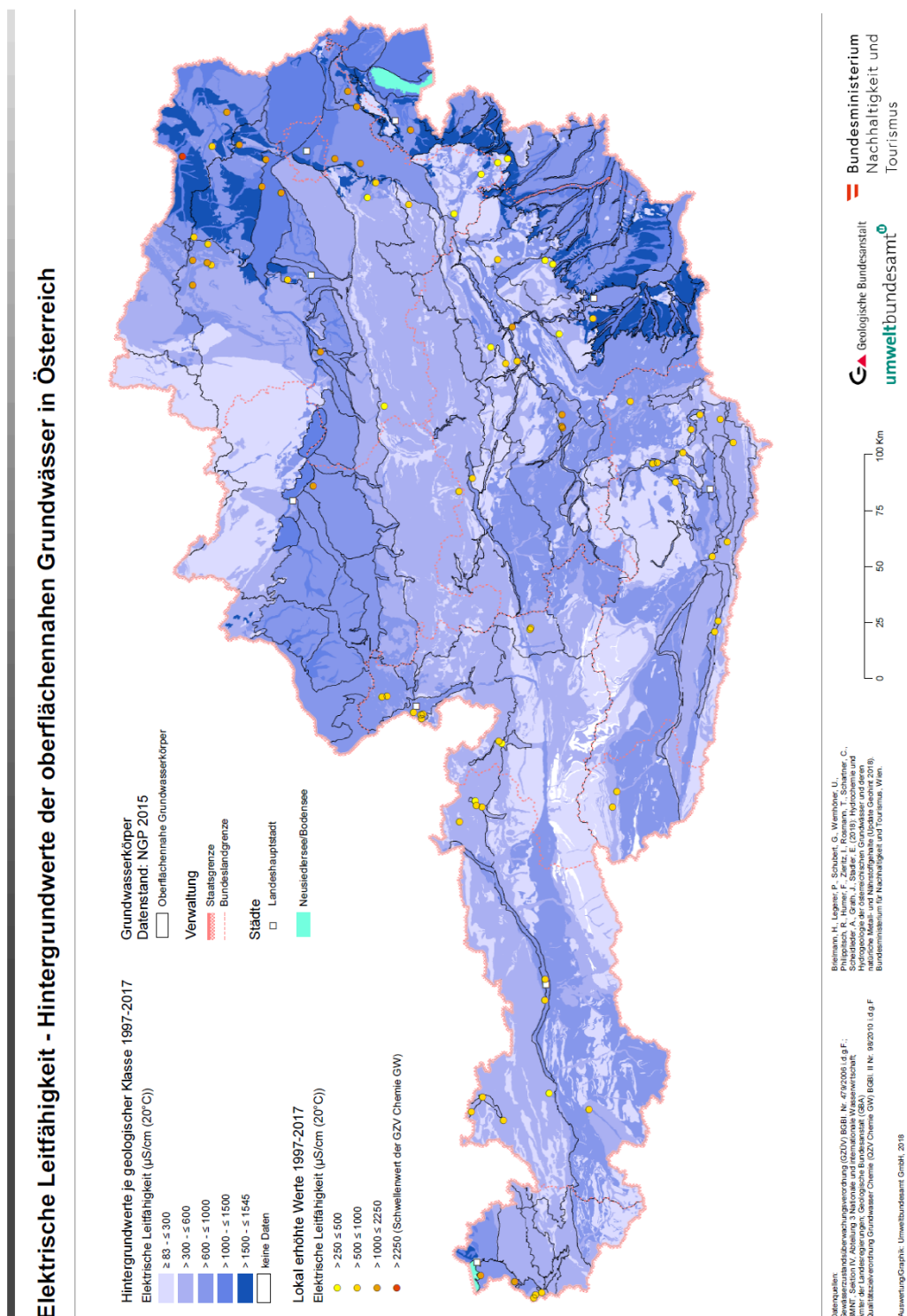


Abbildung 29: Elektrische Leitfähigkeit – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.2 PH-WERT

ALLGEMEINES

Der pH-Wert ist definiert als negativer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration. Er ist die Maßzahl für den sauren oder alkalischen Charakter einer wässrigen Lösung. Reines Wasser hat einen pH-Wert von 7, das Niederschlagswasser ist im Allgemeinen durch das aus der Atmosphäre aufgenommene CO₂ leicht sauer mit einem pH-Wert um 5,6 (KÖLLE 2017) und die der Magensäure bereits um 2. Stickoxid- und Schwefeldioxidemissionen aus Verbrennungsprozessen, Wald- und Steppenbränden oder vulkanischen Aktivitäten können den pH-Wert weiter absenken. Waschmittel und Laugen sind im Gegensatz stark alkalisch mit pH-Werten zwischen 10 und 14.

In der Bodenzone verstärkt sich diese Tendenz durch den Abbau organischer Bodensubstanz zu Humin- und Fulvosäuren. Mit dem mikrobiellen Abbau der organischen Substanz zu Kohlendioxid – während des vertikalen Transport des Sickerwassers und dem folgenden lateralen Transport im Grundwasserleiter – nimmt der pH-Wert in Abhängigkeit von der Verweilzeit und der Reaktivität der anstehenden Gesteine im Allgemeinen wieder zu.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Karbonatische Grundwasserkörper weisen normalerweise neutrale bis alkalische pH-Werte auf. Grundwasser, das durch silikatisches Material beeinflusst wird, zeigt niedrigere pH-Werte. Auch die Pyritoxidation kann zum Absinken von pH-Werten führen. Diese kann durch den Eintrag von Sauerstoff durch Grundwasserabsenkung oder durch den Eintrag von Nitrat als Oxidationsmittel in pyrithaltige Schichten ausgelöst werden. Versauerung bewirkt die Mobilisierung zahlreicher Schwermetalle, da deren Löslichkeit mit abnehmenden pH-Wert ansteigt. Dies gilt beispielsweise für Blei, Cadmium, Chrom, Eisen, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink.

Die pH-Werte in natürlichen Wässern liegen im Allgemeinen zwischen 5 und 8. Hohe pH-Werte (> 8,5) sind in Natriumkarbonat-haltigen Wässern zu erwarten, sehr niedrige (< 4,0) beispielsweise in sauren Grubenwässern (MATTHESS 1973).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Atmosphärische Einträge von sauren Niederschlagswässern durch Industrieemissionen, landwirtschaftliche Aktivitäten wie die Nitrat- oder Kalkdüngung oder Bergbauaktivitäten können zu erheblichen Änderungen der natürlichen pH-Werte führen.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Chemische und biologische Prozesse werden durch den pH-Wert gesteuert. Stark saure und alkalische Bedingungen wirken toxisch auf Organismen.

Der pH-Wert hat großen Einfluss auf die Korrosion von Werkstoffen, beispielsweise bei Trinkwasserleitungen. Unter einem pH-Wert von 7,0 sollte kein Kupfer im Trinkwasser-Leitungsbau verwendet werden, bei einem pH-Wert < 7,5 kein verzinkter Stahl (Lebensmittelbuch Codex B1 Trinkwasser).

TABELLE 10: PH-WERT – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert []
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	6,9 – 9,5

HINTERGRUNDWERTE

Der Hintergrund des pH-Wertes aller untersuchten Wässer (untere und obere Schranke) umfasst einen Bereich von 5,8 bis 8,2, also von sauer bis alkalisch. Saure Wässer werden vor allem in den silikatischen Gesteinen des Kristallin der Böhmisches Masse (A01, A02) angetroffen. Die meisten Grundwässer zeigen jedoch pH-Werte im neutralen bis leicht basischen Bereich. Alkalische Wässer treten vor allem in den überwiegend karbonatischen Sedimenten des Mesozoikums und Perms (D01, D02, D04, D10, D12, D20) auf.

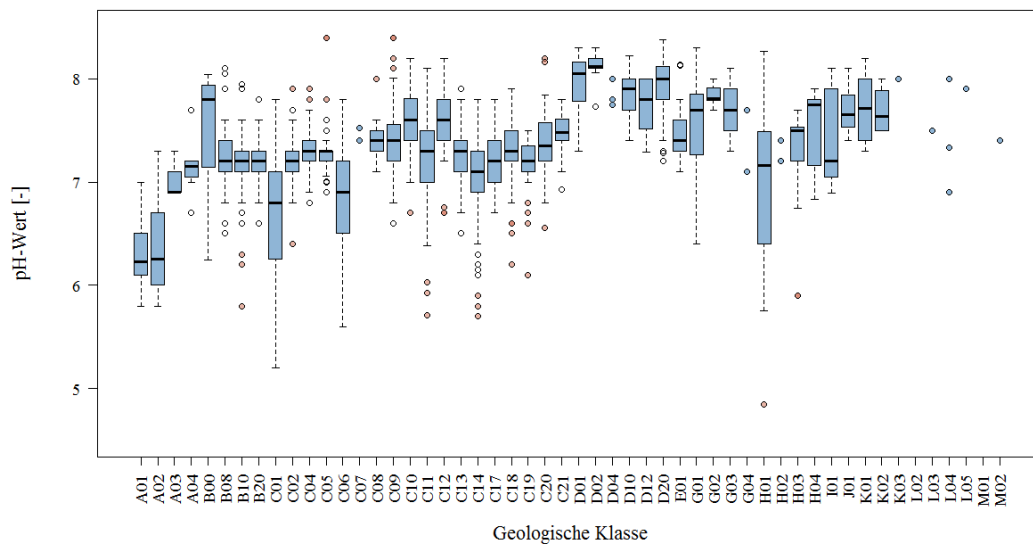


Abbildung 30: Boxplot-Darstellung der Verteilung des pH-Wertes in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt.

Größere Spannweiten des pH-Wertes zeigen die geologischen Klassen C01 mit den sauren Grundwässern in der Böhmisches Masse und die geologische Klasse C06 mit den sauren Grundwässern in den steirischen und burgenländischen Talfüllungen. In der geologischen Klasse H01 zeigen vor allem die Wässer des Koralmkristallins niedrige pH-Werte.



Abbildung 31: Bodenaufbau bei Obersiebenbrunn, Marchfeld, Niederösterreich

KARTE PH-WERTE - MEDIANWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

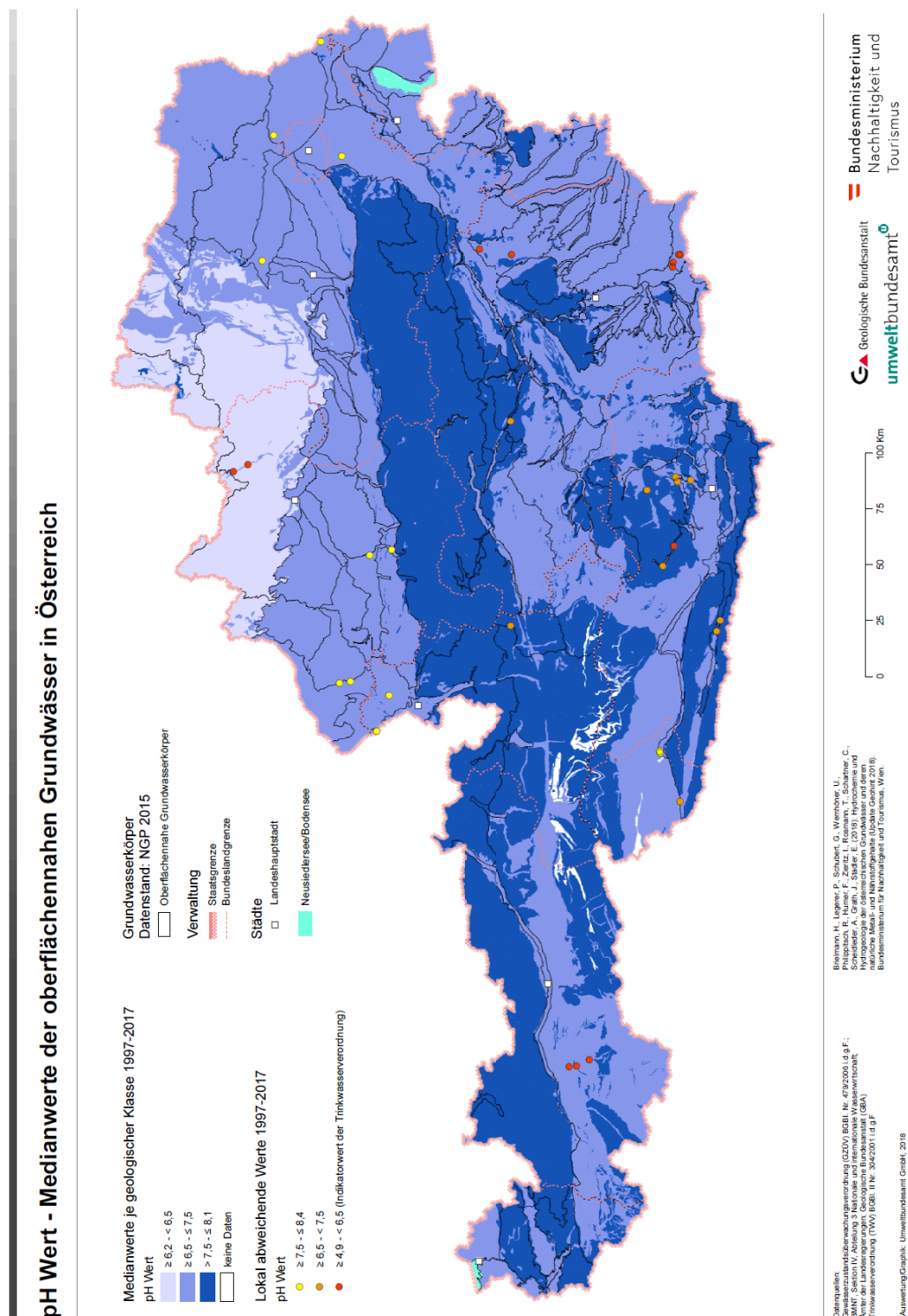


Abbildung 32: PH-Werte – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.3 SAUERSTOFFGEHALT

ALLGEMEINES

Sauerstoff ist das häufigste Element der Erdkruste, wo er in chemisch gebundener Form vorliegt. Freier Sauerstoff befindet sich in der Luft und im Wasser. Der weitaus meiste Sauerstoff ist in Form von Wasser, in Mineralen und Organismen gebunden. Sauerstoff ist ein sehr reaktives Element und daher an einer Fülle (bio-) chemischer Prozesse beteiligt.

Der Sauerstoffgehalt charakterisiert das chemische Milieu des Grundwassers und ist daher für die Bewertung der im Grundwasser ablaufenden chemischen und biologischen Prozesse bedeutsam. Im oxidierten Milieu liegen Sauerstoff und Nitrat vor, während reduzierte Komponenten wie z. B. Ammonium, Nitrit, zweiwertiges Eisen und zweiwertiges Mangan fehlen. Umgekehrt verhält es sich im reduzierten Milieu, das durch das Fehlen bzw. den Abbau von Sauerstoff und Nitrat (Denitrifikation) gekennzeichnet ist, während gleichzeitig Eisen, Mangan sowie Ammonium und Nitrit in höheren Konzentrationen auftreten. In Extremfällen kommt es auch zur Sulfatreduktion und Bildung von Schwefelwasserstoff (Desulfurikation) oder Methanbildung (Methanogenese).

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Sauerstoff wird über versickerndes Regenwasser in das Grundwasser eingetragen. Die Löslichkeit des Sauerstoffs in Wasser nimmt mit zunehmender Temperatur ab. Bei etwa 15°C beträgt die Sauerstoffsättigung des Wassers 10 mg/l. Zehrungsprozesse können einen Rückgang des Sauerstoffgehaltes im Grundwasser bewirken: Der mikrobielle Abbau organischer Substanz und die Oxidation reduzierter Verbindungen wie z.B. Eisensulfiden bewirken eine Sauerstoffzehrung bis hin zu gänzlichem Verbrauch des gelösten Sauerstoffs.

Die Grenze zwischen oxidierten und reduzierten Bedingungen ist von verschiedenen Faktoren abhängig, ein klar definierter Wert lässt sich demnach nicht angeben. Grundwässer mit einer Sauerstoffkonzentration von weniger als 1 bis 1,5 mg/l gelten im Allgemeinen als reduziert. Bei einer Sauerstoffkonzentration über 5 mg/l sind Grundwässer im Wesentlichen frei von zweiwertigem Eisen, zweiwertigem Mangan, Ammonium und Schwefelwasserstoff (KUNKEL et al. 2004). Die Sauerstoffkonzentration im Grundwasser liegt im Allgemeinen zwischen 2 und 8 mg O₂/l (KUNKEL et al. 2004).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Anthropogene Einflüsse, vor allem der Eintrag organischer Substanz, können zur Zehrung von Sauerstoff im Grundwasser beitragen.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Für nahezu alle Organismen ist freier Sauerstoff überlebensnotwendig.

Der Sauerstoffgehalt ist relevant für die Redoxverhältnisse im Grundwasser, die u.a. für die Löslichkeit verschiedener Metalle im Grundwasser ausschlaggebend sein können. Beispielsweise gehen Eisen, Mangan und Arsen bei reduzierenden Verhältnissen in Lösung. Werden für Trinkwasserleitungen ungeschützte Graugussleitungen oder Stahlleitungen verwendet, ist aus Gründen des Korrosionsschutzes eine Mindestsauerstoffkonzentration einzuhalten. Die Angaben hierfür schwanken zwischen 2 und 5 mg/l. Generell ist bei einer höheren Sauerstoffkonzentration von einer besseren Ausbildung einer Schutzschicht auszugehen (KÖLLE 2017).

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

Weder in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser noch in der Trinkwasserverordnung sind Prüfwerte für Sauerstoff festgeschrieben. Im Österreichischen Lebensmittelbuch (ÖLMB Codexkapitel/ B1/Trinkwasser, Anhang 3) ist zur Sicherstellung der Trinkwasserqualität für Sauerstoff ein Mindestwert von $3 (\pm 0,5)$ mg/l festgelegt.

HINTERGRUNDWERTE

Der Hintergrundkonzentrationen der Sauerstoffgehalte aller untersuchten Wässer (untere und obere Schranke) umfasst einen Bereich von 0,1 bis 11,6, also von nahezu sauerstofffrei bis sauerstoffreich. Viele geologischen Klassen weisen sowohl Bereiche mit sauerstofffreien und sauerstoffarmen (< 3 mg/l O_2) als auch Bereiche mit sauerstoffreichen Grundwässern auf. Sauerstofffrei bzw. -arm sind beispielsweise die durch gespannte/artesische Wässer beeinflussten Porengrundwassergebiete im Burgenland und in der Steiermark. Niedrige Sauerstoffgehalte sind außerdem charakteristisch für das Grundwasser im Rheintal, für Aubereiche entlang der Donau oder durch Tiefengrundwasser beeinflusste Bereiche. Auch moorige Bereiche, wie beispielsweise im Ennstal können aufgrund des hohen Anteils organischer Substanz und der damit einhergehenden Sauerstoffzehrung im Grundwasser niedrige Sauerstoffkonzentrationen aufweisen.

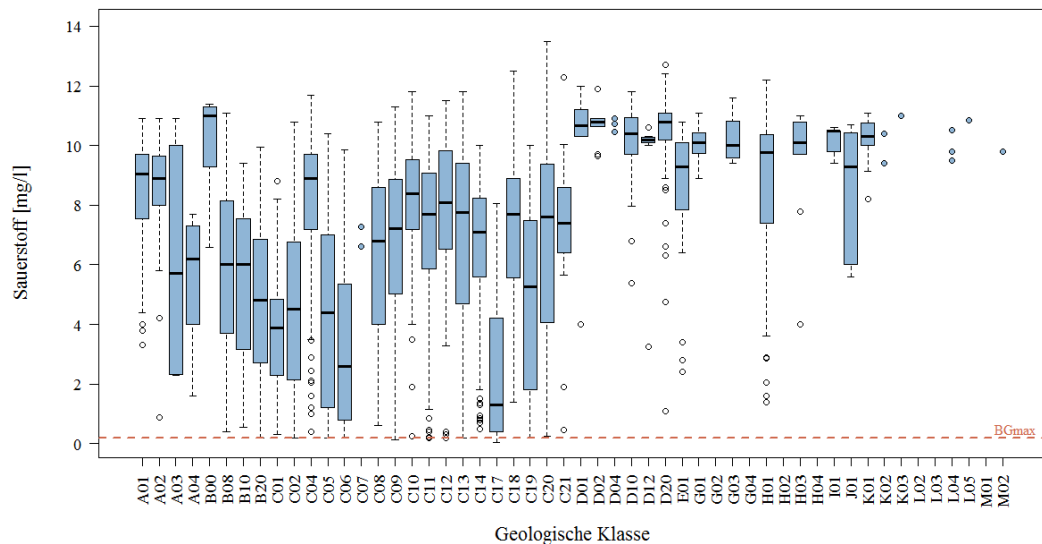


Abbildung 33: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Sauerstoffkonzentrationen in den geologischen Klassen. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Höhere Sauerstoffkonzentrationen > 8 mg/l sind beispielsweise häufig in den Grundwasserkörpern der Kalkalpen mit ihren zahlreichen Quellen zu finden. Auch die Grundwasserkörper der Flyschzone, des Helvetikums und der Zentralzone sind überwiegend sauerstoffreich.

KARTE SAUERSTOFF - MEDIANWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

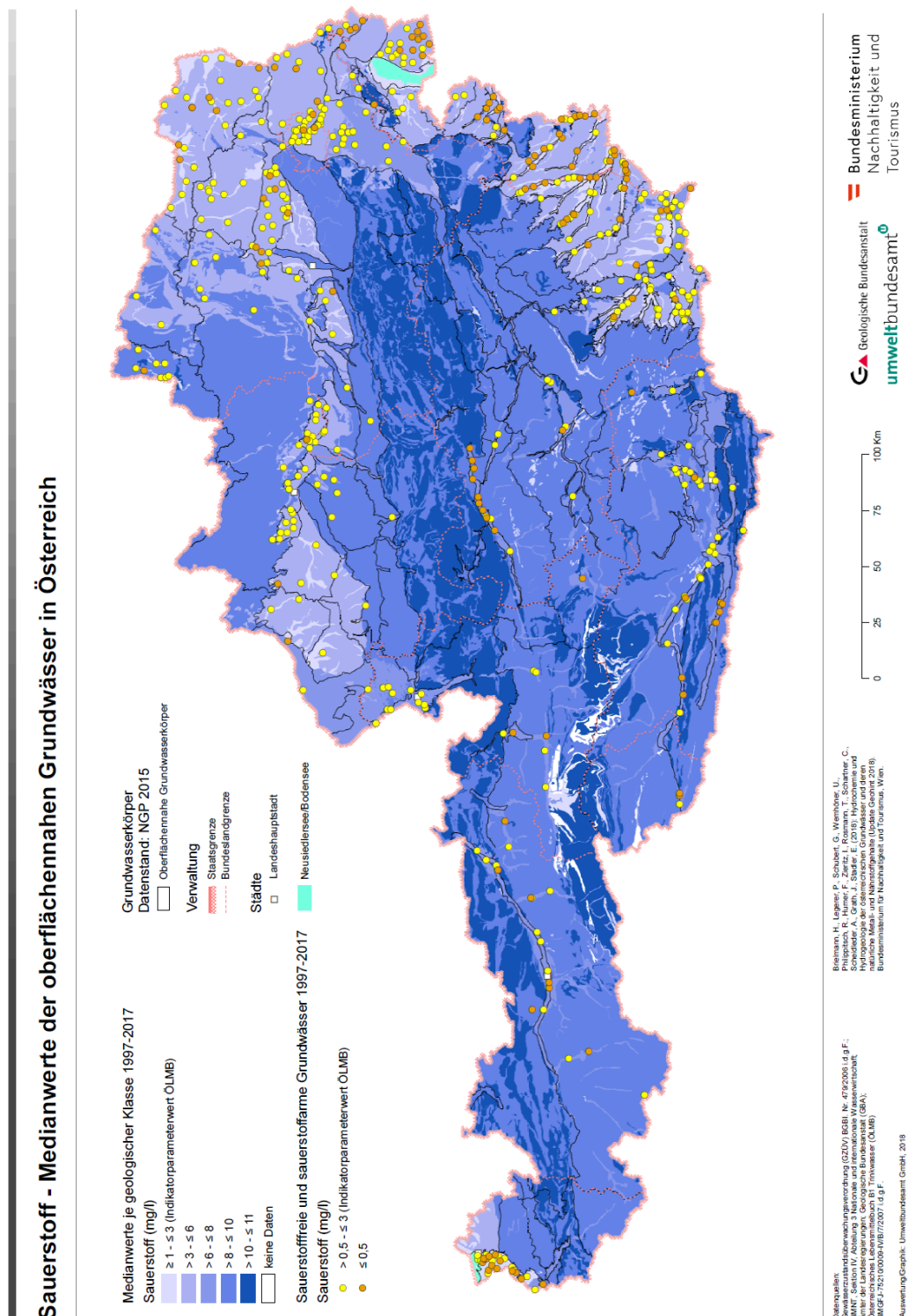


Abbildung 34: Sauerstoff – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.4 CALCIUM

ALLGEMEINES

Calcium gehört zur Gruppe der Erdalkalimetalle. Es ist das fünfthäufigste Element der Erdkruste. Aufgrund seiner hohen Reaktionsfähigkeit tritt es nicht elementar, sondern nur in chemisch gebundener Form bzw. gelöst als Kation auf. Hinsichtlich des mengenmäßigen Anteils gehört Calcium zu den wichtigsten Wasserinhaltsstoffen und weist eine hohe Löslichkeit auf.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Die höchsten Calciumgehalte liegen in Karbonatgesteinen, insbesondere Kalkstein und Dolomit, vor (Tabelle 11). Calcium ist auch in vielen Tonmineralen und Silikaten enthalten.

Wichtige Calciumminerale sind beispielsweise Calcit (CaCO_3), Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Anhydrit (wasserfreies Calciumsulfat) und Apatite (vorwiegend aus Calcium- und Phosphat-Ionen bestehende Mineralien).

TABELLE 11: CALCIUM - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Calcium [mg/kg]
Magmatite	36.200
Sandsteine	22.400
Tongesteine	22.500
Karbonatgesteine	272.000
Evaporite	11.100
Meerwasser	411

Calcium kann in größeren Mengen aus Karbonatgesteinen oder Gipslagerstätten gelöst werden. Die Calciumkonzentration im Wasser wird im Wesentlichen durch das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht gesteuert. In Verbindung mit Kohlendioxid und Hydrogencarbonat wirkt es in Wasser als Puffer für den pH-Wert ($\text{pH} > 6$), wobei aus Kalken und Mergeln, bei niedrigen pH-Werten auch aus Tonmineralen und anderen Silikaten Calcium-Ionen zur Neutralisierung von Säuren im Boden freigesetzt werden.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Wässer, die weder Nitrat noch Sulfat enthalten und lediglich Hydrogencarbonat als wichtigstes Anion aufweisen, weisen im Allgemeinen Calciumgehalte $< 100 \text{ mg/l}$ auf. Erhöhte Kohlendioxidgehalte im Grundwasser können Calciumkonzentrationen deutlich über diesem Wert bewirken. In Österreich wiesen Karst- und Kluftgrundwässer für den Auswertzeitraum 2006–2015 eine Mediankonzentration von 37 mg/l , Porengrundwasser eine Mediankonzentration von 87 mg/l Calcium auf (BMLFUW 2017).

Der Austausch gegen Natrium-Ionen führt zu einer Verringerung der Calciumgehalte im Grundwasser. Beispielsweise wurde dieser Prozess im Rahmen der Genese von Tiefengrundwässern im Oststeirischen Becken anhand eines zunehmenden $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ -Verhältnisses beobachtet (SCHUBERT 2015).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

In der Landwirtschaft wird Calcium in Dünger, zur Verbesserung der Bodenstruktur und Pufferung des Boden-pH-Wertes eingesetzt. Das kann zum Anstieg der Härte in landwirtschaftlich beeinflussten Grundwässern führen. Weitere Verwendung finden Calciumverbindungen in der Bau-, Papier- und

Kunststoffindustrie aber auch als Zuschlagsstoff in der Metallverhüttung und chemischen Industrie. Ferner kann Calcium über Straßenabwässer in die aquatische Umwelt gelangen, da Calciumchlorid als Streusalz Verwendung findet.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Für Tiere und Pflanzen stellt Calcium ein essentielles bzw. lebensnotwendiges Element dar.

Calcium-Ionen bewirken gemeinsam mit Magnesium-Ionen maßgeblich die Härte des Wassers. Calcium wird in Bezug auf den Geschmack als „süß“ empfunden (SIROCKO 2012). Gemäß Mineralwasser- und Quellwasserverordnung (BGBl. II Nr. 309/1999 i.d.g.F.) dürfen Mineralwässer als „calciumhaltig“ bezeichnet werden, wenn die Calciumkonzentration 150 mg/l übersteigt. Liegt der Calciumgehalt unter 175 mg/l, dürfen Mineralwässer als „geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ deklariert werden.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

Weder die Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser noch die Trinkwasserverordnung enthalten Prüfwerte für Calcium.

HINTERGRUNDWERTE

Die Calciumhintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa 11,8 bis 150,2 mg/l. Vor allem die silikatischen Grundwässer des Kristallin der Böhmisches Masse (A01, A02) als auch des Ostalpinen Kristallins weisen niedrige Calciumgehalte im Bereich einiger Zehner mg/l auf.

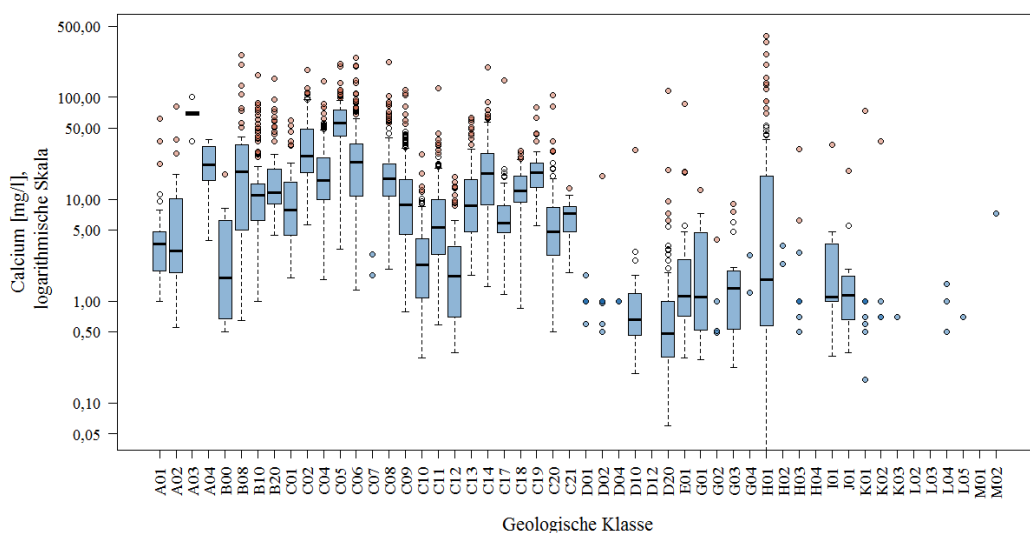


Abbildung 35: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Calciumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt.

Geogen erhöhte Calciumkonzentrationen sind in Österreich an die Vorkommen von Karbonatgesteinen der Nördlichen und Südlichen Kalkalpen und deren sedimentären Abtragungsschutt in den Tal- und Beckenlandschaften (Kalksteine, Dolomite, Kalkmergel, Marmore) oder die Verbreitung calciumführender Silikatminerale gebunden (GBA 2015). Auch Grundwasser, das in Kontakt mit gipsführenden Schichten steht, kann neben erhöhten Sulfatgehalten erhöhte Calciumgehalte aufweisen.

Vergleichsweise hohe geogene Calciumhintergrundkonzentrationen zeigen die Grundwässer in den quartären Sedimenten des Tullnerfeldes (C02), des Rheintals (C17), des Marchfeldes, des Seewinkels und

des Südlichen Wiener Beckens (C05). In diesen Gebieten ist auch eine anthropogene Überprägung der Calciumkonzentrationen durch beispielsweise Calciumdüngung nicht auszuschließen.

Besonders hohe Spannweiten der Calciumkonzentrationen (von <10 bis einige Zehner mg/l) wiesen die lokalen quartären Sedimente in der Böhmisches Masse (C01) auf, ebenso die Phyllite, Glimmerschiefer, Phyllonite und Paragneise des Ostalpinen Kristallins. Hier zeigten die Grundwässer in der Zentralzone eher niedrige, die Grundwässer im Koralmkristallin, im Unteren Murtal und im Hügelland zwischen Mur und Raab eher höhere Calciumkonzentrationen.



Abbildung 36: Karst in Oberösterreich, Totes Gebirge (Nördliche Kalkalpen)

KARTE CALCIUM - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

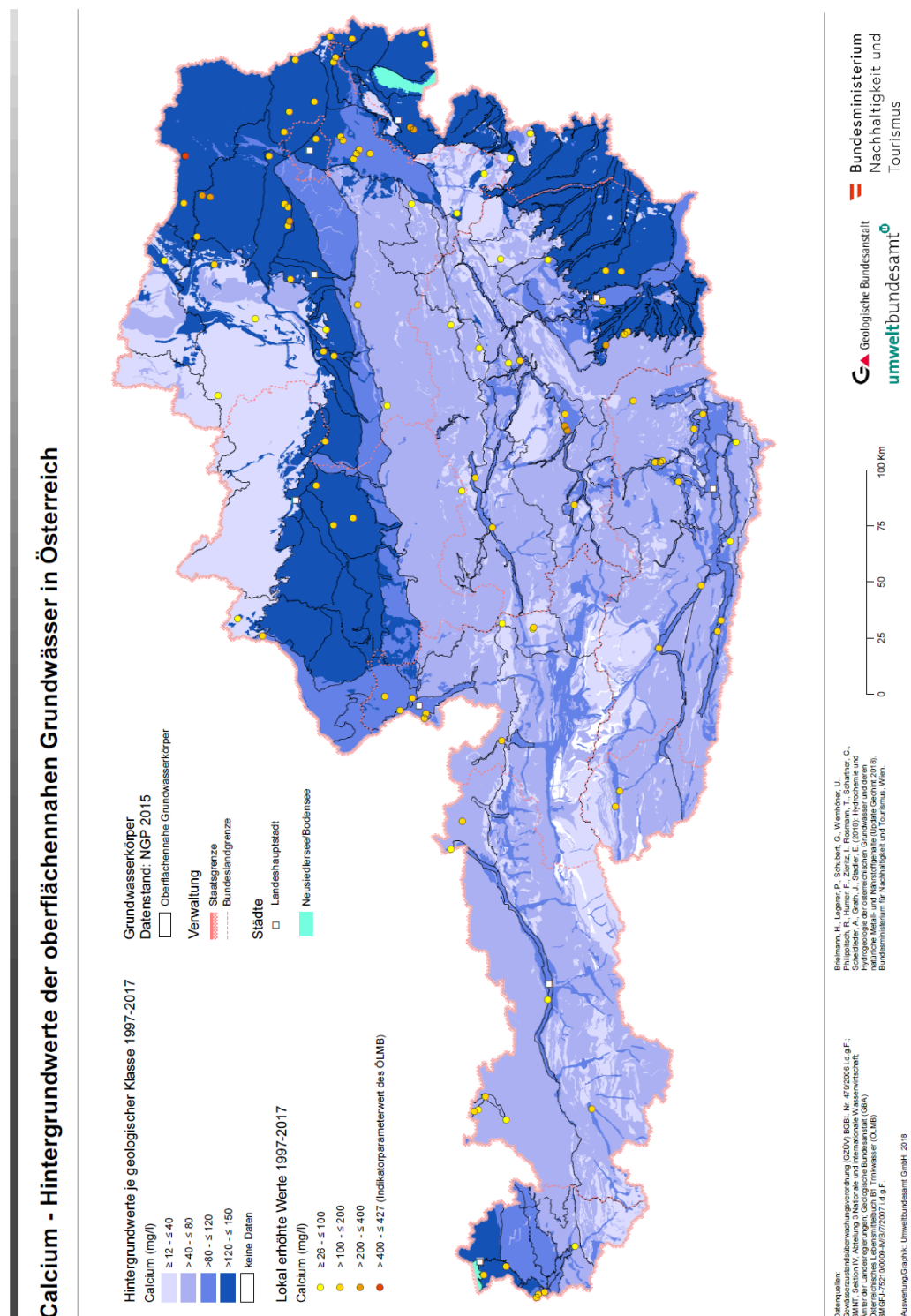


Abbildung 37: Calcium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.5 CHLORID

ALLGEMEINES

Chlor ist der Gruppe der Halogene zuzuordnen. Es ist das elfthäufigste Element der Erdkruste und kommt nur in chemisch gebundener Form vor. In der Natur liegt Chlor fast ausnahmslos in chemischer Verbindung mit anderen Elementen als **Chlorid** vor. Weit verbreitet sind Verbindungen mit Natrium-, Kalium- sowie Magnesium-Ionen. Aufgrund des marinen Ursprungs von Chlorid besteht natürlicherweise ein enger Zusammenhang mit Natrium, aber auch mit Kalium.

In Verbindung mit anderen geeigneten Parametern kann Chlorid als Indikator für anthropogene Verschmutzungen von Wasser herangezogen werden.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Der weitaus größte Teil des Chlorids liegt gelöst in Meerwasser vor. Eine geogene Anreicherung erfolgte periodisch in unterschiedlich geologischen Zeiträumen durch die natürliche Verdunstung von Meerwasser in den sogenannten Evaporiten. Andere Gesteinsarten weisen lediglich geringe Chloridgehalte auf (siehe Tabelle 12).

Wichtige Chlormineralien sind beispielsweise Halit (Steinsalz, NaCl), Sylvit (KCl) und Carnallit ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), die beispielsweise große Salzlagerstätten bilden (GBA 2015).

TABELLE 12: CHLOR - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Chlor [mg/kg]
Magmatite	305
Sandsteine	15
Tongesteine	170
Karbonatgesteine	305
Evaporite	525.000
Meerwasser	19.400

Die meisten Chloride weisen eine hohe Wasserlöslichkeit auf. Im Grundwasser sind Chlorid-Ionen sehr mobil, da sie keiner nennenswerten Adsorption unterliegen.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Grundwässer in chloridarmen Gesteinen wie beispielsweise Magmatiten und Sedimentgesteinen weisen überwiegend Chloridkonzentrationen zwischen 10 und 30 mg/l auf, höhere Werte indizieren die Beimischung mineralisierter Wässer oder anthropogenen Einfluss (MATTHESS 1973). Im Bereich von Salzstöcken können weitaus höhere Konzentrationen erreicht werden. In Österreich wiesen Karst- und Kluftgrundwässer für den Auswertzeitraum 2006–2015 eine Mediankonzentration von 0,6 mg/l, Porengrundwasser eine Mediankonzentration von 18 mg/l Chlorid auf (BMLFUW 2017). Aus salzführenden geologischen Schichten oder Salzstöcken können Salze gelöst und damit Chlorid in mitunter sehr hohen Konzentrationen ins Grundwasser eingetragen werden. Unter marinen Bedingungen gebildete Sedimentgesteine (insbesondere Tonminerale) können hohe Steinsalzkonzentrationen aufweisen.

Einträge in die Umwelt erfolgen insbesondere über Straßenabwässer aufgrund der Verwendung von Natriumchlorid, Calciumchlorid und Magnesiumchlorid als Streusalz im Winter. Auch über die in der Landwirtschaft häufig verwendeten Gärfuttersäfte oder Kalidünger, die im Allgemeinen Kaliumchlorid

sowie als Nebenbestandteil Natriumchlorid enthalten, gelangt Chlorid ins Grundwasser. Deponiesickerwässer können gleichfalls zu erhöhten Chloridgehalten im Grundwasser beitragen. Chlorverbindungen finden zudem Verwendung in der Papier- und Zellstoffindustrie.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Für Pflanzen und Tiere stellt Chlorid ein essentielles Element dar.

Als Geschmacksgrenze für Chlorid gelten 250 mg/l, als Grenze der Genießbarkeit 400 mg/l (KÖLLE 2017). Zum Vergleich: Die Chloridkonzentration im Meerwasser beträgt rund 19 g/l. Chlorid wird als Natriumchlorid in Bezug auf den Geschmack als „salzig“ empfunden (SIROCKO 2012).

Aufgrund der fehlenden Wechselwirkung von Chlorid mit Metallen unterbleibt die Ausbildung von Schutzschichten in Rohrleitungen, was Korrosionsschäden begünstigt. Der Indikatorwert zielt auf diesen Aspekt ab, weniger auf gesundheitliche Effekte.

Gemäß Mineralwasser- und Quellwasserverordnung (BGBl. II Nr. 309/1999 i.d.g.F.) dürfen Mineralwässer als „chloridhaltig“ bezeichnet werden, wenn die Chloridkonzentration 200 mg/l übersteigt. Liegt der Chloridgehalt unter 50 mg/l, dürfen Mineralwässer als „geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ deklariert werden.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 13: CHLORID – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [mg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	180
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	200

HINTERGRUNDWERTE

Die Chlorid-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa 17,3 bis 89,7 mg/l. Die niedrigsten Hintergrundkonzentrationen für Chlorid zeigen die Grundwässer in den Gesteinen der Zentralalpen, der Nördlichen Kalkalpen aber auch Grundwässer im Helvetikum und der Waschbergzone. Die Chloridkonzentrationen liegen hier im Bereich von Niederschlagswasser (~ 1 mg/l Chlorid). Auch die karbonatbetonten quartären Sedimente der Zentralalpen (C12) und Nördlichen Kalkalpen (C10) sind durch niedrige Hintergrundkonzentrationen im Bereich von < 10 mg/l gekennzeichnet, ebenso die Grundwässer in den geologischen Klassen A01 und A02 des Kristallins der Böhmischen Masse.

Hohe Chloridkonzentrationen des Hintergrunds im Bereich von 50 bis 90 mg/l zeigen beispielsweise Grundwässer im Marchfeld, Südlichen Wiener Becken und Seewinkel (C05), im Tullnerfeld (C02) und in den präkambrischen Intrusiva der Böhmischen Masse (A03). Während im Seewinkel im Bereich der Sodalacken mit geogen erhöhte Chloridkonzentrationen zu rechnen ist, sind die Chloridkonzentrationen im Tullnerfeld, Südlichen Wiener Becken und Marchfeld häufig trendbehaftet, so dass hier auch von anthropogenen Beeinflussungen auszugehen ist. Hohe Chloridkonzentrationen gehen in der Regel mit erhöhten Natriumkonzentrationen einher.

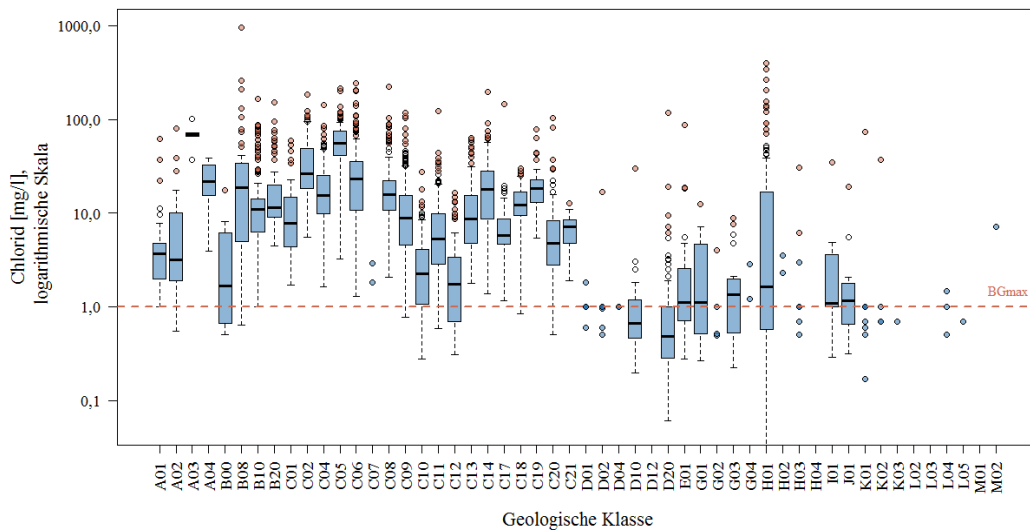


Abbildung 38: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Chloridkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Eine besonders hohe Spannweite der Chloridkonzentrationen (von <1 bis einige Hundert mg/l) wies die Geologische Klasse H01 auf, hier zeigten die Karst- und Kluftquellen der Zentralzone und Niederen Tauern Chloridgehalte im Bereich des Niederschlags (~ 1 mg/l). Durch Straßenabwässer beeinflusste Messstellen im Raum Zirknitz wiesen dagegen Mediankonzentrationen von mehreren hundert mg/l Chlorid auf. Diese waren bereits im Jahr 2015 Bestandteil eines Sondermessprogramms Grundwasser des Landes Steiermark (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2016) und wurden von der Ermittlung der Hintergrundkonzentration in dieser geologischen Klasse ausgeschlossen.

Es sei darauf hingewiesen, dass in den Nördlichen Kalkalpen bei einem Kontakt mit Steinsalzvorkommen (Haselgebirge; Teil von D12) im Grundwasser lokal stark erhöhte Chloridkonzentrationen auftreten können (vgl. SCHAUBERGER, 1979).



Abbildung 39: Garnitzenklamm bei Hermagor, Karnische Alpen, Kärnten

KARTE CHLORID - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

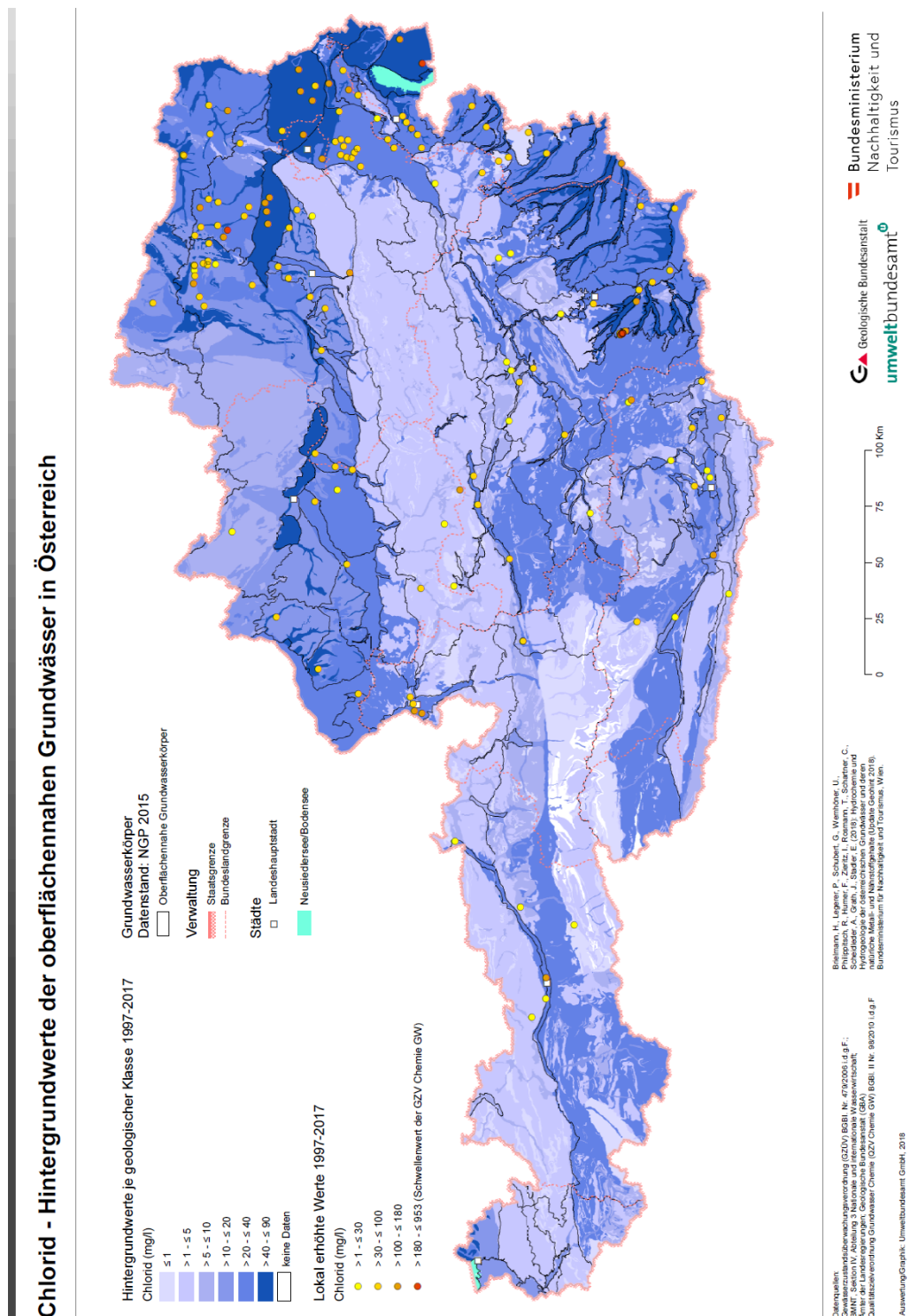


Abbildung 40: Chlorid – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.6 HYDROGENKARBONAT

ALLGEMEINES

Hydrogenkarbonat ist ein amphoterer Ion, d.h., es kann als Säure oder Base wirksam werden. Es trägt gemeinsam mit dem Karbonat-Ion wesentlich zur Pufferung des pH-Wertes im Untergrund aufgrund der Neutralisierung von Säuren bei. Hydrogenkarbonat und Karbonat beeinflussen auch den Metallgehalt, da beide Ionen durch Ausfällung Metalle wie Cadmium oder Blei aus dem Wasser entfernen können und Karbonate mit Metallen im Allgemeinen relativ schwer löslich sind.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Der Hydrogenkarbonatgehalt im Grundwasser hängt im Wesentlichen vom Partialdruck des im Sickerwasser gelösten Kohlendioxids und dessen Wechselwirkung mit den im Boden und Grundwasserleiter vorhandenen Karbonaten ab. Das im Wasser gelöste Kohlendioxid kann auch vulkanischen Ursprungs sein.

Die Konzentration von Hydrogenkarbonat im Grundwasser wird über das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht gesteuert. Gelöstes Kohlenstoffdioxid wird zu Kohlensäure (H_2CO_3) hydratisiert, die zunächst zu Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) und in einem weiteren Schritt in das Karbonat-Ion (CO_3^{2-}) dissoziiert. pH-Wert und Temperatur bestimmen, welche der drei Karbonatspezies, die zur Alkalinität beitragen, bevorzugt im Wasser vorliegen. Im neutralen Bereich, also in den meisten Grundwässern, dominiert das Hydrogenkarbonat-Ion. Im basischen Bereich ($> \text{pH } 9$) ist das Karbonat-Ion (CO_3^{2-}) vorherrschend. Im sauren Bereich ($< \text{pH } 6$) liegt das gelöste Kohlenstoffdioxid vorwiegend in Form undissoziierter Kohlensäure vor. Damit tragen die Karbonatspezies wesentlich zur Steuerung des pH-Wertes des Wassers bei.

TABELLE 14: KOHLENSTOFF - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Kohlenstoff [mg/kg]
Magmatite	320
Sandsteine	13.800
Tongesteine	15.300
Karbonatgesteine	113.500
Meerwasser	28,5

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Typisch für Grundwasser sind Gehalte zwischen 50 und 400 mg Hydrogenkarbonat/l (MATTHESS 1973). In Österreich wiesen Karst- und Kluftgrundwässer für den Auswertzeitraum 2006–2015 eine Mediankonzentration von 142 mg/l, Porengrundwasser eine Mediankonzentration von 305 mg/l Hydrogenkarbonat auf (BMLFUW 2017).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Eine anthropogene Beeinflussung der Alkalinität bzw. Hydrogenkarbonatkonzentrationen erfolgt u.a. in der Landwirtschaft über die Kalkdüngung von Böden. Dies wird insbesondere auf kalkarmen Böden praktiziert, um Säuren im Boden zu neutralisieren. Auch industrielle und kommunale Abwässer können zur Erhöhung der Alkalinität beitragen.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Hydrogenkarbonat trägt über die Karbonathärte zur Gesamthärte des Wassers bei.

Gemäß Mineralwasser- und Quellwasserverordnung (BGBl. II Nr. 309/1999 i.d.g.F.) sind Mineralwässer „geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“, wenn der Gehalt an Hydrogenkarbonat maximal 550 mg/l beträgt. Für Hydrogenkarbonat gibt es zwar keine Geschmacksrezeptoren, HCO_3 -reiche Mineralwässer werden aber oftmals als „abgerundet“ empfunden.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

Weder die Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser noch die Trinkwasserverordnung enthalten Prüfwerte für Hydrogenkarbonat.

HINTERGRUNDWERTE

Die Hydrogenkarbonat-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa 35,1 bis 594,6 mg/l. Die niedrigsten Hintergrundkonzentrationen für Hydrogenkarbonat zeigen die Wässer der überwiegend karbonatfreien Grundwasserleiter im Kristallin der Böhmisches Masse (A01, A02), in den Orthogneisen, Metavulkaniten und Ultrabasiten des Ostalpinen Kristallins (H03, H04) und im Altkristallin des Subpenninikums (L05).

Hohe Hydrogenkarbonat-Konzentrationen des Hintergrunds im Bereich von 470 bis 595 mg/l zeigen beispielsweise Grundwässer in den tertiären Sedimenten des Burgenlandes, Niederösterreichs und der Oststeiermark, wo gehäuft Sauerlinge auftreten. Auch die Wässer der quartären Sedimente entlang der Donau (C02), des Weinviertels (C06) und Rheintals (C17) weisen Hydrogenkarbonat-Gehalte dieser Größenordnung auf. Im burgenländischen Seewinkel wurden im Bereich einer Sodalacke Grundwasserkonzentrationen > 2.000 mg Hydrogenkarbonat/l gefunden, die dort auf verdunstungsbedingte Ausbildung von Salzhorizonten (Salzbodengebiet) zurückzuführen sind (BMLFUW 2017).

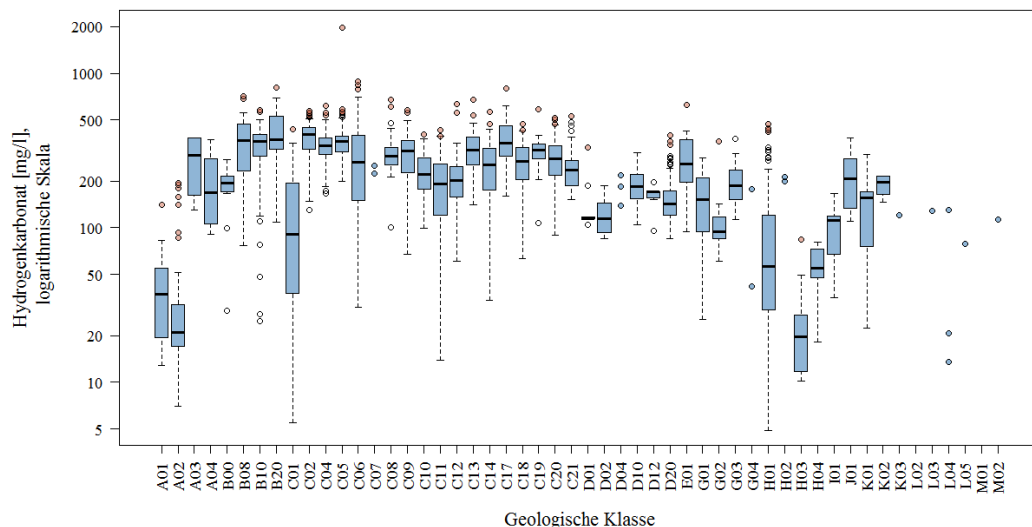


Abbildung 41: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Hydrogenkarbonatkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt.

Hohe Spannweiten der Hydrogenkarbonat-Konzentrationen (von <10 bis wenige Hundert mg/l) zeigen die Wässer der lokalen quartären Sedimente auf der Böhmisches Masse (C01) sowie die in der geologischen Klasse H01 zusammengefassten Wässer im Oberostalpinen Kristallin. Niedrige Hydrogenkarbonat-Gehalte

weisen in dieser Klasse vor allem die jüngeren Quellwässer der Zentralzone, höhere Gehalte die Wässer in den Grundwassergebieten der östlichen Steiermark.



Abbildung 42: Oselitzenbach bei Tröpolach, Karnische Alpen, Kärnten

KARTE HYDROGENKARBONAT - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

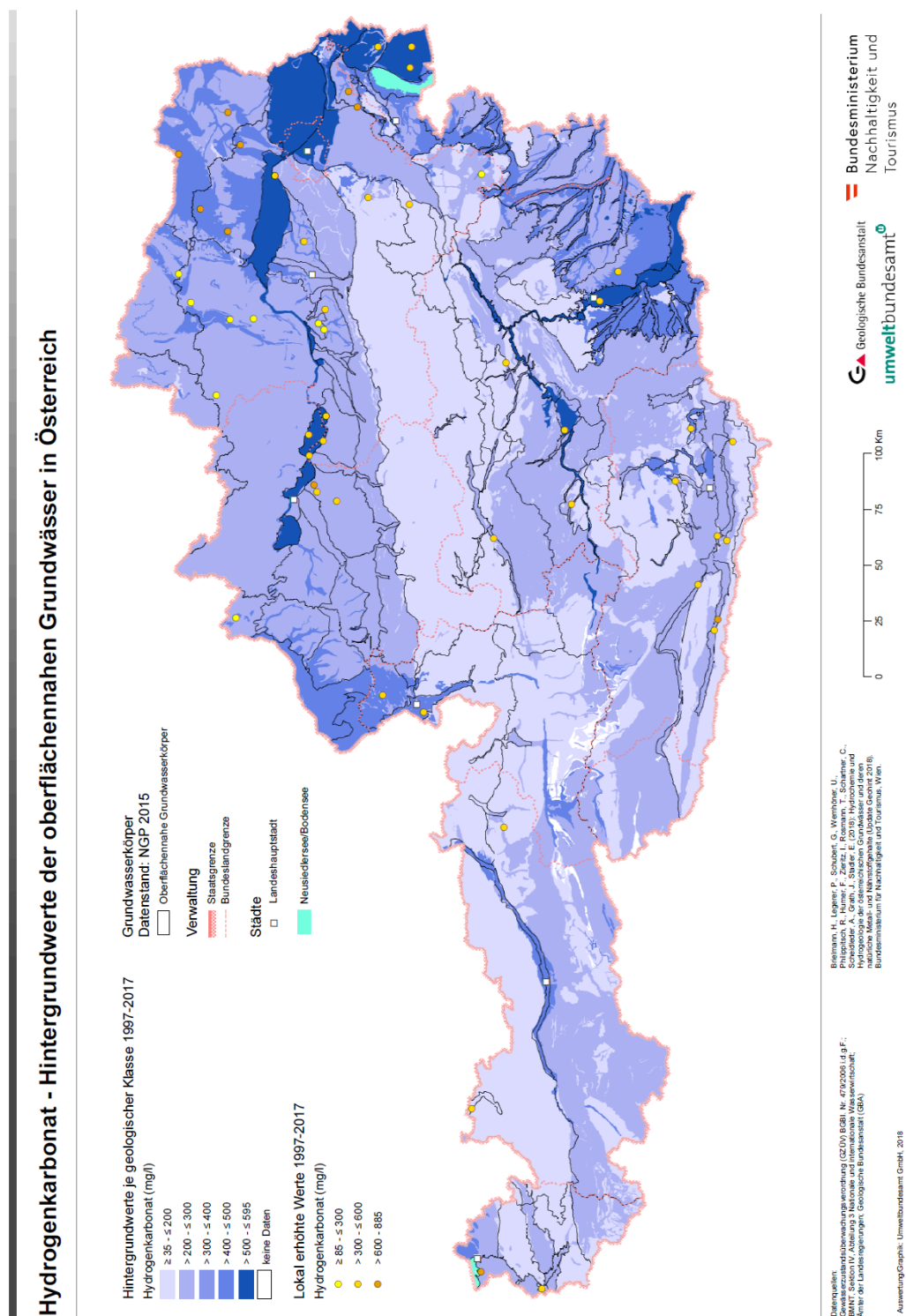


Abbildung 43: Hydrogenkarbonat – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.7 KALIUM

ALLGEMEINES

Das Alkalimetall Kalium ist das siebthäufigste Element der Erdkruste und findet sich neben Mineralien in Meerwasser und Organismen. Aufgrund seiner hohen Reaktionsfähigkeit tritt es nicht elementar, sondern nur in chemisch gebundener Form bzw. gelöst als Kation auf.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Eine natürliche Anreicherung von Kalium erfolgt in Magmatiten, insbesondere in granitischen Gesteinen, und Tongesteinen (Tonschiefer; siehe Tabelle 15). In Magmatiten liegt Kalium insbesondere in Form der Kalifeldspäte Orthoklas und Mikroklin sowie der Glimmer Muskovit und Biotit vor.

Wichtige Kaliumminerale mit hohen Kaliumgehalten sind beispielsweise Carnallit ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Sylvin (KCl) und Kaliumsulfat (K_2SO_4).

TABELLE 15: KALIUM - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Kalium [mg/kg]
Magmatite	25.700
Sandsteine	13.200
Tongesteine	24.900
Karbonatgesteine	2.390
Evaporite	4.280
Meerwasser	392

Im Vergleich mit Natrium werden die bei der Verwitterung freigesetzten Kalium-Ionen stärker im Boden sorbiert, daher weisen Grund- und Oberflächengewässer im Allgemeinen deutlich geringere Kaliumgehalte auf.

Kaliumsalze weisen eine hohe Wasserlöslichkeit auf. Aufgrund der starken Bindung an Tonminerale zeigt Kalium bei allen Redox- und pH-Bedingungen eine geringe Mobilität. Auch der Einbau in sekundäre Mineralneubildungen trägt zur geringen Verfügbarkeit von Kalium bei.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Aufgrund seiner „geringen geochemischen Beweglichkeit“ liegen Kaliumkonzentrationen in Süßwässern nur selten im Bereich der Natriumkonzentration oder darüber (MATTHESS 1973). Dies betrifft insbesondere gering mineralisierte Grundwässer. Bei Grundwässern mit Natriumgehalten $< 10 \text{ mg/l}$ liegen die Kaliumkonzentrationen im Bereich von 1 bis 5 mg/l . In Österreich wiesen Karst- und Kluftgrundwässer im Zeitraum 2006–2015 eine Mediankonzentration von 1 mg/l , Porengrundwasser eine Mediankonzentration von 2,4 mg/l Kalium auf (BMLFUW 2017). SHAND et al. (2007) geben für Kalium im Grundwasser von England und Wales einen Median von 2,5 mg/l an. Erhöhte Kaliumgehalte in Grundwässern können auch „als Folge der Neutralisation von Säuren durch kaliumhaltige Tonminerale bei Abwesenheit von Kalk und niedrigen pH-Werten“ (KÖLLE 2017) zu verzeichnen sein.

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Ein flächiger und mengenmäßig relevanter Eintrag von Kalium in den Untergrund erfolgt überwiegend aufgrund des Einsatzes von Kalidüngern in der Landwirtschaft. In Gebieten, die niedrige Gehalte an

Tonmineralen und eine langjährige landwirtschaftliche Nutzung aufweisen, kann das Adsorptionsvermögen der Tonminerale für Kalium überschritten werden (KÖLLE 2017). Auch Abwässer können zu höheren Kaliumkonzentrationen im Grundwasser führen. Kaliumverbindungen finden zudem Verwendung in Legierungen, Schießpulver und Feuerwerkskörpern sowie bei der Glasherstellung.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Für alle Organismen stellt Kalium ein essentielles Element dar. Kalium-Ionen befinden sich überwiegend innerhalb der Zellen und sind für eine Fülle physiologischer Prozesse von Bedeutung. Kalium wird beispielsweise als Kaliumchlorid in Bezug auf den Geschmack als „bitter“ empfunden (SIROCKO 2012).

Gemäß Mineralwasser- und Quellwasserverordnung (BGBl. II Nr. 309/1999 i.d.g.F.) sind Mineralwässer „geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“, wenn die Kaliumkonzentration maximal 10 mg/l beträgt.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

Weder die Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser noch die Trinkwasserverordnung enthalten Prüfwerte für Kalium. Das Österreichische Lebensmittelbuch - B1 Trinkwasser (ÖLMB, BMGFJ-75210/0009-IV/B/7/2007 i.d.g.F.) nennt für Kalium einen Indikatorparameterwert von 50 ± 5 mg/l.

HINTERGRUNDWERTE

Die Kalium-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa $< 0,5$ bis 10,2 mg/l. Ein Anteil von 14% der Messstellen-Mediane wies Kaliumkonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze auf. Die niedrigsten Hintergrundkonzentrationen für Kalium zeigen die Wässer in den nördlichen und südlichen Kalkalpen, der Zentralzone und dem Grazer Bergland.

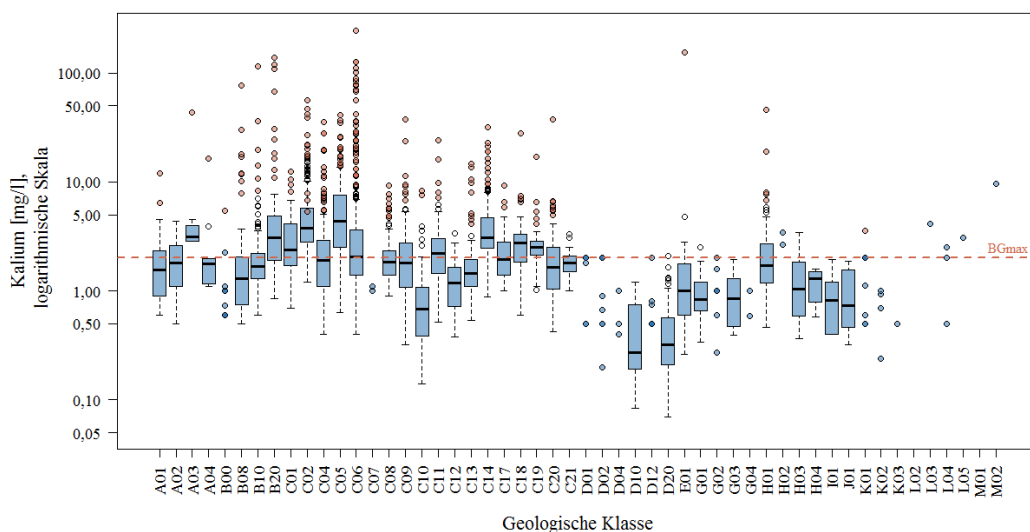


Abbildung 44: Boxplot-Darstellung der Verteilung Kaliumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Höhere Kalium-Konzentrationen des Hintergrunds im Bereich von 6 bis 10 mg/l zeigen beispielsweise die Grundwässer in den quartären Sedimenten des Südlichen Wiener Beckens, des Marchfeldes, Tullnerfeldes und Weinviertels, ebenso in den quartären Grundwasserkörpern des Unteren Murtals, Grazer Feldes und Aichfeld-Murbodens.

Geogen erhöhte Kaliumkonzentrationen wurden in Österreich auch punktuell im Seewinkel im oberflächennahen Grundwasser im Bereich von Sodalacken beobachtet. Dort betrugen die Kaliumgehalte einige Zehner mg/l. Erhöhte Kaliumkonzentrationen in Bach- und Flusssedimenten gehen mit dem Vorkommen kaliumführender Feldspäte, Glimmer und Tonminerale einher (GBA 2015).



Abbildung 45: Garnitzenklamm bei Hermagor, Karnische Alpen, Kärnten

KARTE KALIUM - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

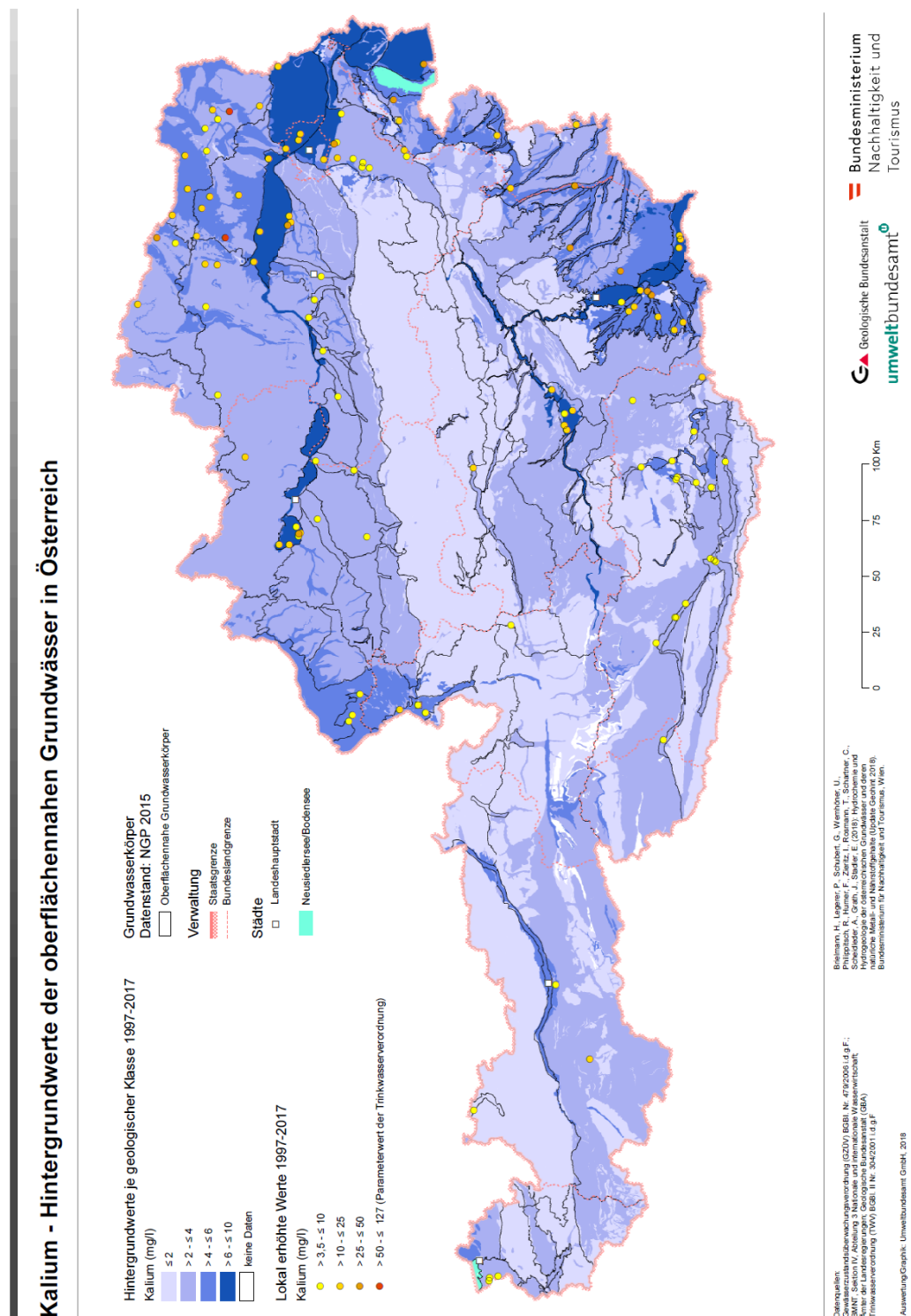


Abbildung 46: Kalium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.8 MAGNESIUM

ALLGEMEINES

Magnesium ist das achthäufigste Element der Erdkruste und mit Calcium assoziiert, da beide Elemente der II. Hauptgruppe sind.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Magnesium kommt insbesondere in dolomitischen Karbonatgesteinen vor (siehe Tabelle 16) und bildet daher neben Calcium das zweite wichtige Kation im Wasser. Magnesium stellt ein wesentliches Element vieler Mineralgruppen, wie beispielsweise Silikate (v.a. Tonminerale), Karbonate und Phosphate, dar. In Form von Sulfaten und Chloriden tritt Magnesium in Salzlagerstätten marinen Ursprungs auf. Wichtige Magnesiumminerale sind Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) und Magnesit (MgCO_3).

TABELLE 16: MAGNESIUM - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Magnesium [mg/kg]
Magmatite	17.600
Sandsteine	8.100
Tongesteine	16.400
Karbonatgesteine	45.300
Evaporite	3.070
Meerwasser	1.290

Magnesium ist unter allen Redox- und pH-Bedingungen sehr mobil. Tonminerale sorbieren Magnesium geringfügig stärker als Calcium. Daher gehen geringe Magnesiumkonzentrationen mitunter auf Kationenaustausch zurück. Die Löslichkeit der Magnesiumkarbonate ist im Allgemeinen höher als jene der Calciumkarbonate. Obgleich viele Magnesiumverbindungen eine höhere Löslichkeit aufweisen, liegt die Magnesiumkonzentration vieler Wässer niedriger als deren Calciumkonzentration, was auf dessen geringere geochemische Verbreitung zurückzuführen sein dürfte.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Süßwässer weisen im Allgemeinen Magnesiumkonzentrationen $< 40 \text{ mg/l}$ auf (MATHESS 1973). In Österreich wiesen Karst- und Kluftgrundwässer für den Auswertzeitraum 2006–2015 eine Mediankonzentration von 8 mg/l , Porengrundwasser eine Mediankonzentration von 21 mg/l Magnesium auf (BMLFUW 2017).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Flächige Einträge in die Umwelt erfolgen über Düngemittel, wobei diese im Allgemeinen als unbedenklich zu bewerten sind. Verwendung findet Magnesium auch in einer Vielzahl von technologischen Anwendungen (z.B. Automobil- und Flugzeugindustrie, Spezialzemente, Legierungen).

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Für Organismen stellt Magnesium ein essentielles Element dar. Beispielsweise bildet Magnesium das Zentralion des Chlorophylls. Magnesium wird in Bezug auf den Geschmack als „süß“ empfunden (SIROCKO 2012).

Magnesium-Ionen bewirken gemeinsam mit Calcium-Ionen maßgeblich die Härte des Wassers.

Gemäß Mineralwasser- und Quellwasserverordnung (BGBl. II Nr. 309/1999 i.d.g.F.) dürfen Mineralwässer als „magnesiumhaltig“ bezeichnet werden, wenn die Magnesiumkonzentration 50 mg/l übersteigt. Beträgt der Magnesiumgehalt weniger als 50 mg/l, dürfen Mineralwässer als „geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ deklariert werden.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

Weder in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser noch in der Trinkwasserverordnung sind Prüfwerte für Magnesium festgeschrieben.

HINTERGRUNDWERTE

Die Magnesium-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa 1,8 bis 94,4 mg/l. Die niedrigsten Hintergrundkonzentrationen für Magnesium zeigen die Wässer im Kristallin der Böhmisches Masse, im Jura der Kalkalpen, in den Gebieten mit Orthogneisen und im Altkristallin.

Geogen erhöhte Magnesiumkonzentrationen in Bach- und Flusssedimenten sind in Österreich generell an die Vorkommen von Karbonatgesteinen (Kalksteine, Dolomite, Kalkmergel, Marmore – siehe Kapitel Calcium 9.1.7) oder die Verbreitung Mg-führender Silikatminerale gebunden (GBA 2015).

Höhere Magnesium-Konzentrationen des Hintergrunds zeigen beispielsweise die Grundwässer in den tertiären Sedimenten des Pannoniums, Karpatiums und Sarmatiums. Auch in den Wässern der quartären Sedimente entlang der Donau, im Neogen der Steiermark und des Burgenlandes sowie in den fluviatilen Ablagerungen des Wiener Beckens sind höhere Magnesiumkonzentrationen zu verzeichnen.

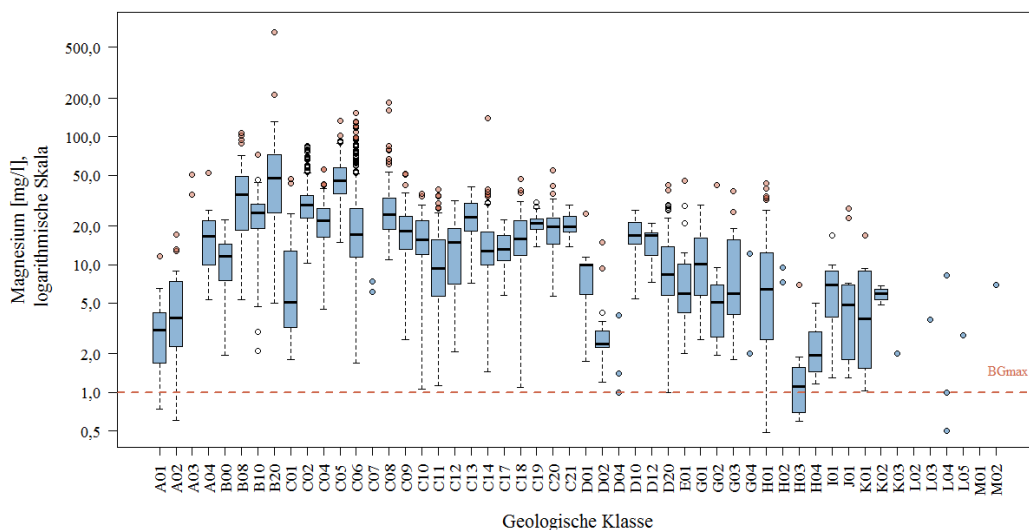


Abbildung 47: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Magnesiumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

KARTE MAGNESIUM - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

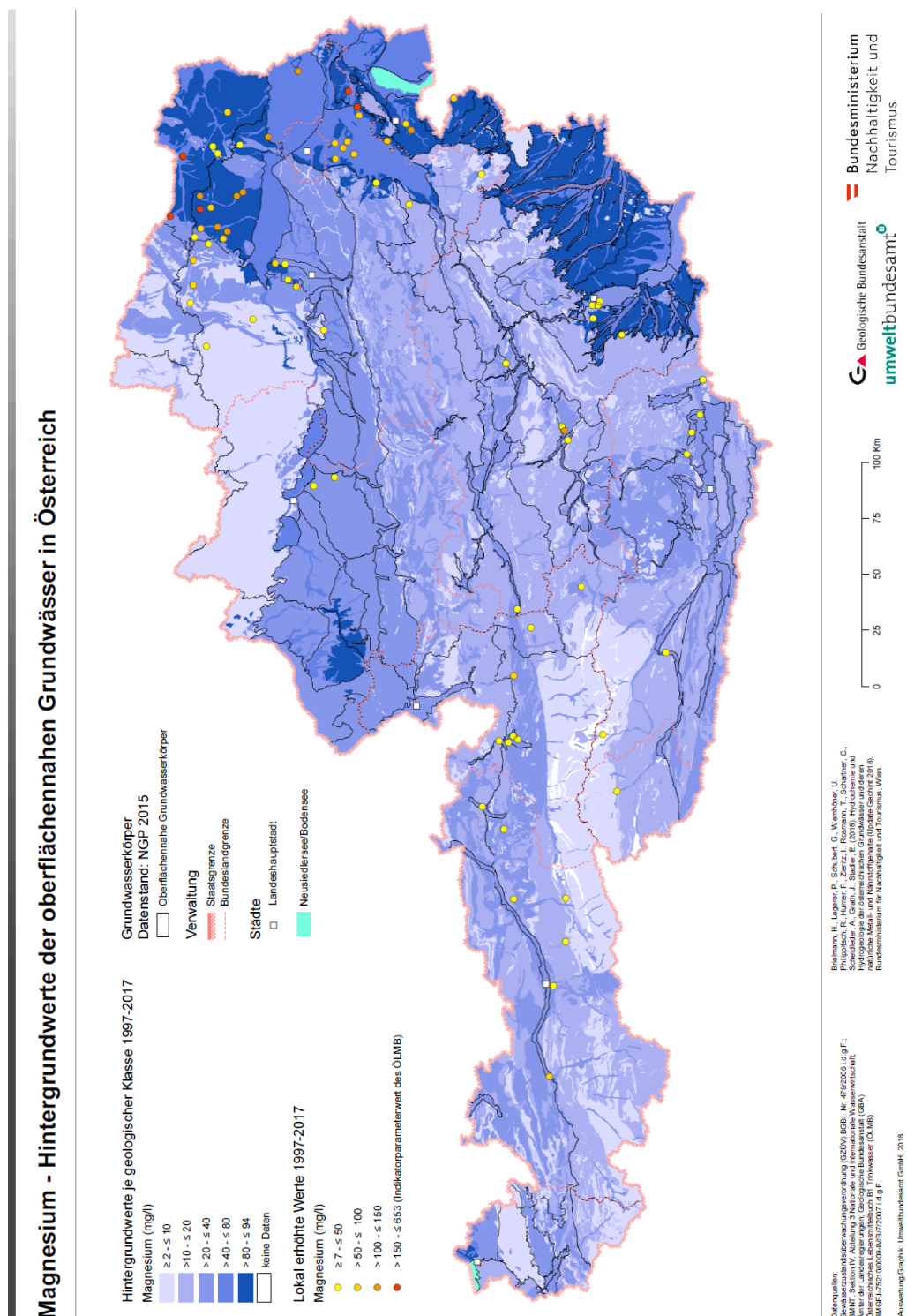


Abbildung 48: Magnesium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.9 NATRIUM

ALLGEMEINES

Natrium ist ein lithophiles Alkalimetall. Es ist das sechsthäufigste Element der Erdkruste und kommt aufgrund seiner hohen Reaktionsfähigkeit nur in gebundener Form vor. Besonders ausgeprägt ist die Affinität zur Bildung chemischer Verbindungen mit Halogenen und Sauerstoff.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Eine natürliche Anreicherung von Natrium erfolgt in Evaporiten, Magmatiten und Meerwasser (siehe Tabelle 17 und unter Chlorid, 11.5). Natrium ist überwiegend in Feldspäten enthalten und wird bei deren Verwitterung freigesetzt. Natriumchlorid (NaCl) ist die mit Abstand am häufigsten vorkommende Natriumverbindung, die in mineralischer Form als Halit (Steinsalz) auftritt. Natürliche Vorkommen von Steinsalz sind insbesondere Salzstöcke und Salzsolen. Weitere Minerale mit hohen Natriumanteilen sind beispielsweise Kryolith ($\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$) und Natronsalpeter (NaNO_3).

TABELLE 17: NATRIUM - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Natrium [mg/kg]
Magmatite	28.100
Sandsteine	3.870
Tongesteine	4.850
Karbonatgesteine	393
Evaporite	310.000
Meerwasser	10.800

Bedingt durch die geringe Geschwindigkeit des Verwitterungsprozesses steht dem hohen Anteil von Natrium an der Erdkruste im Allgemeinen eine geringe Natriumkonzentration in Grund- und Oberflächengewässern entgegen. Natriumsalze weisen eine hohe Löslichkeit auf. In Süßwässern liegt Natrium im Wesentlichen als Na^+ -Ion vor. Natrium ist unter allen Redox- und pH-Bedingungen sehr mobil. In Unterböden wird Natrium stark an Tonminerale gebunden und kann dabei Calcium verdrängen. Auch Untersuchungen an Tiefengrundwässern des oststeirischen Beckens zeigten, dass mit fortschreitender Genese ein Ionenaustauschprozess stattfindet, der durch ein steigendes $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ Verhältnis gekennzeichnet ist (SCHUBERT 2015).

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Der Natriumgehalt von Grundwässern liegt überwiegend im Bereich von 1 bis 20 mg/l (MATTHESS 1973). In Österreich wiesen Karst- und Kluftgrundwässer im Zeitraum 2006–2015 eine Mediankonzentration von 1 mg/l, Porengrundwasser eine Mediankonzentration von 10 mg/l Natrium auf (BMLFUW 2017). SHAND et al. (2007) geben für Natrium im Grundwasser von England und Wales einen Median von 16 mg/l an.

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Einträge in die Umwelt erfolgen insbesondere über Straßenabwässer aufgrund der Verwendung von Natriumchlorid als Streusalz, über Düngemittel wie beispielsweise Natriumnitrat (Natronsalpeter) oder Kalidünger, die häufig Natriumchlorid als Nebenbestandteil enthalten. Oftmals besteht ein Zusammenhang zwischen höheren Natrium- und Chloridgehalten.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Für Tiere und einen Teil der Pflanzen stellt Natrium ein essentielles Element dar. Natrium-Ionen befinden sich im Wesentlichen außerhalb der Zellen und steuern deren osmotischen Wassergehalt. Natrium wird hinsichtlich des Geschmacks im Wasser in Verbindung mit Chlorid als „salzig“ wahrgenommen (Kochsalz).

In Bezug auf Trinkwasser gilt Natrium gemäß Trinkwasserverordnung als Parameter mit Indikatorfunktion, der Prüfwert ist mit 200 mg/l festgeschrieben (Tabelle 18).

Gemäß Mineralwasser- und Quellwasserverordnung (BGBl. II Nr. 309/1999 i.d.g.F.) dürfen Mineralwässer als „natriumhaltig“ bezeichnet werden, wenn die Natriumkonzentration 200 mg/l übersteigt. Liegt der Natriumgehalt unter 20 mg/l, dürfen Mineralwässer als „geeignet für natriumarme Ernährung“ oder „geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ deklariert werden.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 18: NATRIUM – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [mg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	-
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	200

HINTERGRUNDWERTE

Die Natrium-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa <0,5 bis 45 mg/l. Die niedrigsten Hintergrundkonzentrationen für Natrium zeigen die Grundwässer in den Gesteinen der Zentralalpen, der Nördlichen Kalkalpen aber auch Grundwässer im Helvetikum und der Waschbergzone. Die Natriumkonzentrationen liegen insbesondere in den von Sedimenten des Mesozoikums und Perms geprägten Gebieten der Alpen im Bereich von Niederschlagswasser (~ 1 mg/l Natrium) oder unterhalb der Bestimmungsgrenze. Auch die im inneralpinen Tertiär (B00) gelegenen Wässer sind durch niedrige Hintergrundkonzentrationen im Bereich von < 10 mg/l gekennzeichnet.

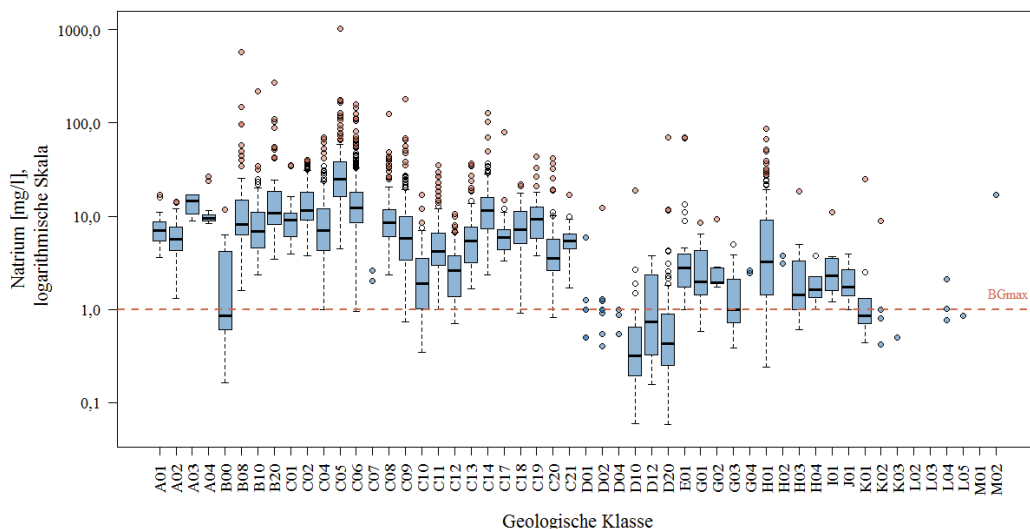


Abbildung 49: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Natriumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Hohe Natriumkonzentrationen des Hintergrunds im Bereich von 50 bis 90 mg/l zeigen beispielsweise Grundwässer im Weinviertel (B20), im Tullnerfeld (C02) und im Seewinkel (C05), ebenso in den neogenen Sedimenten des oststeirischen Beckens (C06) und den Wässern in den Alluvionen, Schwemmkegeln und Terrassen entlang der Mürz und Mur. Während im Seewinkel insbesondere im Bereich von Sodalacken höhere Natriumkonzentrationen zu erwarten sind (NaCO_3 - Natriumcarbonat ist das dominierende Salz im Boden und in den Lacken), muss in der Südsteiermark mit dem Einfluss von Tiefengrundwässern gerechnet werden (GBA 2015).

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass in den Nördlichen Kalkalpen bei einem Kontakt mit Steinsalzvorkommen (Haselgebirge; Teil von D12) im Grundwasser lokal stark erhöhte Natriumkonzentrationen auftreten können (vgl. SCHAUBERGER, 1979).



Abbildung 50: Zusammenfluss von Steyr und Enns bei Stadt Steyr in Oberösterreich

KARTE NATRIUM - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

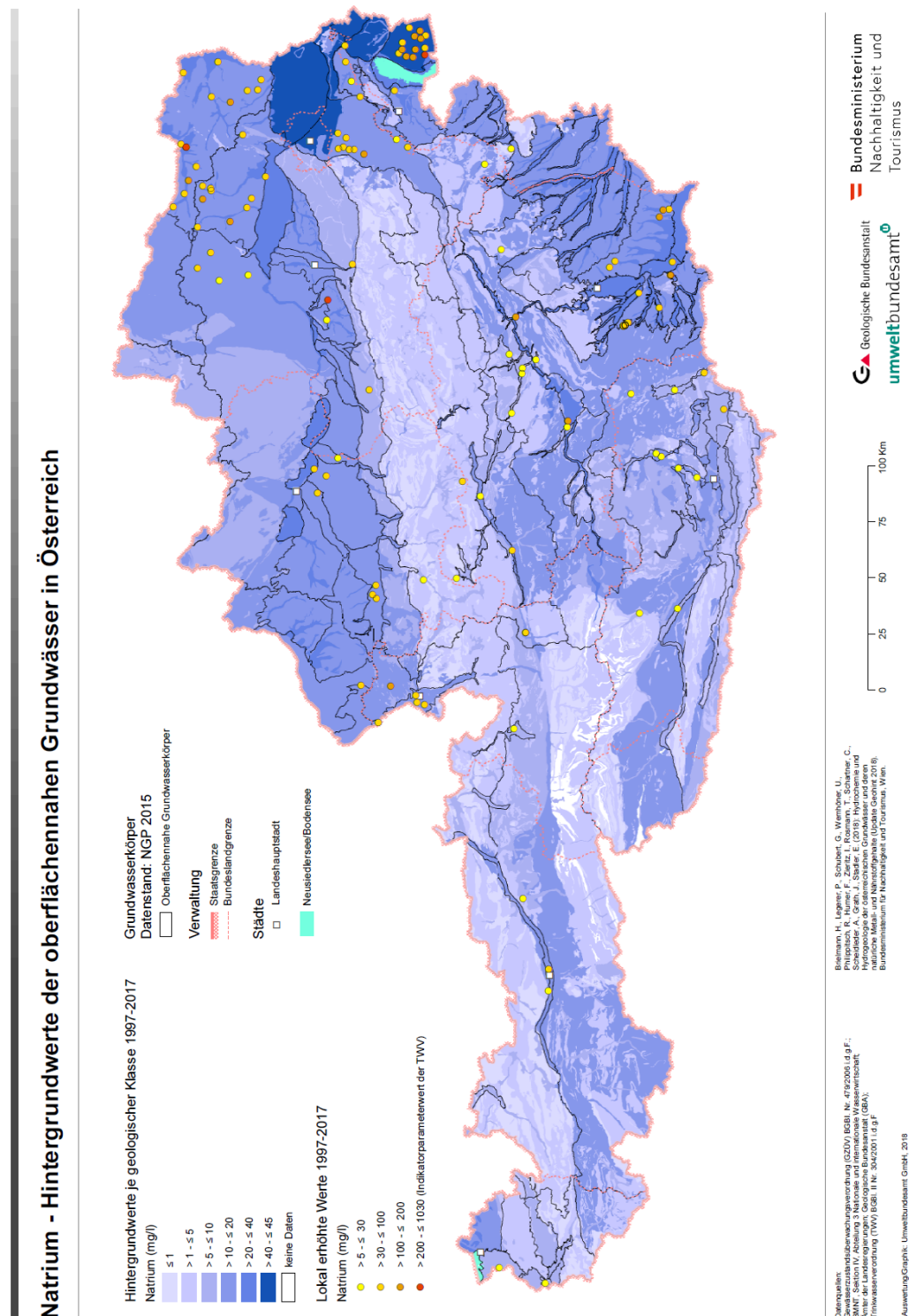


Abbildung 51: Natrium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.10 SULFAT

ALLGEMEINES

Schwefel gehört zur Gruppe der Chalkogene (Erzbildner) und kommt geogen überwiegend in gebundener Form in verschiedenen Sulfiden und Sulfaten vor. Die oxidierte Schwefelverbindung **Sulfat** – das Salz der Schwefelsäure – ist wie auch Chlorid den im Wasser sehr mobilen Stoffen zuzuordnen.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Das häufigste und wichtigste sulfathaltige Mineral ist Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Weitere Sulfatminerale sind beispielsweise Anhydrit (wasserfreies Calciumsulfat), Coelestin (SrSO_4) und Kieserit ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Sulfate sind auch Bestandteil einiger Feldspäte. Sulfate im Grundwasser stammen häufig aus gipshaltigen Gesteinsschichten und Salzlagerstätten (v.a. Evaporite). Eine weitere Sulfatquelle für das Grundwasser bilden die Oxidation sulfidischer Vererzungen sowie der Abbau tierischer und pflanzlicher Proteine.

TABELLE 19: SCHWEFEL - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Schwefel [mg/kg]
Magmatite	410
Sandsteine	945
Tongesteine	1.850
Karbonatgesteine	4.550
Evaporite	26.800
Meerwasser	904

Die Sulfate von Blei, Calcium, Strontium und Barium sind in Wasser schwer löslich bis praktisch unlöslich. Die meisten anderen Sulfate weisen eine hohe Wasserlöslichkeit auf und zeigen in Boden und Wasser eine hohe Mobilität.

Über Oxidations- und Reduktionsprozesse sind die Schwefelverbindungen Sulfat, Sulfit und Schwefelwasserstoffe im Grundwasser eng miteinander verknüpft. Unter reduzierenden Bedingungen fallen Sulfide aus, die beim Wechsel zu aerobem Milieu zu hoch mobilem Sulfat oxidiert werden. Ist organischer Substanz vorhanden, wird Sulfat unter reduzierenden Bedingungen weiter zu Schwefel bzw. Sulfid-Ionen umgesetzt.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Anthropogen unbeeinflusste Grundwässer weisen im Allgemeinen Sulfatgehalte $< 30 \text{ mg/l}$ auf (MATTHESS 1973). Lokale Sulfat- oder Sulfidanreicherungen können höhere Sulfatkonzentrationen des Grundwassers bewirken. Reduzierte Grundwässer enthalten nach Abschluss der Desulfurikation $< 5 \text{ mg Sulfat/l}$. In Österreich wiesen Karst- und Kluftgrundwässer für den Auswertzeitraum 2006–2015 eine Mediankonzentration von 10 mg/l , Porengrundwasser eine Mediankonzentration von 32 mg/l Sulfat auf (BMLFUW 2017). SHAND et al. (2007) geben für Sulfat im Grundwasser von England und Wales einen Median von 28 mg/l an.

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Schwefelverbindungen finden in der chemischen Industrie, Papierindustrie, bei der Herstellung von pharmazeutischen Produkten, Farbstoffen, Fungiziden und Zündhölzern Verwendung. Ein großflächiger Eintrag in die Umwelt erfolgt vor allem über die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger und in der Landwirtschaft eingesetzte sulfathaltige Mineraldünger. Erhöhte Sulfatgehalte im Grundwasser

können auch auf Verunreinigungen mit Jauche, Stallmist, Fäkalien oder Deponiesickerwässern zurückzuführen sein.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Für alle Organismen stellt Schwefel ein essentielles Element dar, beispielsweise als Bestandteil etlicher proteinbildender Aminosäuren.

Aufgrund der fehlenden Wechselwirkung von Sulfat mit Metallen unterbleibt die Ausbildung von Schutzschichten in Rohrleitungen, was Korrosionsschäden begünstigt. Der Indikatorwert zielt auf diesen Aspekt ab, weniger auf gesundheitliche Effekte.

Bei hohen Konzentrationen wirkt Sulfat allerdings abführend, insbesondere in Form von Magnesiumsulfat (Bittersalz, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) und Natriumsulfat (Glaubersalz, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Darüber hinaus führen höhere Sulfatgehalte in Verbindung mit Natrium bzw. Magnesium auch zu einer geschmacklichen Beeinträchtigung von Trinkwasser („bitter“) (KÖLLE 2017).

Gemäß Mineralwasser- und Quellwasserverordnung (BGBl. II Nr. 309/1999 i.d.g.F.) dürfen Mineralwässer als „sulfathaltig“ bezeichnet werden, wenn die Sulfatkonzentration 200 mg/l übersteigt. Liegt der Sulfatgehalt unter 240 mg/l, dürfen Mineralwässer als „geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ deklariert werden.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 20: SULFAT – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [mg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	225
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	250

HINTERGRUNDWERTE

Die Sulfat-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa 3,3 bis 244 mg/l. Niedrige Hintergrundkonzentrationen < 10 mg/l für Sulfat weisen vor allem die Grundwässer in den Jura- und Kalkgebieten, den Bereichen des Zentralgneises, Altkristallins, der tertiären Vulkanite und Metavulkanite auf.

Geogen erhöhte Schwefelkonzentrationen sind in Österreich generell zum einen an das Vorkommen von Sulfiden in Zusammenhang mit polysulfidischen Vererzungen oder feinverteilten Pyritgehalten gebunden, zum anderen an Sulfate der Gips- und Anhydrit-Körper in kalkalpinen Serien (GBA 2015).

Hohe Sulfatkonzentrationen des Hintergrunds im Bereich von 109 bis 244 mg/l zeigen beispielsweise Grundwässer im Seewinkel (C05) im Bereich der Lacken aufgrund des hohen Gehaltes an Glaubersalzen (Na_2SO_4). Auch Wässer in gipshaltigen Gesteinen der Trias (Werfener Schichten, bei D12 und Raibler Schichten bei D20) weisen höhere Sulfatkonzentrationen auf, ebenso die Wässer in den quartären Sedimenten des Drautals (C20), Rheintals und Walgaus (C21) und den tertiären Sedimenten des Karpatiums und Badeniums im Weinviertel (bei B20).

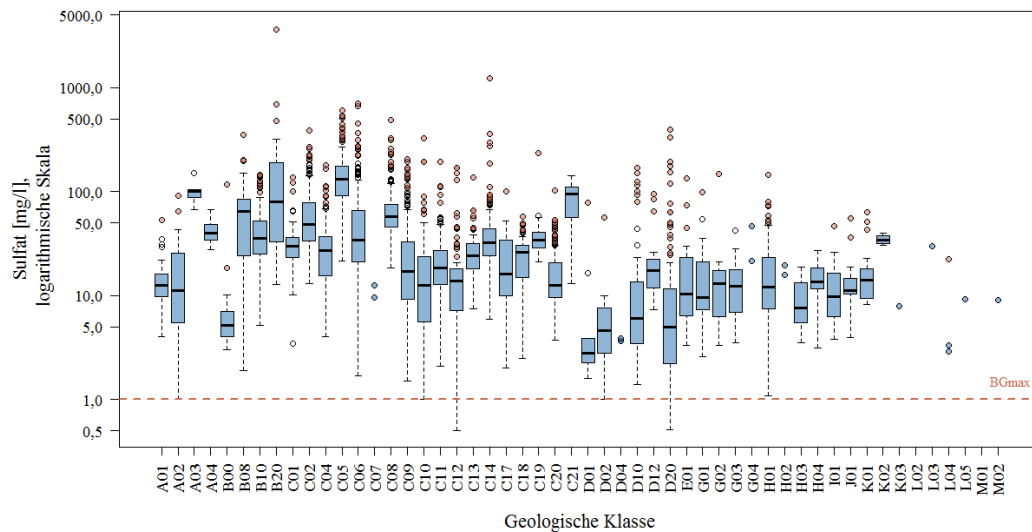


Abbildung 52: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Sulfatkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.



Abbildung 53: Fischaufstiegshilfe in Steyr, Oberösterreich

KARTE SULFAT - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

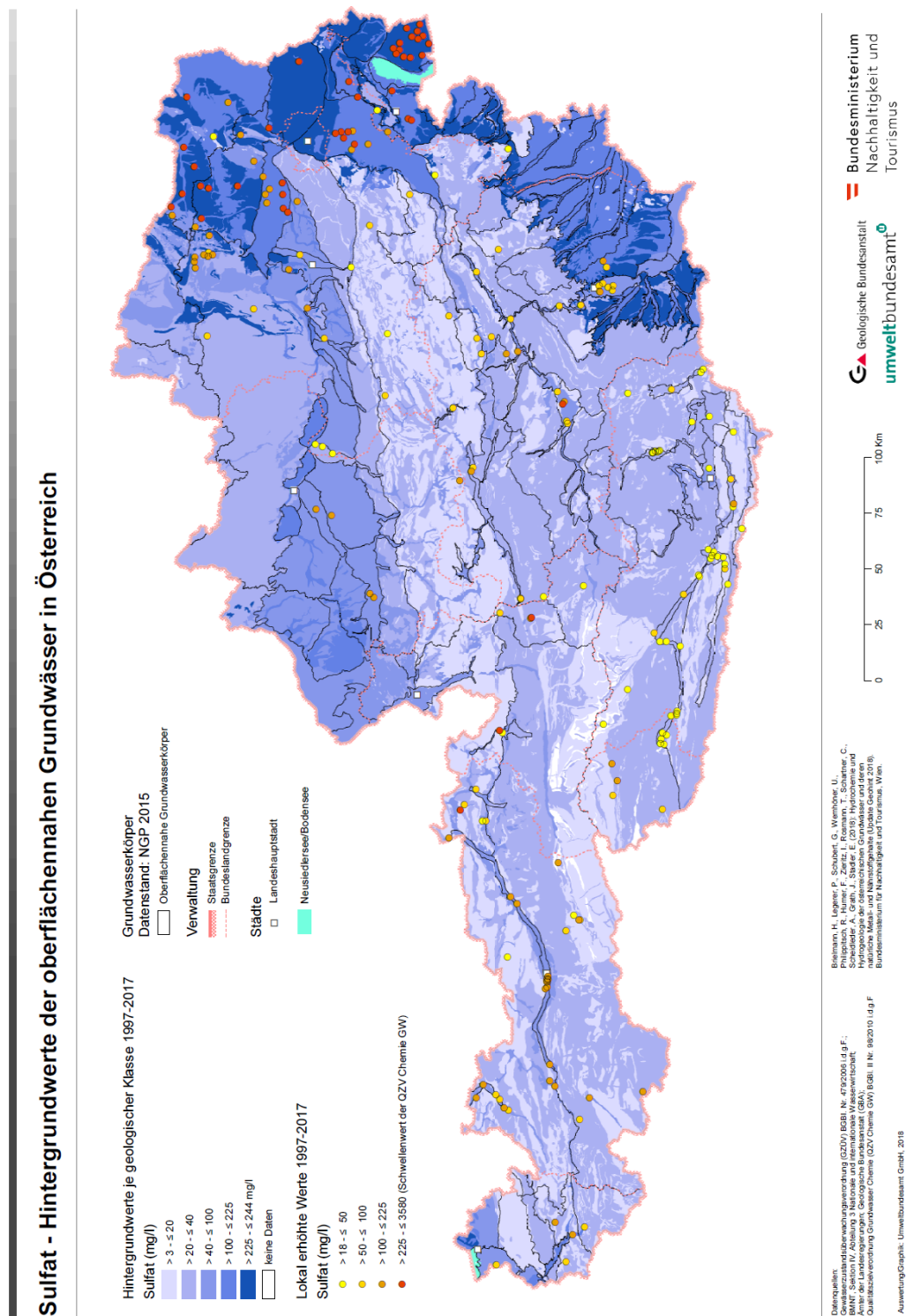


Abbildung 54: Sulfat – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.11 EISEN

ALLGEMEINES

Eisen ist ein gesteinsbildendes Hauptelement, das vierthäufigste Element der Erdkruste. Es ist unter oxidierenden Bedingungen weitgehend immobil und bei saurem pH-Wert mobiler als unter neutralen und basischen Bedingungen. Im Grundwasser tritt Eisen häufig gemeinsam mit Mangan auf.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Die wichtigsten Eisenminerale sind Magnetit (Fe_3O_4), Hämatit (Fe_2O_3), Goethit ($\text{FeO}(\text{OH})$) und Siderit (FeCO_3). Es ist zudem Verwitterungsprodukt von Karbonaten (Siderit, FeCO_3), Sulfiden (Pyrit, Markasit FeS_2) sowie in eisenführenden Silikaten (Biotit, Olivin, Pyroxene, Amphibole, Glimmer (siehe auch GBA 2015)).

TABELLE 21: EISEN - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Eisen [mg/kg]
Magmatite	42200
Sandsteine	18600
Tongesteine	38800
Karbonatgesteine	8190
Evaporite	265
Meerwasser	0,0034

Die Mobilität von Eisen ist stark redoxabhängig und nimmt im sauren Milieu zu. Unter oxidierenden Bedingungen sind die Eisen(III)-oxide und -oxidhydrate praktisch unlöslich. Weitere Metalle werden mit Eisenoxiden und -hydroxiden mitgefällt. Eisenhydroxide sorbieren Anionkomplexe (As, Sb, P, Se u.a.) (GBA 2015).

Gelöstes Eisen(II) gelangt durch Reduktion von Eisen(III)verbindungen unter reduzierenden Bedingungen, durch Oxidation von Eisensulfiden mittels Nitrat (Pyritoxidation), durch Oxidation von Eisensulfiden mittels Luftsauerstoff oder durch Auflösung von Eisenverbindungen unter sauren Bedingungen ins Grundwasser.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

In den meisten sauerstoffhaltigen Grundwässern ist Eisen nicht oder allenfalls in Spuren nachweisbar. Unter reduzierenden Bedingungen können Eisen(II)-Konzentrationen zwischen 1 und 10 mg/l im Grundwasser auftreten (MATTHESS 1973).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Eisenverbindungen finden in Stahl, Stahllegierungen, als Gießereieisen, in Ferriten und im Strahlenschutz, in Farbpigmenten, pharmazeutischen Produkten oder der Holzimprägnierung Verwendung. In die Umwelt gelangt es im Wesentlichen im Zusammenhang mit der Metallverhüttung und -verarbeitung sowie durch Verbrennungsprozesse. Auch Düngemittel und Herbizide können Eisen enthalten. In der dritten Reinigungsstufe wird Eisen zur Beseitigung von Gewässerverunreinigungen benutzt.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Eisen ist ein essentielles Element für alle Organismen und insbesondere für den Sauerstofftransport im Blut (Hämoglobin) lebenswichtig.

Brunnenwasser enthält häufig Eisenionen, die die Farbe, Trübung und den Geschmack des Wassers beeinträchtigen können. Diese werden durch Enteisung bei der Trinkwasserbehandlung entfernt.

Für Eisen im Grundwasser gibt es keinen Schwellenwert lt. Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.). In der Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gilt Eisen als Parameter mit Indikatorfunktion (Indikatorparameter).

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 22: EISEN – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [mg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	0,2

HINTERGRUNDWERTE

Die Eisen-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa <0,006 bis 6 mg/l. Ein Anteil von 63% aller Messstellen weist eine Mediankonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

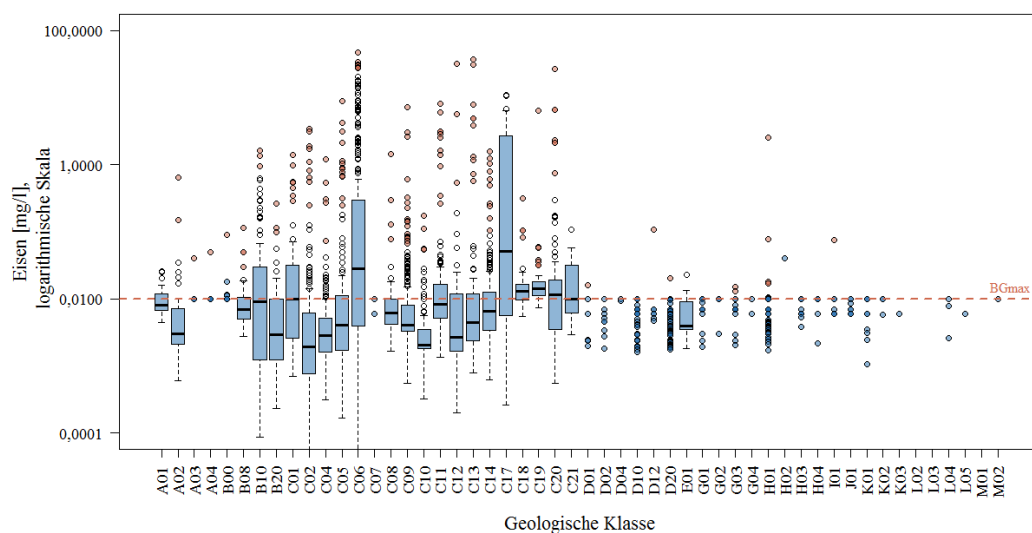


Abbildung 55: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Eisenkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Geogen erhöhte Eisenkonzentrationen sind in Österreich unter anderem im Zusammenhang mit basischen Gesteinen, eisenreichen Paragneisen und Glimmerschiefern zu erwarten (GBA 2015). Die bedeutendste Eisenerzlagerstätte Österreichs ist der Steirische Erzberg (SCHROLL 1997b, SCHULZ et al. 1997).

Erhöhte Eisen- (und Mangankonzentrationen) treten im Grundwasser vor allem bei reduzierenden Verhältnissen auf, deswegen sind beispielsweise die sauerstofffreien- und sauerstoffarmen Grundwässer im

Rheintal (C17), in den Aubereichen der quartären Grundwasserkörper entlang der Donau (C02), im Drautal (C20) und im Seewinkel (C05), aber auch in den lokalen quartären Sedimenten auf der Böhmisches Masse (C01) durch erhöhte Gehalte gelösten Eisens gekennzeichnet.

Ebenso weisen die gespannten Grundwässer der Oststeiermark, wo dichte und mächtige Böden (Pseudogleye, Gleye) die Sauerstoffzufuhr ins Grundwasser verringern (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2002), erhöhte Eisenkonzentrationen auf (C06). Auch sauerstoffarme Grundwässer im Mittleren Ennstal mit seinen Moorstandorten und Seeablagerungen zeigen geogen erhöhte Eisenkonzentrationen.

In den sauerstoffreichen Wässern der Grundwasserkörper in den Kalkalpen, der Flyschzone, des Helvetikums und der Zentralzone tritt Eisen selten und wenn, dann lokal bei niedrigen Sauerstoffkonzentrationen auf.



Abbildung 56: Wasseraustritt in der Lamprechtsofenhöhle in den Leoganger Steinbergen, Salzburg

KARTE EISEN - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

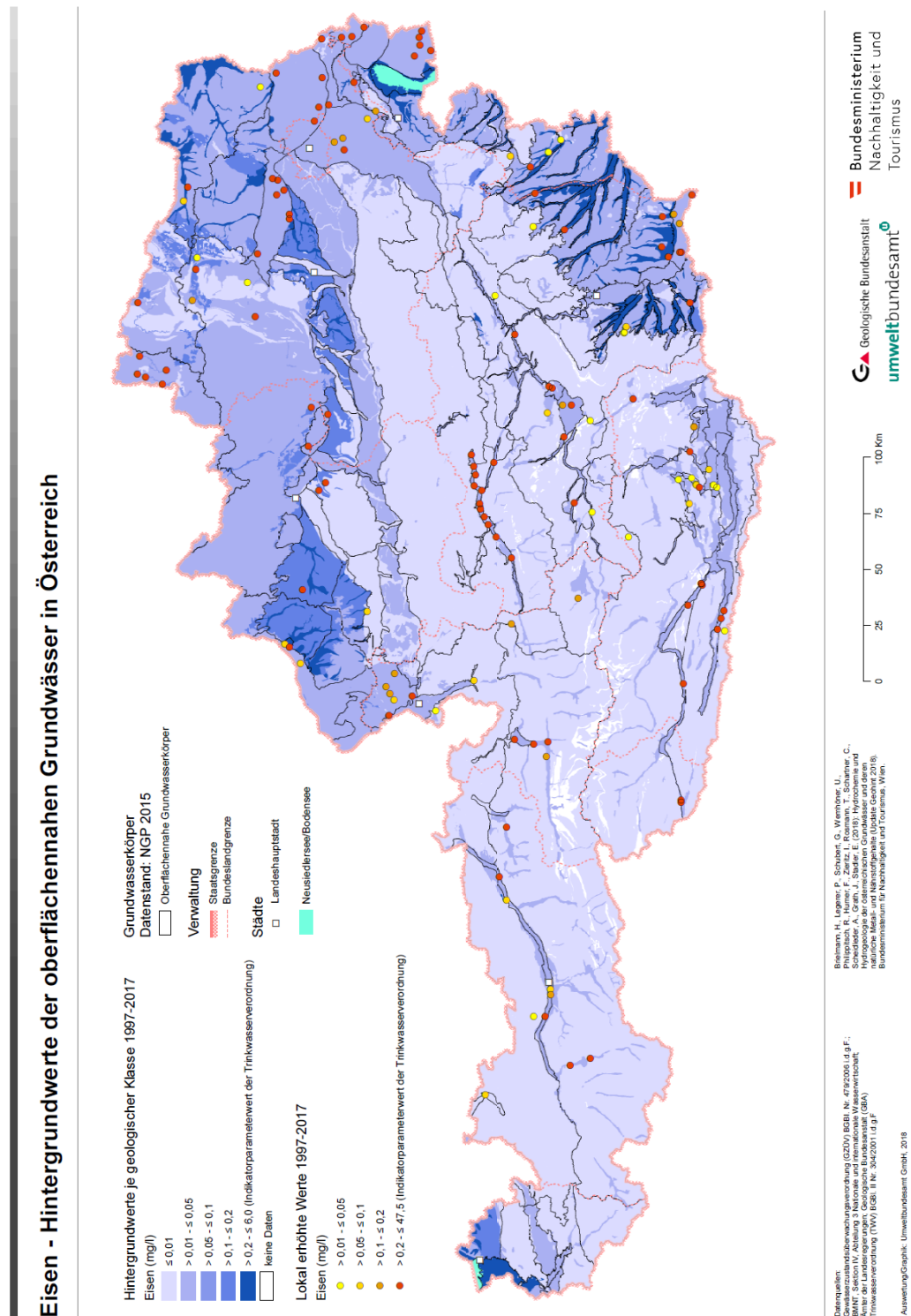


Abbildung 57: Eisen – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.12 MANGAN

ALLGEMEINES

Mangan ist ein lithophiles Spurenelement und als Übergangselement mit Eisen assoziiert. Sein Vorkommen im Grundwasser ist redox- und pH-abhängig. Es ist unter oxidierenden Bedingungen weitgehend immobil, im reduzierenden, sauren Milieu sehr mobil. Im Grundwasser tritt Mangan häufig gemeinsam mit Eisen auf.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Die wichtigsten Manganminerale sind Pyrolusit (MnO_2), Manganit ($\text{MnO}(\text{OH})$), Rhodochrosit (MnCO_3) und Psilomelan ($\text{BaMn}_6\text{O}_{18} \cdot \text{H}_2\text{O}$). Es ist zudem Neben- und Spurenelement von wichtigen gesteinsbildenden Mineralen wie Pyroxenen, Amphibolen, Glimmer, Calcit, Dolomit und Hydroxiden (siehe auch GBA 2015).

TABELLE 23: MANGAN - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Mangan [mg/kg]
Magmatite	937
Sandsteine	392
Tongesteine	575
Karbonatgesteine	842
Evaporite	4,4
Meerwasser	0,0004

Die Mobilität von Mangan ist stark redox- und pH-abhängig und nimmt im sauren Milieu zu. Unter oxidierenden Bedingungen sind Manganverbindungen schwer löslich, Mangandioxid ist dabei ein hervorragendes Sorptionsmittel für bestimmte Schwermetalle (Co, Fe, Ni, As, Ba Cu, Pb, Zn)

Gelöstes Mangan(II) gelangt durch Reduktion von Mangandioxid unter reduzierenden Bedingungen, durch Oxidation von Mangansulfiden durch Nitrat, durch Oxidation von Mangansulfiden mittels Luftsauerstoff oder durch Auflösung von Manganverbindungen unter sauren Bedingungen ins Grundwasser (KÖLLE 2017).

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

In den meisten sauerstoffhaltigen Grundwässern ist Mangan allenfalls in Spuren und in geringeren Konzentrationen als Eisen nachweisbar. SHAND et al. (2007) geben für Mangan im Grundwasser von England und Wales einen Median von 5,8 $\mu\text{g/l}$ an.

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Das Haupteinsatzgebiet für Mangan ist die Herstellung von Legierungen. Bei der Stahlproduktion wird das Metall zum Binden von Sauerstoff und Schwefel genutzt. Manganverbindungen werden in Alkali-Mangan-Batterien, als Katalysatoren, Futtermittelzusatz, Dünger, Fungizide, Pigmente oder Holzschutzmittel verwendet.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Mangan ist ein essentieller Mikronährstoff für alle Lebewesen. In der Wasseraufbereitung wird durch das mikrobielle Entmanganung auf Konzentrationen von 1-2 $\mu\text{g/l}$ abgezielt. Verfahrensfehler können zu Manganablagerungen und damit Trübungen und Verkeimungen führen (KÖLLE 2017).

Für Mangan im Grundwasser gibt es keinen Schwellenwert lt. Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.). In der Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.) gilt Mangan als Parameter mit Indikatorfunktion (Indikatorparameter).

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 24: MANGAN – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [mg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	0,05

HINTERGRUNDWERTE

Die Mangan-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa <0,003 bis 0,9 mg/l. Ein Anteil von 77% aller Messstellen weist eine Mediankonzentration von Mangan unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

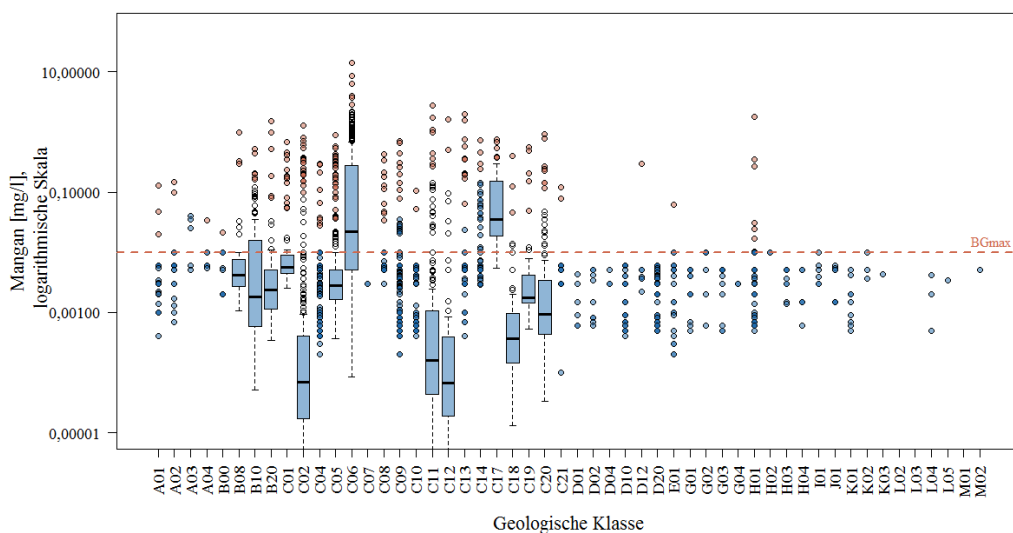


Abbildung 58: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Mangankonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Erhöhte Mangan- (und Eisenkonzentrationen) treten im Grundwasser vor allem bei reduzierenden Verhältnissen auf, deswegen sind beispielsweise die sauerstofffreien- und sauerstoffarmen Grundwässer im Rheintal (C17), in den Auebereichen der quartären Grundwasserkörper entlang der Donau – wie dem Tullnerfeld und dem Machland (C02) – und im Seewinkel (C05) oder in den lokalen quartären Sedimenten auf der Böhmischen Masse (C01) durch erhöhte Gehalte gelösten Mangans gekennzeichnet.

Ebenso weisen die gespannten Grundwässer der Oststeiermark, wo dichte und mächtige Böden (Pseudogleye, Gleye) die Sauerstoffzufuhr ins Grundwasser verringern (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2002), erhöhte Mangankonzentrationen auf. Auch sauerstoffarme Grundwässer im Mittleren Ennstal, das durch Moorstandorte und Seeablagerungen gekennzeichnet ist, zeigen geogen erhöhte Mangankonzentrationen.

In den sauerstoffreichen Wässern der Grundwasserkörper in den Kalkalpen, der Flyschzone, des Helvetikums und der Zentralzone tritt Eisen selten und wenn, dann lokal bei niedrigen Sauerstoffkonzentrationen auf.

In Bezug auf die Bachsedimente wurden lokal hohe Mangankonzentrationen im Umfeld von manganreichen Juraserien festgestellt (GBA 2015). Karte Mangan - Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

KARTE MANGAN - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

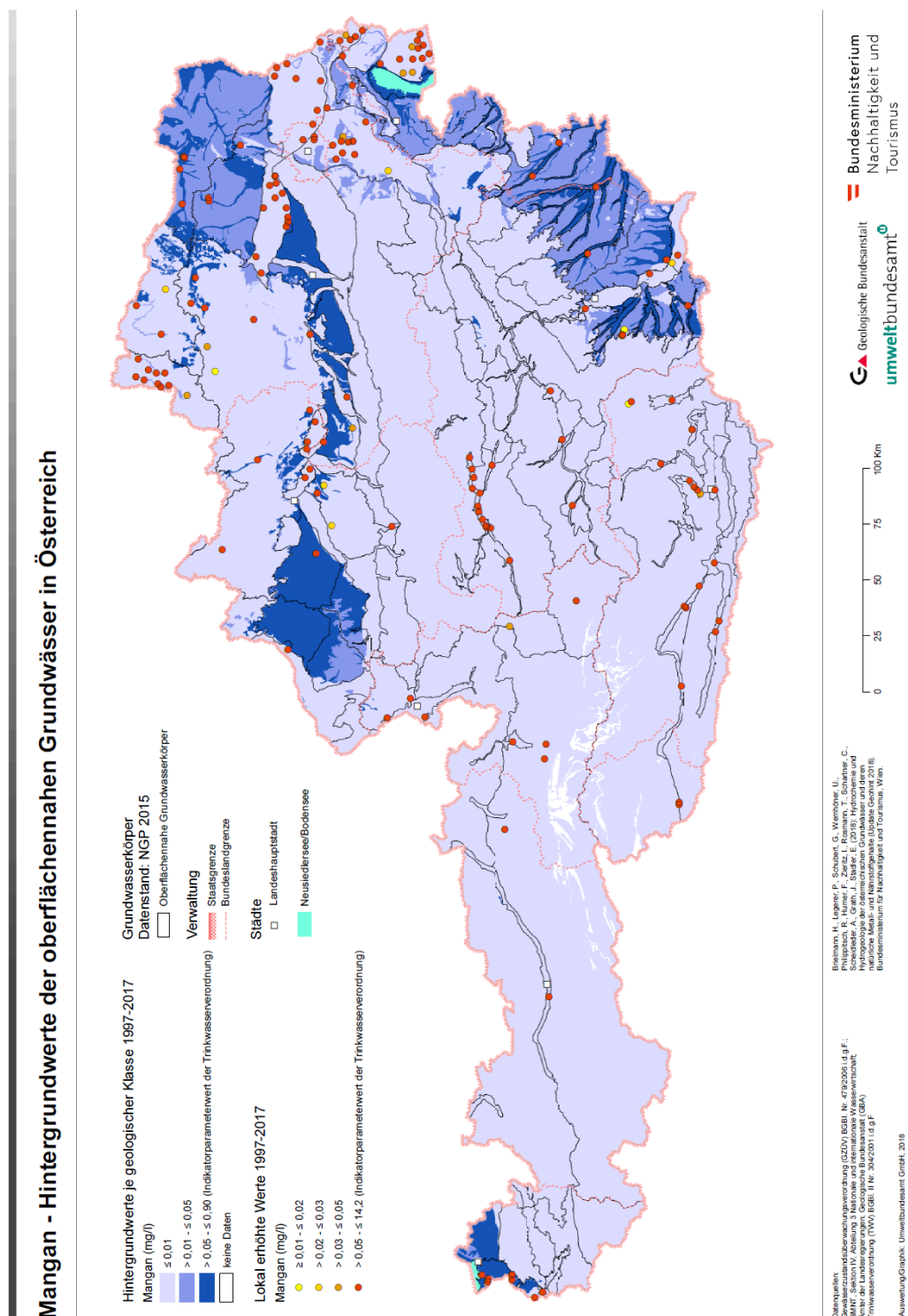


Abbildung 59: Mangan – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.13 NITRIT, AMMONIUM UND NITRAT

ALLGEMEINES

Nitrit, Ammonium und Nitrat sind Stickstoffverbindungen. Die Hauptmasse von Stickstoff ist gasförmig in der Atmosphäre enthalten. Der in der Lithosphäre gebundene Anteil von Stickstoff ist klein und hauptsächlich auf Tongesteine beschränkt. Über den Niederschlag wird Stickstoff in den Boden eingetragen. Zudem ist Stickstoff Bestandteil aller Biomasse. Stickstoffverbindungen werden biologisch umgesetzt (Stickstoffkreislauf).

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Der weitaus größte Teil des Stickstoffs liegt gasförmig in der Atmosphäre vor. Tongesteine enthalten im Mittel 600 mg/kg Stickstoff als Ammonium. Magmatite weisen lediglich geringe Stickstoffgehalte auf (siehe Tabelle 25).

TABELLE 25: STICKSTOFF - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Stickstoff [mg/kg]
Magmatite	46
Sandsteine	
Tongesteine	600
Karbonatgesteine	
Evaporite	
Meerwasser	16,17

Stickstoffverbindungen werden biologisch umgesetzt.

Nitrit ist ein Zwischenprodukt der Oxidation von Ammonium (Nitrifikation) und der Reduktion von Nitrat (Denitrifikation). Unter reduzierenden Bedingungen kann im Grundwasser Nitrit gebildet werden.

Ammonium entsteht durch die Mineralisierung von organischem Stickstoff, der beispielsweise von Mensch und Tier (Gülle) als Harnstoff ausgeschieden wird. Gelangt Ammonium aus dem Boden ins Grundwasser, wird es in der Regel oxidiert oder es absorbiert an Tonminerale und andere Bodenbestandteile. Unter reduzierenden Bedingungen liegen Ammonium-Ionen gelöst vor. Ammonium dient als Indikator für Fäkalverunreinigungen.

Nitrat ist das Endprodukt aller aeroben Redoxprozesse, an denen Stickstoff beteiligt ist. Nitrat ist im Grundwasser sehr mobil. Unter reduzierenden Bedingungen und Anwesenheit von Eisensulfiden oder organischem Kohlenstoff wird es über den Zwischenschritt Nitrit letztendlich mikrobiell zu Stickstoffgas umgewandelt und wieder in die Atmosphäre freigesetzt.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Die Nitratgehalte der Niederschläge variieren meist im Bereich von 0,3 bis 2,5 mg/l. Der Ammoniumgehalt beträgt am Häufigsten um 0,1-0,2 mg/l, Nitrit ist nur in Spuren vorhanden. (MATTHESS 1973).

Für das Grundwasser geht man allgemein davon aus, dass natürliche Nitratgehalte der Vorkriegsära bei etwa 1 mg/l Nitrat-Stickstoff lagen (EDMUNDS and SHAND 2008a) und dass Nitratkonzentrationen oberhalb von 10 mg/l fast immer ein Anzeichen für anthropogene Stickstoffeinträge sind. In Österreich wiesen Karst-

und Kluftgrundwässer im Zeitraum 2006 – 2015 eine Mediankonzentration von 2,7 mg/l, Porengrundwasser eine Mediankonzentration von 13,4 mg/l Nitrat auf (BMLFUW 2017).

Nitrit wird nur selten in geringen Mengen im Grundwasser nachgewiesen (MATTHESS 1973, KUNKEL et al. 2004, BRIDGE 2006), Ammonium meist nur unter reduzierenden Bedingungen beobachtet. Die Mediankonzentration von 25 europäischen Grundwasserleitern betrug 0,15 mg/l Ammonium (SHAND and EDMUNDS 2008).

Geogen erhöhte Ammoniumgehalte und Spuren von Nitrit können in Ölfeldwässern gefunden werden. Auch vulkanisch beeinflusste Quellen können erhebliche Ammoniumgehalte aufweisen. Erhöhte Nitratkonzentration von einigen Hundert mg/l werden mit Tonschiefern reich an organischer Substanz in Verbindung gebracht (HELVOORT et al. 2009).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Die Hauptquelle für Stickstoffeinträge in die aquatische Umwelt ist die Anwendung von Mineraldüngern und organischen Düngern in der Landwirtschaft. Auch Abwässereinträge führen zu hohen Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen. Hohe Stickstoffbelastungen treten auch im Zusammenhang mit militärischen Anlagen und Emissionen von Kohlevergasungsanlagen auf.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Die wichtigste Wirkung von Nitrat ist seine Düngewirkung. Nitrat ist nur wenig toxisch, Vorsorge muss vor allem im Hinblick auf die unter bestimmten Bedingungen eintretende Bildung von Nitrit aus Nitrat getroffen werden. Nitrit ist toxisch und gilt als krebserzeugend. Ammonium hat keine Auswirkungen auf den menschlichen Stoffwechsel (KÖLLE 2017).

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 26: AMMONIUM – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [mg/l]
Ammonium		
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	0,45
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	0,5
Nitrit		
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	0,09
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	0,1
Nitrat		
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	45
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	50

HINTERGRUNDWERTE

Nitrit

Die Nitrit-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa <0,002 bis 0,023 mg/l. Ein Anteil von 85% aller Messstellen weist eine Mediankonzentration von Nitrit unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

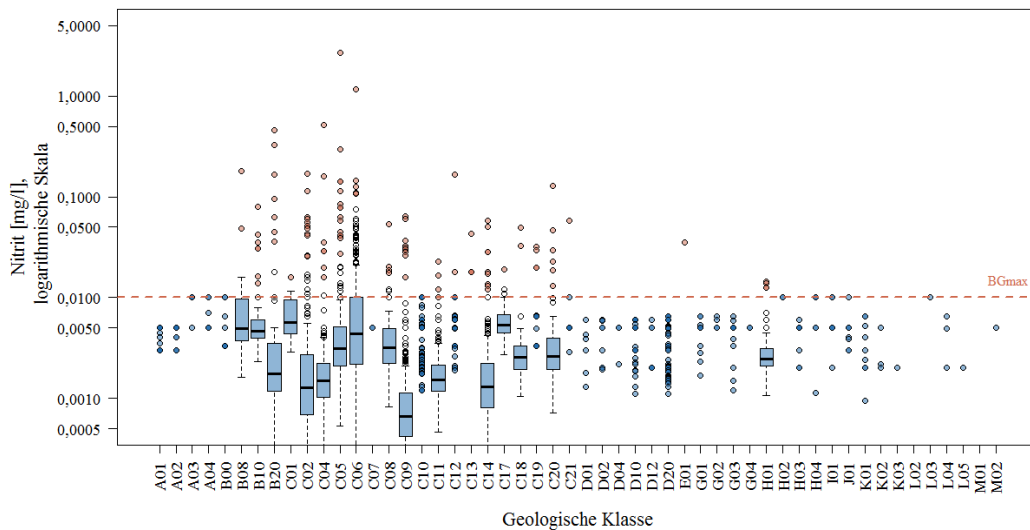


Abbildung 60: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Nitritkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Nitrit tritt im Grundwasser im Wesentlichen bei reduzierenden Verhältnissen auf. So weisen beispielsweise die gespannten Grundwässer der Oststeiermark und des Burgenlandes, die durch sauerstofffreie und sauerstoffarme Grundwässer gekennzeichnet sind, eine Nitritkonzentration im quantifizierbaren Bereich auf (C06). Lokal treten beispielsweise im Weinviertel erhöhte Werte auf. Ebenso sind auch die Wässer in den tertiären Sedimenten des Pannoniums im Ikvatal, Weinviertel und Südlichem Wiener Becken durch Hintergrundkonzentrationen von Nitrit über der maximalen Bestimmungsgrenze gekennzeichnet, lokal auch Wässer in den quartären Sedimenten des Seewinkels und Marchfeldes. Von einer anthropogenen Überprägung der Hintergrundkonzentrationen ist aufgrund des diffusen Eintrags von Stickstoff aus der Atmosphäre, der landwirtschaftlichen Nutzung oder aus Siedlungsgebieten jedenfalls auszugehen.

Ammonium

Die Ammonium-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa $<0,007$ bis $0,703$ mg/l. Ein Anteil von 74% aller Messstellen weist eine Mediankonzentration von Ammonium unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

Die Ammonium-Hintergrundkonzentration der quartären Sedimente des Rheintals (C17) überschreitet mit $0,7$ mg/l den Schwellenwert der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser von $0,45$ mg/l Ammonium. Höhere Ammoniumkonzentrationen treten ebenso wie Nitrit im Grundwasser unter reduzierenden Verhältnissen auf, zudem geogen im Zusammenhang mit moorigen Bereichen wie sie für das Rheintal („Rheintalrieder“) charakteristisch sind. Hier wird unter sauerstoffarmen Bedingungen aus organischer Substanz Ammonium gebildet. Dass neben diesen überwiegend natürlichen Ursachen auch anthropogene Stickstoffeinträge in Bezug auf die Ammoniumkonzentrationen im Rheintal eine Rolle spielen, ist nicht grundsätzlich auszuschließen aber schwer zu differenzieren. Auch in den Grundwässern der quartären Sedimente entlang der Enns dürfte das Auftreten von moorigen Bereichen Einfluss auf die höheren Hintergrundwerte und lokal erhöhten Ammoniumkonzentrationen haben.

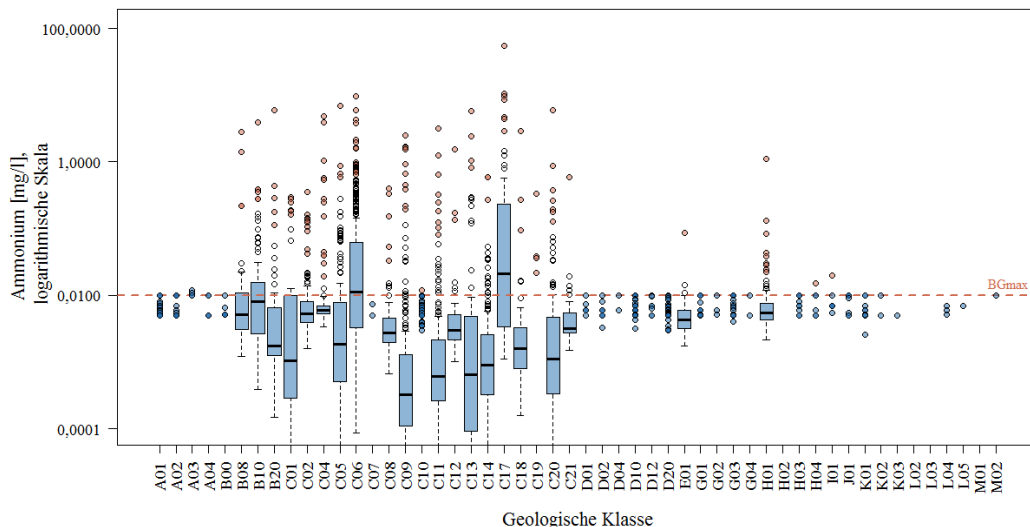


Abbildung 61: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Ammoniumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Höhere Ammonium-Hintergrundkonzentrationen sind auch für die Grundwässer in den neogenen Sedimente der Steiermark und des Burgenlandes mit ihren gespannten, sauerstofffreien oder sauerstoffarmen Grundwässern zu verzeichnen, lokal treten dort häufiger Schwellenwertüberschreitungen auf. Auch hier ist von einer signifikanten Überprägung der Hintergrundwerte durch anthropogene Stickstoffeinträge in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Bereichen auszugehen.

Nitrat

Für den Parameter Nitrat erfolgte aufgrund der weiträumigen, anthropogen verursachten Überprägung insbesondere in den intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten im Norden, Osten und Südosten Österreichs keine regionalisierte Ermittlung der Hintergrundkonzentrationen auf Basis der geologischen Klassen.

Werden für die Beurteilung der Nitratkonzentrationen nur die Konzentrationsmediane von „unbeeinflussten“ Grundwassermessstellen herangezogen, die:

in einem 500m-Radius um die Messstelle weniger als

< 2,5% landwirtschaftlich genutzte Fläche und weniger als

< 2,5% bebaute Fläche

basierend auf den Landbedeckungsdaten CORINE 2012 aufweisen,

dann beträgt das 90%-Perzentil der Nitratkonzentration 5,3 mg/l Nitrat (90% der Werte liegen unter 5,3 mg/l) und repräsentiert weitestgehend den Nitratedeintrag aus atmosphärischen Einträgen. Diese insgesamt 141 als „unbeeinflusst“ identifizierten Messstellen sind weitestgehend Karst- und Kluftgrundwassermessstellen (118 von 141) im alpinen Bereich.

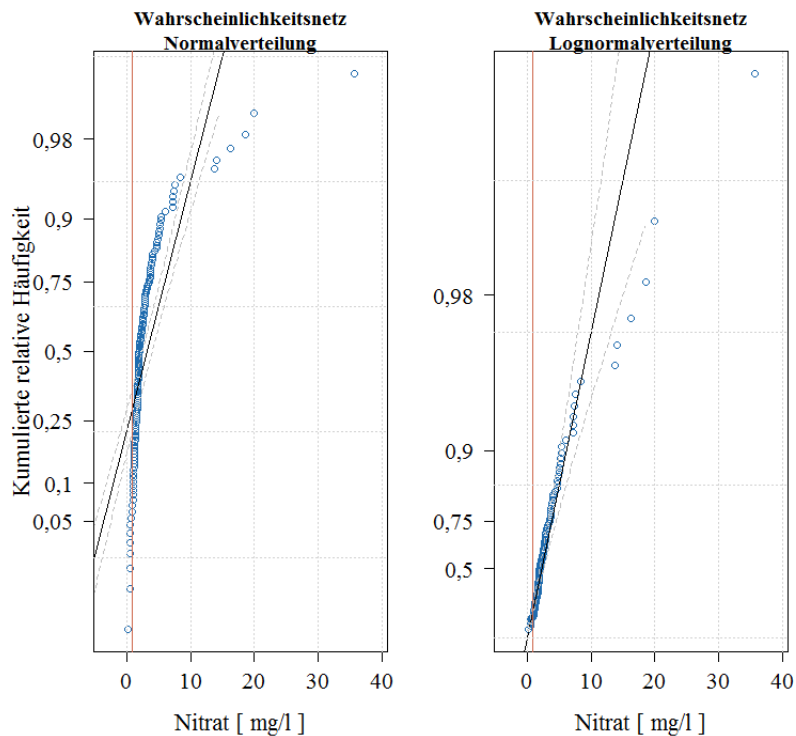


Abbildung 62: Prüfung der Messdaten für Nitrat der als „unbeeinflusst“ definierten Messstellen auf Normal-bzw. Lognormalverteilung im Wahrscheinlichkeitsnetz. Die rote senkrechte Linie markiert die maximale Bestimmungsgrenze des Parameters, die schwarze Linie den Idealverlauf der Messwerte bei der zugrunde gelegten statistischen Verteilung, die gestrichelten grauen Linien das entsprechende Konfidenzintervall (Signifikanzniveau $\alpha=0,025$). Sechs der 141 Messstellen als „unbeeinflusst“ definierten Messstellen weichen deutlich von der angenommenen Lognormalverteilung ab.



Abbildung 63: Biologische Nitratentfernungsanlage der EVN, Obersiebenbrunn im Marchfeld, Niederösterreich

KARTE NITRIT - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

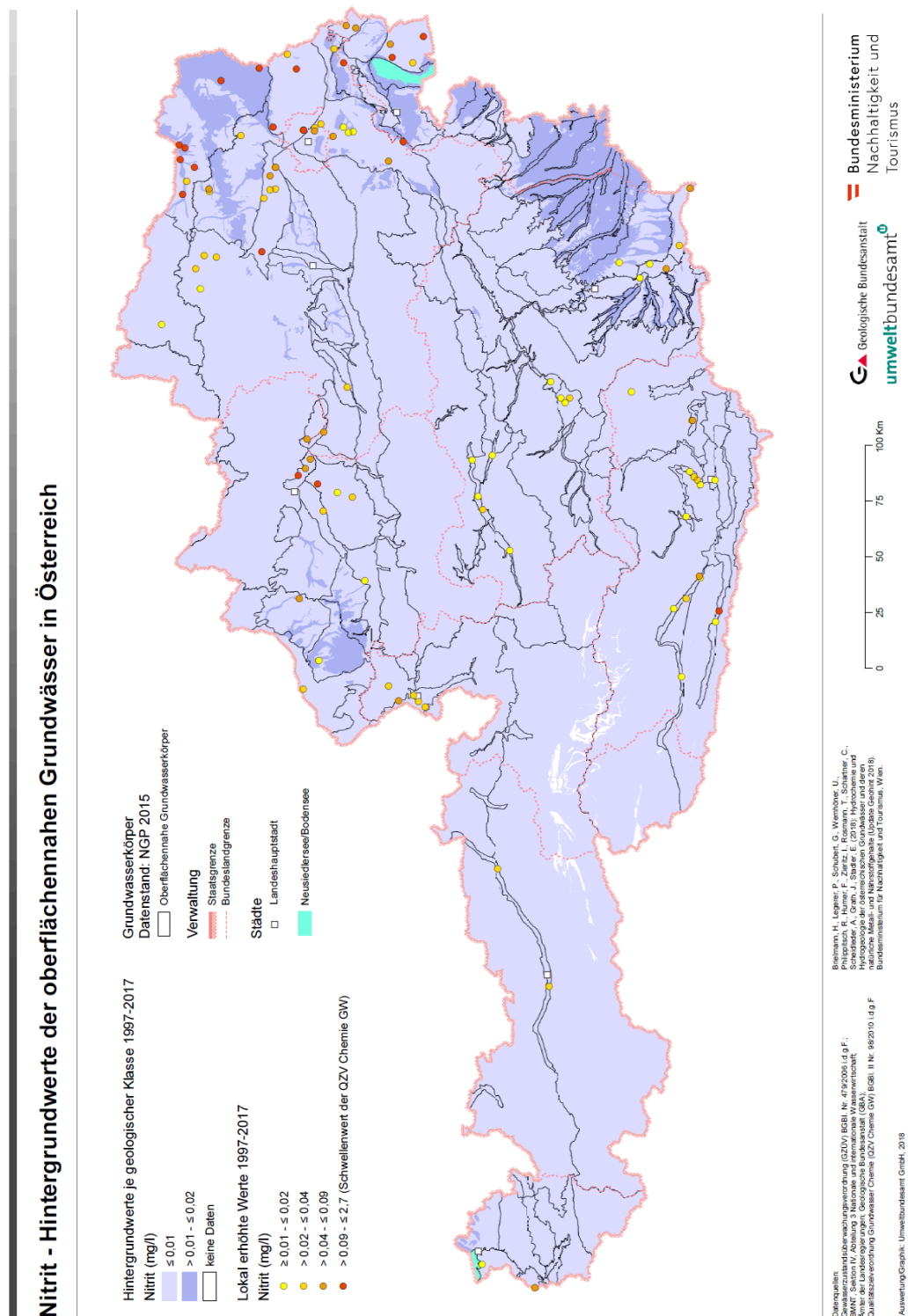


Abbildung 64: Nitrit – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

KARTE AMMONIUM - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

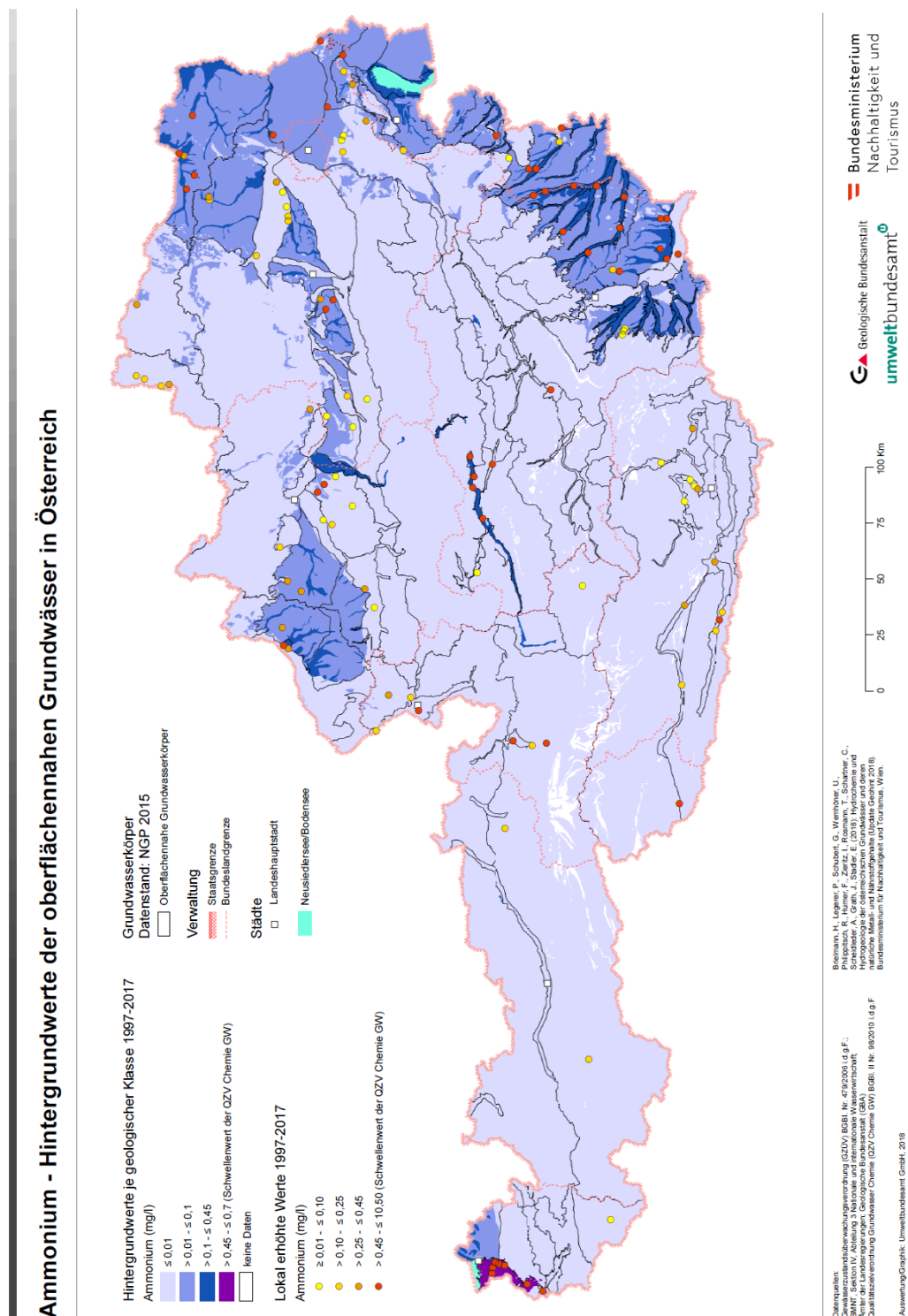


Abbildung 65: Ammonium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.14 PHOSPHAT

Phosphor ist ein lithophiles Spurenelement, das vor allem als Hauptbestandteil im Mineral Apatit vorkommt. Durch Verwitterung freigesetztes Phosphat, ein Salz der Orthophosphorsäure (H_3PO_4), wird durch Tonminerale weitgehend sorbiert. Phosphat hat eine starke Affinität zu Schwermetallen. In reduzierten Grundwässern steigt die Mobilität der Phosphat-Anionen.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Phosphor tritt in der Natur fast ausschließlich in Orthophosphaten, wie Apatit ($\text{Ca}_5[(\text{F},\text{Cl},\text{OH})](\text{PO}_4)_3$), Monazit ((Ce, La, Nd, Th, Sm)(PO_4SiO_4) und Xenotim (YPO_4) auf; außerdem als Spuren- und Nebenelement in Amphibolen, Olivin, Pyroxenen, Glimmer und Feldspäten (GBA 2015).

TABELLE 27: PHOSPHOR - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Phosphor [mg/kg]
Magmatite	1100
Sandsteine	539
Tongesteine	733
Karbonatgesteine	281
Evaporite	
Meerwasser	0,088

Phosphorsäure dissoziiert in Abhängigkeit vom pH-Wert in Phosphat-Ionen, die Komplexe mit vielen anderen Lösungsgenossen (z.B. Eisen, Calcium und Aluminium) eingehen. Besonders Fluorapatit und Hydroxylapatit weisen sehr geringe Löslichkeiten auf. Die starke Sorption an Tonminerale und Eisenhydroxide sind der Hauptgrund für die geringen Phosphatgehalte im Grundwasser. Reduzierende Bedingungen, die zur Eisenmobilisierung führen, können mit erhöhten Phosphatkonzentrationen einhergehen.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Sauerstoffhaltige Grundwässer enthalten im neutralen pH-Bereich Phosphat meist in einem Konzentrationsbereich um 30 µg/l (HÖLL, 1986, MATTHESS, 1990).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Die anthropogenen Hauptquellen für Einträge von Phosphor in die aquatische Umwelt sind Düngung, Bodenerosion von landwirtschaftlichen Flächen (im Hinblick auf Oberflächengewässer) sowie phosphatbelastete Abwässer, Fäkalien oder Abfälle. Auch Landnutzungsänderungen in Moor- und Feuchtgebieten können zur Belastung von Grundwasser mit Phosphat führen. Phosphorverbindungen kommen generell in Waschmitteln, zur Oberflächenveredlung von Metallen, zur Kühlwasserkonditionierung, in der Glas-, Keramik- und Emaille-Herstellung sowie im Lebensmittelbereich als Stabilisatoren zur Anwendung (KÖLLE 2017).

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Phosphor ist für alle Organismen essentiell. Es ist Bestandteil von Knochen (Hydroxylapatit), Nukleinsäuren (DNA) und Adenosintriphosphat (dem Energieträger in Zellen).

Phosphat trägt als Düngemittel zur Erzielung hoher Erträge bei und andererseits zur Eutrophierung von Oberflächengewässern. Deshalb wurde der Schwellenwert der QZV Chemie GW auf Basis der Anforderungen der assoziierten Oberflächengewässer abgeleitet.

In der Trinkwasserbehandlung macht man sich die korrosionshemmende Wirkung von Phosphaten in Bezug auf Stahl, Gusseisen, Blei und Zink zunutze.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 28: PHOSPHAT (PO_4) – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [mg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	0,3
Öst. Lebensmittelbuch Codexkapitel / B 1 / Trinkwasser	Indikatorparameter	0,3

HINTERGRUNDWERTE

Die Phosphat-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von etwa <0,010 bis 0,35 mg/l. Ein Anteil von 28% aller Messstellen weist für Phosphat eine Mediankonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

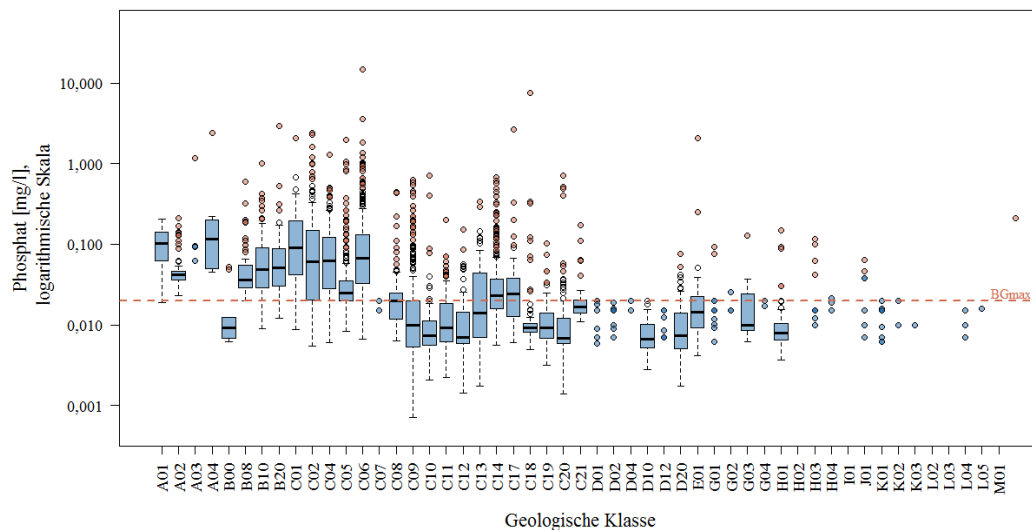


Abbildung 66: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Phosphatkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Geogen erhöhte Phosphorkonzentrationen in den Bach- und Flusssedimenten konnten kleinregional für die Böhmisches Masse und ihre spezifischen Verwitterungsbedingungen sowie innerhalb der Kristallinserien auf das Vorkommen phosphorführender Schwerminerale wie Apatit, Monazit und Xenotim zurückgeführt werden (GBA 2015). Im Zusammenhang mit der Gletscherschmelze und dem Transport von Gesteinsabrieb können ebenfalls erhöhte Phosphorkonzentrationen auftreten. Die Wasserlöslichkeit von Apatiten steigt mit abnehmendem pH-Wert und bei geringen Calciumkonzentrationen. Erhöhte Phosphatkonzentrationen treten im Grundwasser auch auf, wenn unter sauerstoffarmen Bedingungen an Eisenoxide gebundene Phosphationen in Lösung gehen. Intensive landwirtschaftliche Nutzung führt ebenfalls zu erhöhten Phosphatkonzentrationen.

Erhöhte Hintergrundkonzentration von Phosphat zeigten die Wässer in den variszischen Intrusiva des Kristallins der Böhmisches Masse (A01), im Bereich der Gföhler Einheit (A04), in den tertiären Sedimenten des Ottnangiums im Schlierhügelland, Hausruck und der Böhmisches Masse (B10), ebenso die Wässer in den quartären lokalen Sedimenten auf der Böhmisches Masse (C01). Auch die Grundwässer in den quartären Sedimenten des Eferdinger Beckens und Tullnerfeldes (C02), der Welser Heide und des Ybbstals (C04) sowie die neogenen Sedimente des Weinviertels und Lafnitztales weisen höhere Phosphatkonzentrationen auf. Von einer diffusen anthropogenen Überprägung des Grundwassers durch landwirtschaftliche Düngung ist in vielen Bereichen auszugehen.



Abbildung 67: Kiesgrube mit Sedimentschichtung im Marchfeld bei Obersiebenbrunn-, Niederösterreich

KARTE PHOSPHAT - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

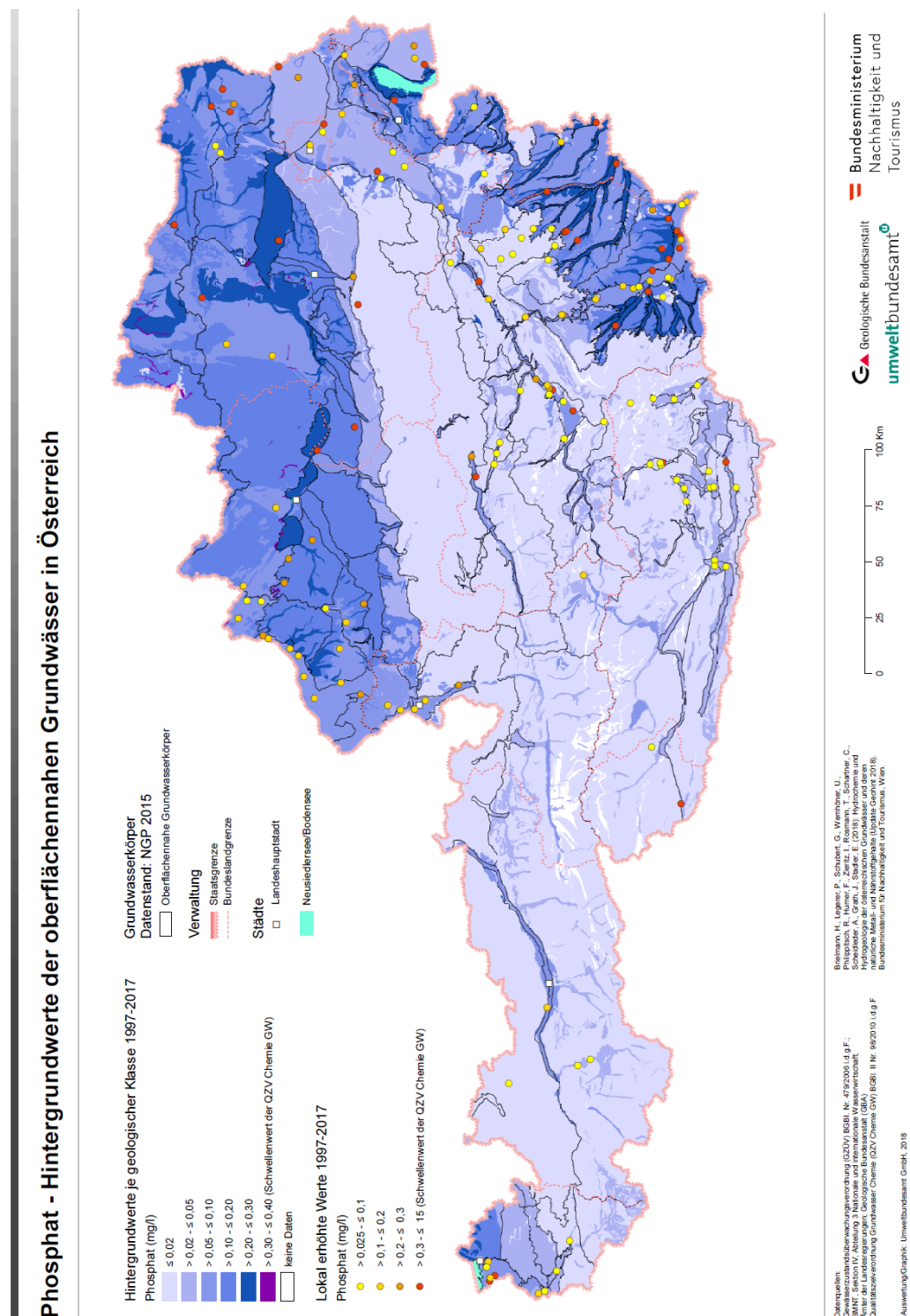


Abbildung 68: Phosphat – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.15 ALUMINIUM

ALLGEMEINES

Aluminium ist ein lithophiles Hauptelement. Es ist in der Erdhülle das dritthäufigste Element nach Sauerstoff (45,5%) und Silizium (25,7%) und das häufigste Metall der Erdkruste. Aluminium ist in Gesteinen fest gebunden. Im Allgemeinen weist Aluminium eine geringe Löslichkeit und Mobilität in natürlichen Grundwässern auf. Freie Aluminium-Ionen (Al^{3+}) bilden sich im Grundwasser nur unter sauren Bedingungen bei pH-Werten < 4 .

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Wichtige Aluminiumminerale sind Korund (Al_2O_3), Andalusit, Disthen, Sillimanit (Al_2SiO_5) und Kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) (siehe auch GBA 2015). Aluminium ist Hauptgemengeteil vieler Silikate, wie z.B. der Feldspäte, Glimmer, Amphibole und Pyroxene. Tonminerale enthalten bis zu 25 Masse-% Aluminium. Die Verwitterung von Aluminosilikaten resultiert in der Bildung von sekundären Mineralen wie beispielsweise Al-Goethit und Gibbsit.

TABELLE 29: SCHWEFEL - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Aluminium [mg/kg]
Magmatite	79500
Sandsteine	32100
Tongesteine	80100
Karbonatgesteine	8970
Evaporite	29
Meerwasser	0,001

Die Aluminiumkonzentration im Grundwasser ist stark vom pH-Wert abhängig (NORDSTROM 1982). Unter quasi neutralen pH-Bedingungen, wie sie in natürlichen Wässern häufig anzutreffen sind, sind aluminiumhaltige Minerale nahezu unlöslich. Unter sauren Bedingungen ($\text{pH} < 4$) kann Aluminium durch Lösung aus Gibbsit oder die beschleunigte Verwitterung von Tonmineralen (wie z.B. Kaolinite) und anderen gesteinsbildenden Mineralen freigesetzt werden. Enthalten die sauren Wässer Sulfat, ist aufgrund der Bildung von Al-SO_4 -Mineralen wiederum mit geringen Aluminiumkonzentrationen zu rechnen.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

In anthropogen unbeeinflussten Grundwässern betragen im Allgemeinen die Aluminiumgehalte nur wenige Hundertstel oder Zehntel mg/l (MATTHESS 1973). Erhöhte Aluminiumkonzentrationen sind nahezu ausschließlich unter sauren Bedingungen anzutreffen, welche geogen oder anthropogen verursacht sein können.

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Aluminium ist das wichtigste Leichtmetall, die Produktionsmengen werden nur noch durch Eisen und Stahl übertroffen. Ein Großteil des Metalls wird recycelt. Zur Verwendung kommt Aluminium als Konstruktionswerkstoff im Baugewerbe, Auto- und Flugzeugbau, als Schallschutz in Verkehrstunneln bei der Herstellung von Blechen, Drähten, Beschichtungen und Legierungen. Weitere Anwendungen finden Aluminiumverbindungen als Ausgangsprodukt für Papierleime, Gerbstoffe, Schleifmittel, für Crackingprozesse sowie als Reduktions- und Hydrierungsmittel.

In die Umwelt gelangt es hauptsächlich über die atmosphärische Deposition als Stäube aus der Aluminiumverhüttung und -verarbeitung, über Klärschlamm, Abwasser, Hausmüll, Schleifmittel und Verpackungsmaterialien.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Aluminium ist kein essentielles Spurenelement. Über die Nahrung aufgenommenes Aluminium wird zum überwiegenden Teil unresorbiert wieder ausgeschieden.

Aluminiumsalze werden in der Wasseraufbereitung für Fällungsreaktionen zur Entfernung von Verunreinigungen oder der Senkung des Phosphatgehaltes genutzt. Dabei bildet sich überwiegend unlösliches Aluminiumhydroxid.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 30: ALUMINIUM – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [µg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	200

HINTERGRUNDWERTE

Die Aluminium-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von 3,5 bis 22 µg/l. Ein Anteil von 94% aller Messstellen weist für Aluminium eine Mediankonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

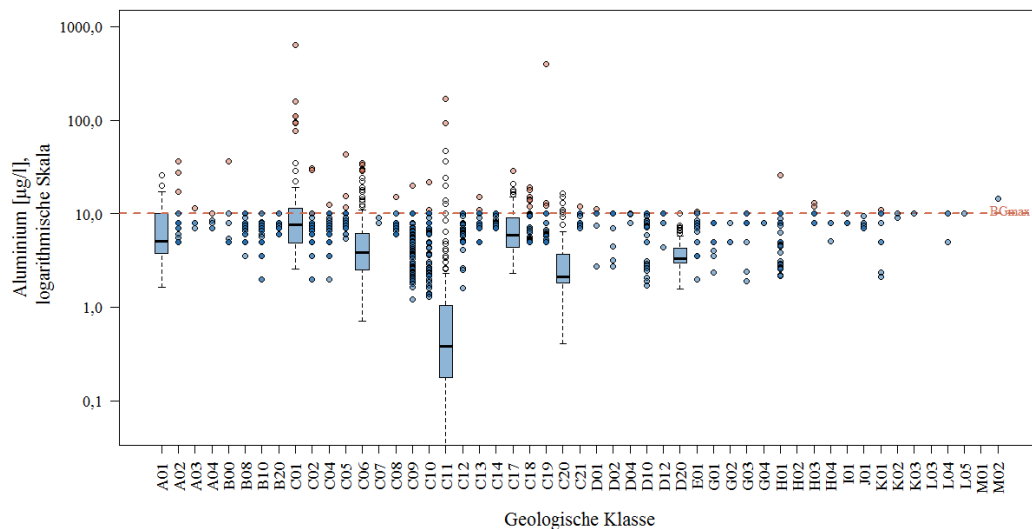


Abbildung 69: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Aluminiumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Hintergrundkonzentrationen von Aluminium über der maximalen Bestimmungsgrenze von 10 µg/l zeigen die Wässer in den variszischen Intrusiva des Kristallins der Böhmisches Masse (A01), welche gleichzeitig durch niedrige pH-Werte gekennzeichnet sind, ebenso die Wässer in den quartären lokalen Sedimenten auf der Böhmisches Masse (C01). Das Rheintal weist eine Hintergrundkonzentration von 17 µg/l Aluminium auf.

KARTE ALUMINIUM - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

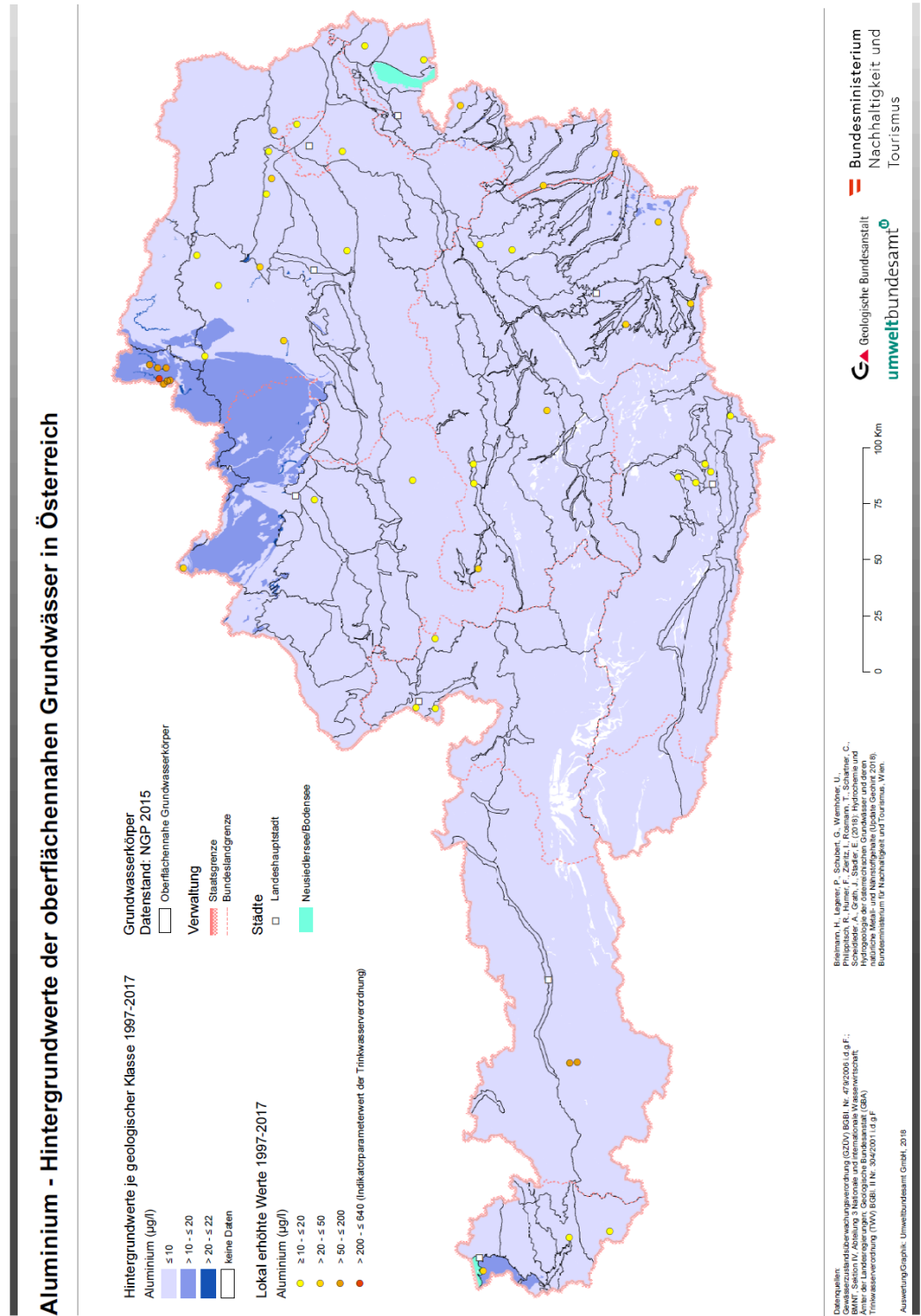


Abbildung 70: Aluminium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.16 ARSEN

ALLGEMEINES

Arsen ist ein chalkophiles Spurenelement. Es kommt vor allem in sulfidischen Vererzungen wie Arsenopyrit und Fahlerzen vor; vereinzelt auch in gediegener Form. Die Mobilität von Arsen ist stark redoxabhängig.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Überwiegend tritt Arsen in Mineralgesellschaften (Edel- und Buntmetallerze) auf: häufig sind es gemischte Sulfide mit z. B. Eisen, Kupfer, Blei und Zink. Insbesondere die Erzminerale Arsenopyrit oder Arsenkies, Löllingit, Realgar und Auripigment sind wichtige Vertreter in den verschiedenen Erzvorkommen Österreichs (BMLFUW 2012).

TABELLE 31: - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Arsen [mg/kg]
Magmatite	1,75
Sandsteine	1,0
Tongesteine	9,0
Karbonatgesteine	1,75
Evaporite	
Meerwasser	0,0026

Das Metall tritt sehr häufig, wenn auch nur in geringen Mengen, in Grund- und Oberflächengewässern auf. Dreiwertige Arsenverbindungen (Arsenite) sind relativ gut löslich in Wasser – verglichen mit fünf-wertigen Arsenverbindungen (Arsenate) – und sind bei leicht reduzierenden Bedingungen im Grundwasser stabil. Im oxidierenden Milieu überwiegen Arsen(V)-Verbindungen (SCHLEYER & KERNDORFF 1992). Durch Verwitterung arsenhaltiger Erze gelangt Arsen ins Grundwasser. Unter oxischen Bedingungen adsorbiert Arsenat an Eisen- und Mangan(hydr)oxide und ist somit nicht frei verfügbar. Im reduzierenden Milieu werden die Eisen- und Mangan(hydr)oxide reduziert, wodurch das gebundene Arsen wieder freigesetzt wird (FENT 2003).

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Im Grundwasser liegen die Arsengehalte im Allgemeinen unter 0,1 mg/l (MATTHESS 1973). Erhöhte Konzentrationen können generell nach Abgabe von Arsen beispielsweise aus Buntsandstein oder anderen geologischen Formationen sowie durch Freisetzung aus arsenhaltigen Sulfiden durch Oxidationsprozesse, z.B. im Zusammenhang mit der Denitrifikation durch Eisensulfide, resultieren (KÖLLE 2017).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Arsen wird hauptsächlich als Nebenprodukt bei der Verhüttung anderer Erze gewonnen und gelangt deshalb als Folgeerscheinung von Bergbauaktivitäten in die Umwelt. Metallisches Arsen findet Verwendung als Legierungsmetall, in oxidischer Form für medizinische Zwecke, zur Herstellung von Insektiziden, Herbiziden, Holzschutzmittel, für Farben und Pigmente (GBA 2015). Auch bei der Herstellung von Mikrochips und in der der Lasertechnologie werden Arsenverbindungen eingesetzt.

In die Umwelt gelangt Arsen vor allem im Zusammenhang mit der Metallverhüttung, Kohleverbrennung und durch den Einsatz arsenhaltiger Insektizide und Herbizide.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Arsen ist ein eventuell essentielles Spurenelement für Tiere, die Bedeutung für den Menschen ist nicht vollständig geklärt. Arsen ist giftig. Neben der akuten Toxizität besitzt Arsen auch chronische (z.B. karzinogene) Wirkungen (KÖLLE 2017).

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 32: ARSEN – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [µg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	9,0
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	10

HINTERGRUNDWERTE

Die Arsen-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von <0,3 bis 3,0 µg/l. Der Hauptanteil von 78% aller Messstellen weist für Arsen Mediankonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

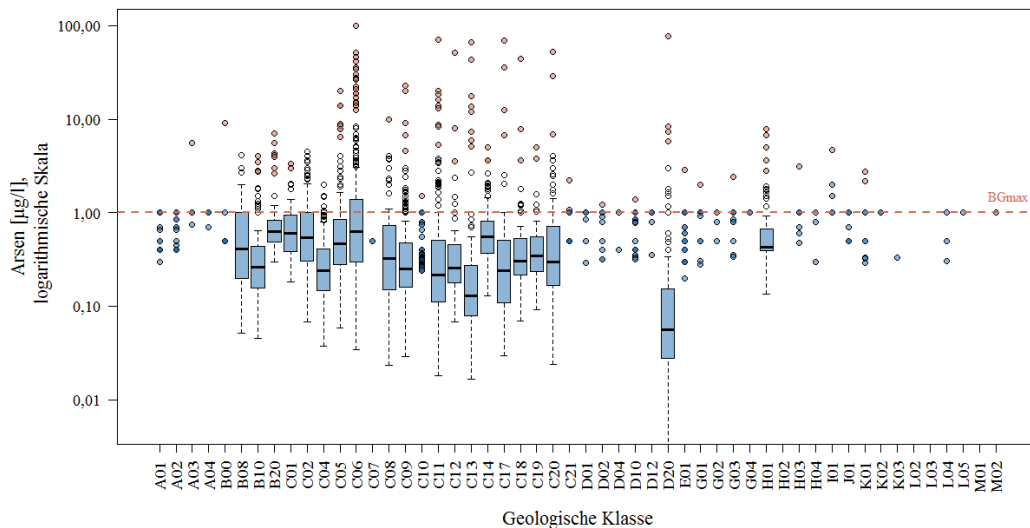


Abbildung 71: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Arsenkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Hintergrundkonzentrationen von Arsen über der maximalen Bestimmungsgrenze von 1 µg/l mit bis zu mehreren Zehner µg/l zeigen insbesondere die Wässer in den durch neogene Sedimente (C06) geprägten Tälern der Südost- und Südweststeiermark sowie des Burgenlandes (Hügelland zwischen Mur und Raab, Strem, Saggau, Lafnitz, Feistritz, Raab). Gleichzeitig weisen diese überwiegend sauerstofffreien oder sauerstoffarmen Wässer häufig erhöhte Eisen-, Mangan- und Ammoniumkonzentrationen auf. Hintergrundkonzentrationen von bis zu 2 µg/l zeigen insbesondere sauerstoffarme Grundwasserbereiche in den lokalen quartären Sedimenten der Böhmisches Masse (C01), den Porengrundwasserkörpern entlang der Donau wie beispielsweise dem Tullnerfeld und Eferdinger Becken, im Bereich der Mürz (C14) oder im Drautal (C20).

Auch in der Zentralzone und im Mittleren Ennstal treten im Grundwasser lokal erhöhte Arsenkonzentrationen auf.

Hervorzuheben sind die erhöhten Arsenkonzentrationen in Grundwässern im Bereich der Marmore des Oberostalpinen Kristallins (H02), die häufig für Trinkwasserzwecke genutzt werden: Im Bundesland Kärnten wurden in den Jahren 2000 bis 2002 Trinkwässer gezielt auf Arsen untersucht (MATHIASCHITZ et al. 2003). In der genannten Studie waren dabei im Bezirk Wolfsberg gehäuft Arsenkonzentrationen über 10 µg/l festgestellt worden (Beprobung 2000/2001: 21 Analysen 11-50 µg/l und acht Analysen >50 µg/l, Maximum 510 µg/l; Beprobung 2002: 19 Analysen 11-50 µg/l und vier Analysen >50 µg/l, Maximum 490 µg/l). Die Lage der im Bezirk Wolfsberg betroffenen Messstellen deckt sich im Wesentlichen mit dem Verbreitungsgebiet des Preims-Komplexes (WEISSENBACHER & PISTOTNIK 2000), einem Marmorvorkommen im Ostalpinen Kristallin (H02). Besonders hohe Arsenkonzentrationen im Verbreitungsgebiet des Preims-Komplexes werden auch in ZÖTL & GOLDBRUNNER 1993 angegeben: Auf Seite 151 wird für die Auenquelle NW‘ Wolfsberg ein Arsengehalt von 20 µg/l und auf Seite 153 für die Franz-Kahler-Quelle in Bad Weißenbach eine Arsenkonzentration von 33 µg/l zitiert.

Auch in den Karbonaten der Grauwackenzone (G03) können im Grundwasser hohe Arsenwerte auftreten, wie die Ultraspurenprobe US03 (Quelle im devonischen Schwazer Dolomit, Tirol) aufzeigt: 29,9 µg/l (Geologische Themenkarte „Mineral und Heilwässer in Österreich“, Ultraspurenanalytik BOKU Wien, Abteilung für Analytische Chemie).

Extrem hohe Arsengehalte sind mitunter mit Sauerlingen verbunden, Beispiele dafür liefern im Engadin die Probenahmestelle US05 mit 109 µg/l in der filtrierten Probe (im Einzugsgebiet H01 und K01), im Umfeld des genannten Preims-Komplexes (H02) die Probenahmestelle US mit 484 µg/l und ein Sauerling in Eisenkappel mit sogar etwa 2000 bis 5000 µg/l (G04); die entsprechenden Daten werden mit der genannten Themenkarte publiziert.

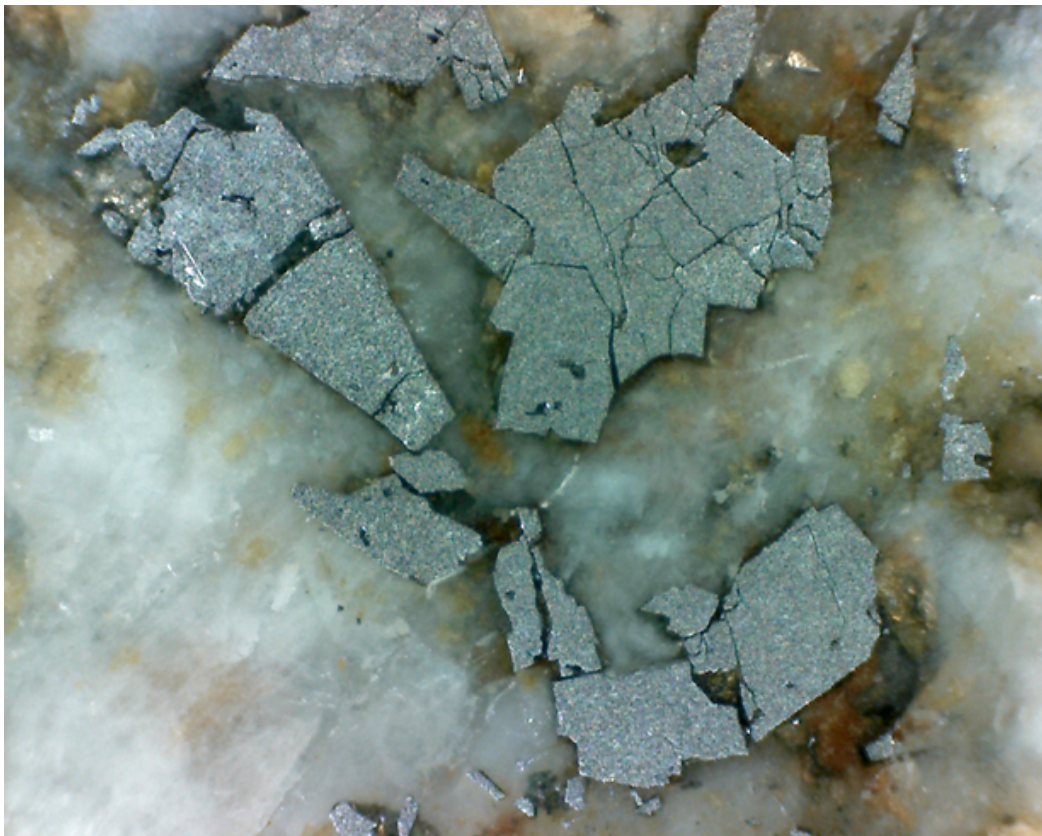


Abbildung 72: Arsenkieskristalle in einem Feldspat-Quarzganggestein, polierter Gesteinsanschliff, Gailtalkristallin/Kärnten (Bildbreite: 5 cm)

KARTE ARSEN - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

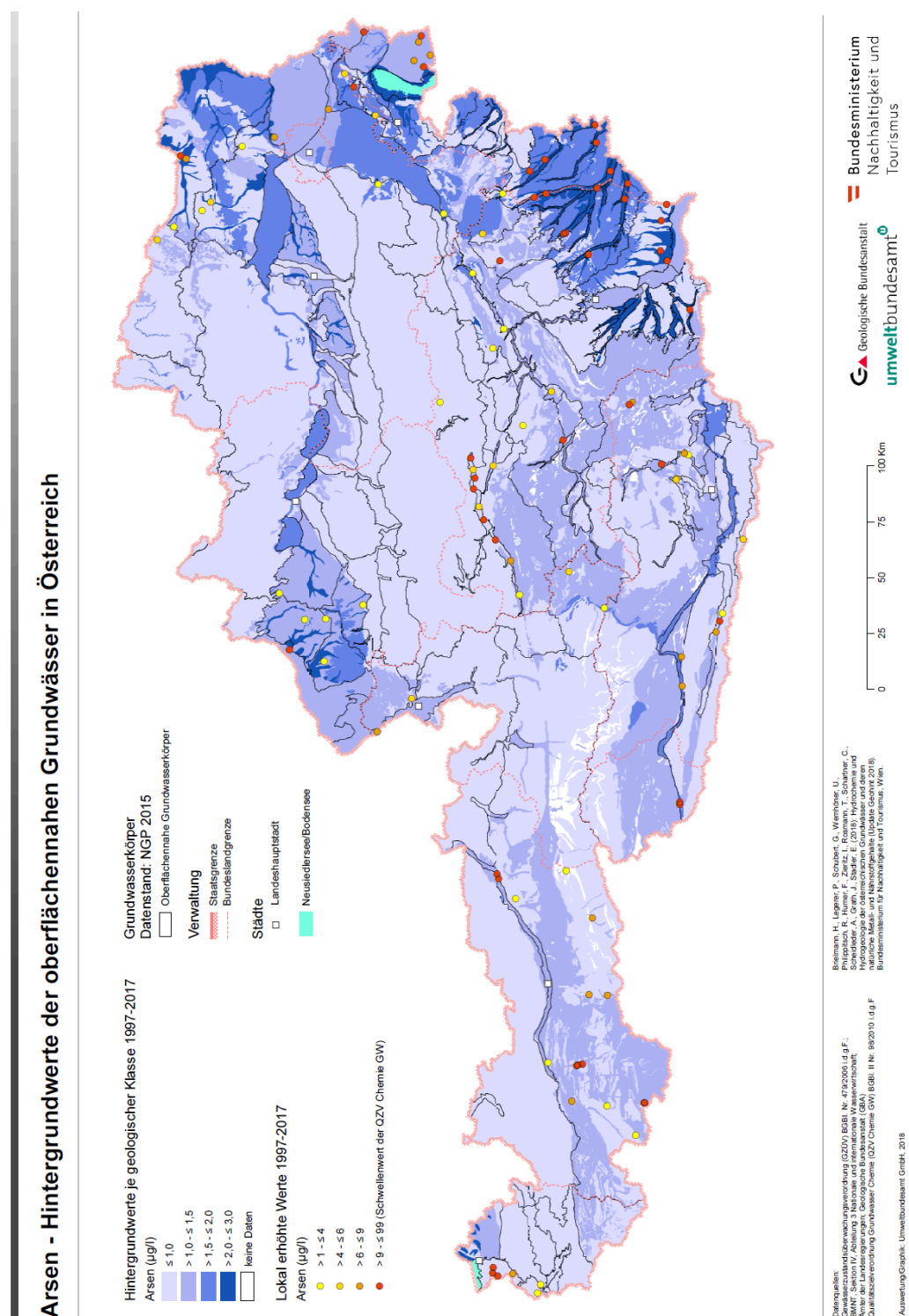


Abbildung 73: Arsen – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.17 BLEI

ALLGEMEINES

Blei ist ein oxichalkophiles Spurenelement und in seiner gediegenen Form selten. Verbreitet sind Bleiverbindungen, die fast immer mit Sulfiden anderer Schwermetalle vergesellschaftet sind und mitunter mit hohen Silbergehalten angereichert sein können.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Die wichtigsten Bleiminerale sind Galenit (Bleisulfid/Bleiglanz, PbS), Cerussit (Bleicarbonat, PbCO_3) und Anglesit (Bleisulfat, PbSO_4). Blei ist zudem ein Spurenelement in Kalifeldspäten, Plagioklas, Glimmer, Zirkon und Magnetit (siehe auch GBA 2015).

Blei weist eine ausgesprochen geringe Löslichkeit und Mobilität auf. Unter oxidierenden Bedingungen ist Blei etwas mobiler als unter reduzierenden Bedingungen, bei denen es als Bleisulfid ausfällt. Die Mobilisierung von Blei beginnt bei pH-Werten < 5 . Blei sorbiert an organische Substanz, Eisen- und Mangan-Hydroxide sowie Tonminerale.

TABELLE 33: BLEI - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Blei [mg/kg]
Magmatite	15,6
Sandsteine	13,5
Tongesteine	80
Karbonatgesteine	16,5
Evaporite	0,9
Meerwasser	0,00003

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Anthropogen unbeeinflusste Grundwässer weisen im Allgemeinen keine nachweisbaren, höchstens einige $\mu\text{g/l}$ bis $20 \mu\text{g/l}$ auf (MATTHESS 1973).

Für Grundwasser in Österreich lagen im Auswertzeitraum 2006–2010 die Bleikonzentrationen-Mediane von 98 % der Messstellen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Der Maximalwert lag bei $4,2 \mu\text{g/l}$ (BMLFUW 2012).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Blei findet in vielen Legierungen, Akkumulatoren, als Abschirmungsmaterial im Strahlenschutz, als Kabelummantelung, Plombenmaterial sowie in der Bauindustrie (Bedachung, Isolation und Schalldämmung) Verwendung. Bleiverbindungen werden in Bleiglas und Glasuren sowie bei Isolierglas eingesetzt. Auch Korrosionsschutzanstriche und Farbpigmente enthielten lange Zeit Blei, ebenso wie Bleileitungen zur Trinkwasserversorgung. In die Umwelt gelangte es vor allem durch die auf der Verbrennung von verbleitem Benzin beruhende Bleiemanission, aber auch durch Bergbau und Metallverhüttung, Verkehr, Müllverbrennung, Klärschlamm und Deponien.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Blei ist ein stark toxisches Element (vor allem für Tiere). Es reichert sich über das Atmungssystem und die Nahrungsaufnahme in Leber, Nieren, Blut, Knochen und Zähnen an.

Bis in die 1950er-Jahre wurden Bleileitungen zur Trinkwasserversorgung in Häusern installiert. Aus diesen alten Hauswasserleitungen sowie aus Armaturen kann durch das Wasser Blei gelöst werden. Die Bleikonzentration im Trinkwasser kann so deutlich über dem zulässigen Höchstwert der Trinkwasserverordnung liegen. Die Bleilöslichkeit sinkt mit zunehmender Wasserhärte und längerer Nutzung der Leitungen und Armaturen durch die Bildung von Ablagerungen (im Normalfall Bleicarbonat und Bleisulfat) und der damit verbundenen geringeren Auslösung von Blei (MERIAN 1991, BMLFUW 2010, BMLFUW 2012).

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 34: BLEI – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [µg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	9
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	10

HINTERGRUNDWERTE

Die Blei-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von <0,4 bis 1,6 µg/l. Der Hauptanteil von 91% aller Messstellen weist für Blei Mediankonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

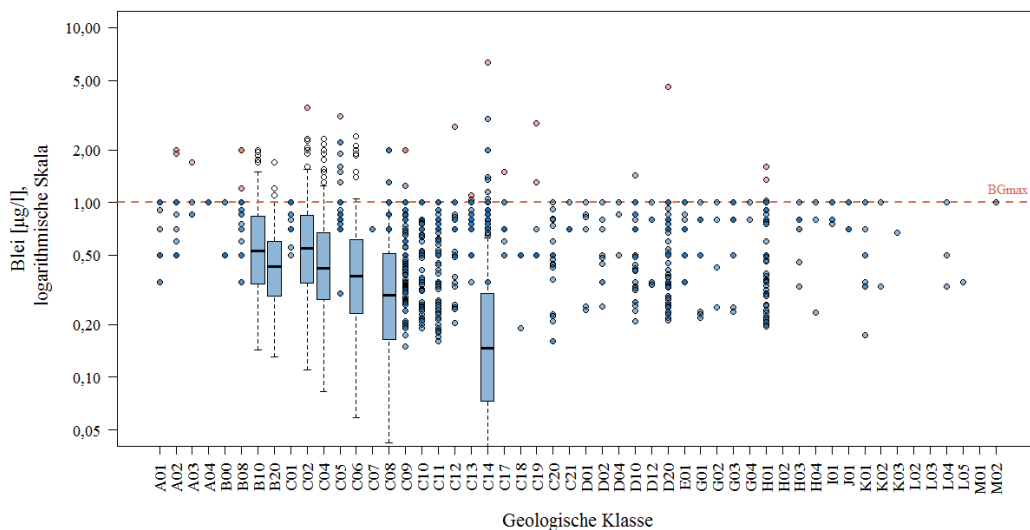


Abbildung 74: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Bleikonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Hintergrundkonzentrationen von Blei knapp über der maximalen Bestimmungsgrenze (1 µg/l) mit 1,5 bzw. 1,6 µg/l Blei zeigen die Wässer in durch neogene Sedimente geprägten Bereichen des Weinviertels (C06) und in den tertiären Sedimenten des Schlierhügellandes (B10).

Die bekannteste Blei-Zinkerzlagstätte (CERNY 1989) Österreichs liegt in Bad Bleiberg-Kreuth in Kärnten, der Bergbau wurde 1993 eingestellt. Im Datensatz der Bachsedimentgeochemie (GBA 2015) ist im Umfeld dieser Lagerstätte die auffälligste Blei-Anomalie ausgebildet. Laut CERNY & SCHROLL (1999) ist die Typuslagerstätte Bleiberg an den oberen Wettersteinkalk und Raibler Schiefer gebunden. Weitere geogen erhöhte Konzentrationen gibt es im Bereich von Pb-Zn-Vererzungen im Grazer Paläozoikum, im Drauzug und den Karawanken, in den westlichen Tiroler Kalkalpen, bei Walchen, in den Schladminger Tauern, in der Kreuzeckgruppe und den Kitzbüheler Alpen (GBA 2015).

Im Rahmen der hydrogeologischen Erhebungen für die Erläuterungen der Geologische Karte 1 : 50 000, Blatt 122 Kitzbühel wurden im Raum Fieberbrunn im Verbreitungsgebiet des devonischen Spielberg Dolomit (bei G03) gezielt Quellen beprobt. Bei einer Quelle konnten eine Bleibelastung von 36,7 µg/l festgestellt werden (Analytik: Geologische Bundesanstalt, Fachabteilung Geochemie). Im Verbreitungsgebiet des Spielberg Dolomits fand einst eine rege Bergbautätigkeit auf Fahlerz, Kupferkies, Bleiglanz, Baryt etc. statt (SCHUBERT, 2015b).



Abbildung 75: Sinterspuren in der Dachstein-Mammut-Höhle der Nördlichen Kalkalpen , Oberösterreich

KARTE BLEI - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

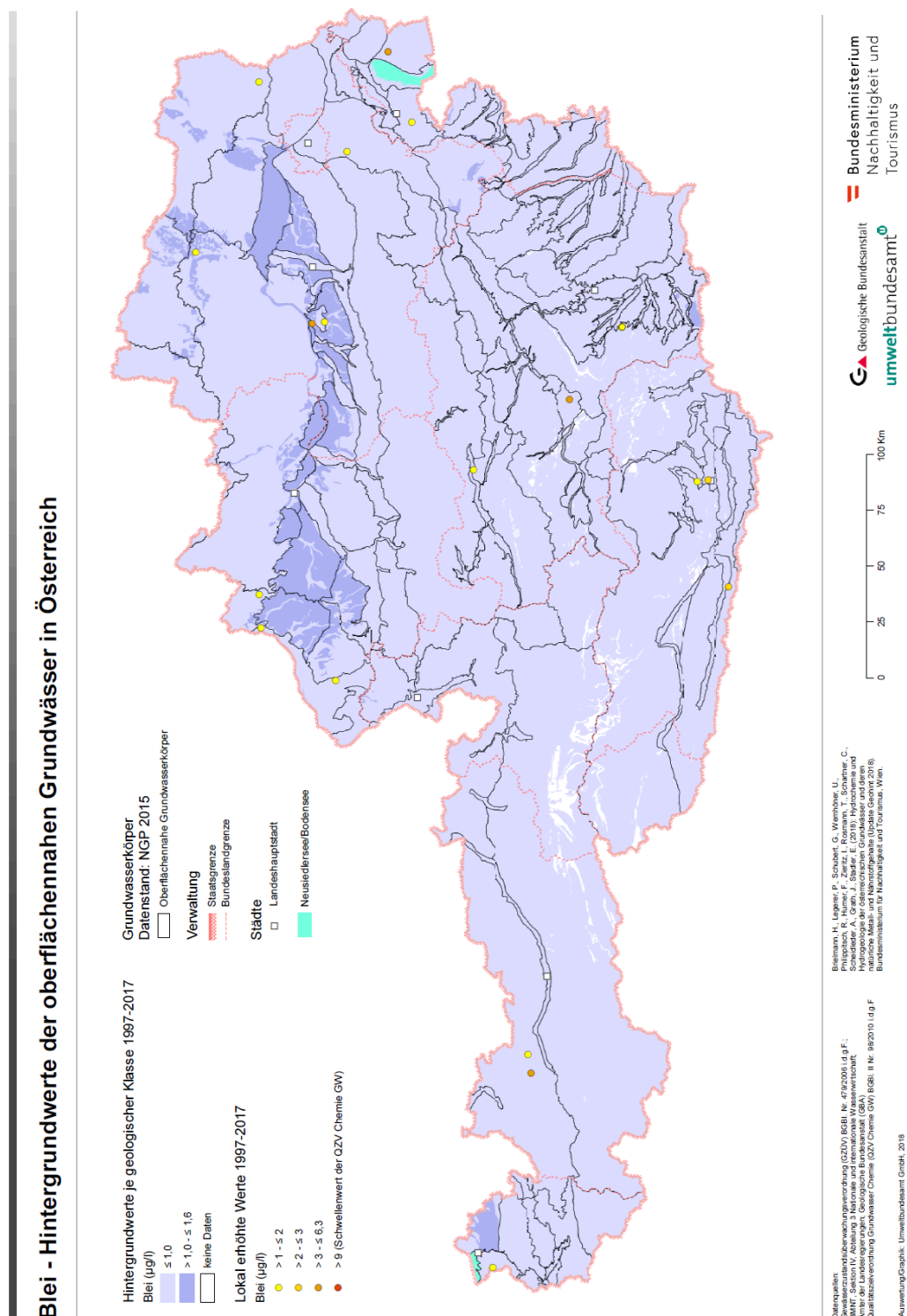


Abbildung 76: Blei – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.18 CHROM

ALLGEMEINES

Chrom ist ein lithophiles, relativ weit verbreitetes Spuren- bis Nebenelement mit geringer Mobilität. Es tritt in Vergemeinschaftung mit Magnesium, Eisen, Nickel und Cobalt auf.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Chrom ist das Leitelement für Basite und Ultrabasite aus der tiefen Erdkruste bzw. dem oberen Erdmantel und häufig mit Nickel auch vergesellschaftet. Die wichtigsten chromhaltigen Minerale sind Chromit (FeCr_2O_4), Krokoit und Kämmerit. Es tritt zudem in Pyroxenen, Amphibolen, Glimmern und Chloriten als Begleit- und Spurenelement auf (siehe auch GBA 2015).

TABELLE 35: CHROM - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Chrom [mg/kg]
Magmatite	198
Sandsteine	120
Tongesteine	423
Karbonatgesteine	7,08
Evaporite	10,6
Meerwasser	0,0002

Die Löslichkeit und Mobilität von Chrom ist von den pH- und Redoxbedingungen abhängig. Chrom tritt vor allem in drei- und sechswertige Verbindungen auf. Dreiwertiges Chrom verhält sich ähnlich dem Eisen(III) und geht im neutralen pH-Bereich schwerlösliche Hydroxidverbindungen ein. Es sorbiert zudem stark an Schwebstoffe. Sehr gut löslich sind die Verbindungen des sechswertigen Chroms.

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Chromverbindungen finden Anwendung als Legierungsbestandteil von Spezialstählen und Korrosionsschutz. Sie kommen außerdem als Gerbstoff, Farbpigment, zur Holzimprägnierung, als Zusatzstoff in Kunststoffen und in Katalysatoren vor. Der Eintrag in die Umwelt erfolgt in erster Linie aus Gerbereien und Galvanikbetrieben sowie partikulär aus der metallverarbeitenden Industrie (GBA 2015, KÖLLE 2017).

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Dreiwertiges Chrom ist ein essentielles Spurenelement. Sechswertiges Chrom ist toxisch für alle Organismen. Beim Menschen wirkt es mutagen bzw. erbgutverändernd und kann Hautallergien hervorrufen (KÖLLE 2017).

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 36: CHROM – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [$\mu\text{g/l}$]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	45
Trinkwasserverordnung	Parameterwert	50

HINTERGRUNDWERTE

Die Chrom-(gesamt)-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von 0,6 bis 2,7 µg/l. Der Hauptanteil von 89% aller Messstellen weist Chrom Mediankonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

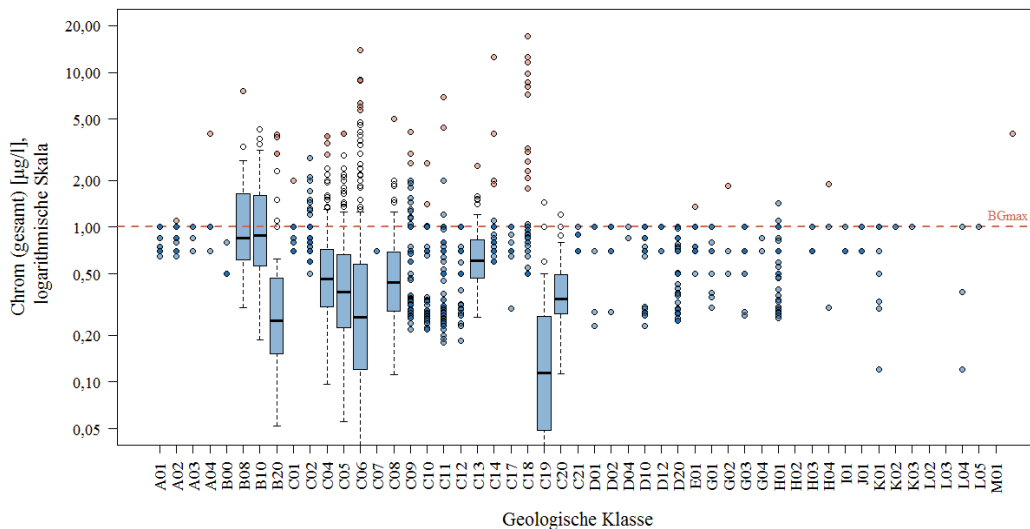


Abbildung 77: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Chromkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Hintergrundkonzentrationen von Chrom (gesamt) geringfügig über der maximalen Bestimmungsgrenze im Bereich von 1,1 bzw. 2,7 µg/l Chrom (gesamt) zeigen vor allem die Wässer in den tertiären Sedimenten des Weinviertel, Lafnitztals, Ikvatals und Südlichen Wiener Becken (B08, Pannonium) sowie in den tertiären Sedimenten des Schlierhügelland, Kobernaußerwald und Hausruck (B10, Danium bis Ottnangium). Zudem weisen die Wässer in den karbonatbetonten Sedimenten der Traun-Enns-Platte (C04), im Marchfeld und im Südlichen Wiener Becken (C05) und den quartären Talfüllungen des Ikvatals, Sulmtals, im Schlierhügelland und Weinviertel Hintergrundwerte in diesem Bereich auf.

In den Bach- und Flusssedimenten sind vor allem kleinräumige Vorkommen von Serpentiniten im Raum Rechnitz/Burgenland, Preg-Kraubath/Steiermark, westlich Trieben/Steiermark oder nördlich Heiligenblut/Kärnten für hohe Chromkonzentrationen verantwortlich. Auch mit dem Vorkommen von chromitführenden Kreidesedimenten der Gosau-Formation in den nördlichen Kalkalpen sind höhere Chromkonzentrationen in den Bach- und Flusssedimenten verknüpft (GBA 2015).

Im Rahmen der Vorarbeiten für die Geologische Themenkarte „Mineral- und Heilwässer in Österreich“ (zurzeit an der Geologischen Bundesanstalt in redaktioneller Bearbeitung) wurde gezielt im Verbreitungsgebiet eines Serpentinikörpers bei Bernstein/Oberwart im Burgenland ein Quellwasser analysiert. Dieses wies in der gefilterten Probe (US41, Ultraspurenanalytik BOKU Wien, Abteilung für Analytische Chemie) einen erhöhten Chrom-Gehalt von 2,64 µg/l auf.

KARTE CHROM - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

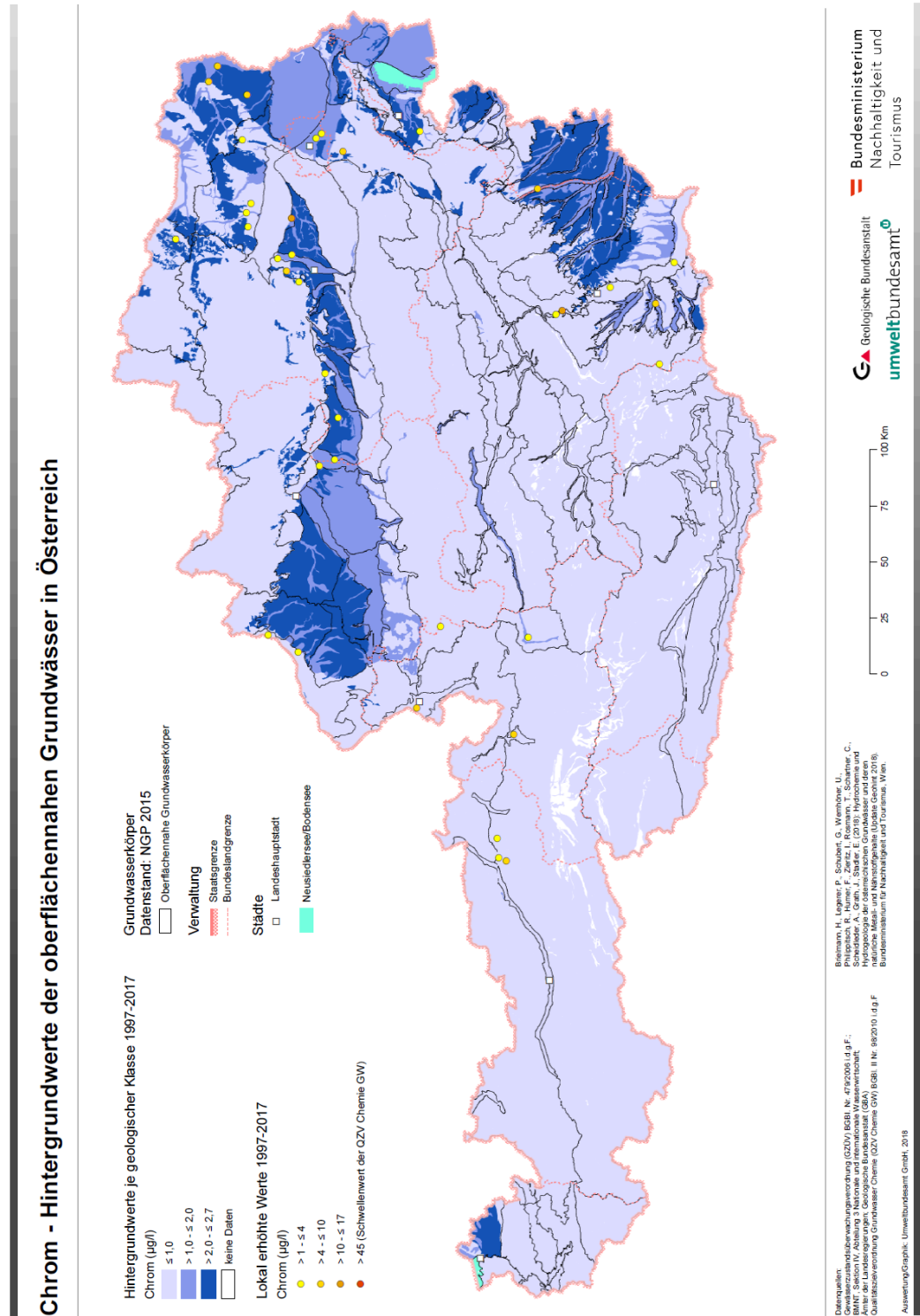


Abbildung 78: Chrom – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.19 BOR

ALLGEMEINES

Bor ist ein lithophiles Spurenelement, das zur Gruppe der Halbmetalle gehört. Borsalze sind in der Regel gut wasserlöslich.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Die wichtigsten Bormineralien sind Kernit ($\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_6(\text{OH})_2]$), Borax (Natriumborat, $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]$), Ulexit ($\text{CaNa}[\text{B}_5\text{O}_{10}(\text{OH})_6]$) und Colemanit ($\text{CaB}_3\text{O}_6(\text{OH})_3$). Außerdem ist es in Schiefer und lehmreichen Gesteinen zu finden. Inwiefern Borverbindungen an Tonminerale gebunden sind, ist pH-abhängig. Nur im alkalischen Bereich über pH 8,2 dissoziiert Orthoborsäure nennenswert (MATTHESS 1973).

TABELLE 37: BOR - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Bor [mg/kg]
Magmatite	7,5
Sandsteine	90
Tongesteine	194
Karbonatgesteine	16
Evaporite	1,2
Meerwasser	4,45

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Anthropogen unbeeinflusste Grundwässer weisen im Allgemeinen Borkonzentration unter 1 mg/l, in der Größenordnung einiger Hundertstel bis Zehntel mg/l auf (MATTHESS 1973). SHAND et al. (2007) geben für Bor im Grundwasser von England und Wales einen Median von 0,024 mg/l an.

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Bor findet in der Metallherstellung Verwendung und ist Bestandteil von Imprägnierungs- und Holzschutzmitteln. Natriumperborat ist Waschmittelbestandteil. Borverbindungen finden zudem bei der Herstellung von Glas, Keramik und Emaille Anwendung. Borax und Borsäure sind Bestandteil von Düngern und Pflanzenschutzmitteln. In die aquatische Umwelt gelangen Borverbindungen vorwiegend über das Abwasser, Klärschlämme, landwirtschaftliche Dünger sowie aus Haus- und Sondermülldeponien.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Bor ist kein essentielles Element für Menschen und besitzt nur geringe physiologische Wirkungen. Bormangel bei Pflanzen führt hingegen zu Wachstumsproblemen. Bor ist allerdings phytotoxisch, daher wird von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg für die Bewässerung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen aus ökotoxikologischer Sicht als Geringfügigkeitsschwelle für Grundwasser ein Wert von 300 µg/l empfohlen (LUBW <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/102102/U12-S5-N02.pdf?command=downloadContent&filename=U12-S5-N02.pdf&FIS=91063>).

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 38: BOR – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [µg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	0,9
Trinkwasserverordnung	Indikatorparameter	1,0

HINTERGRUNDWERTE

Die Bor-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von <0,006 bis 0,212 mg/l. Ein Anteil von 33% aller Messstellen weist für Bor Mediankonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

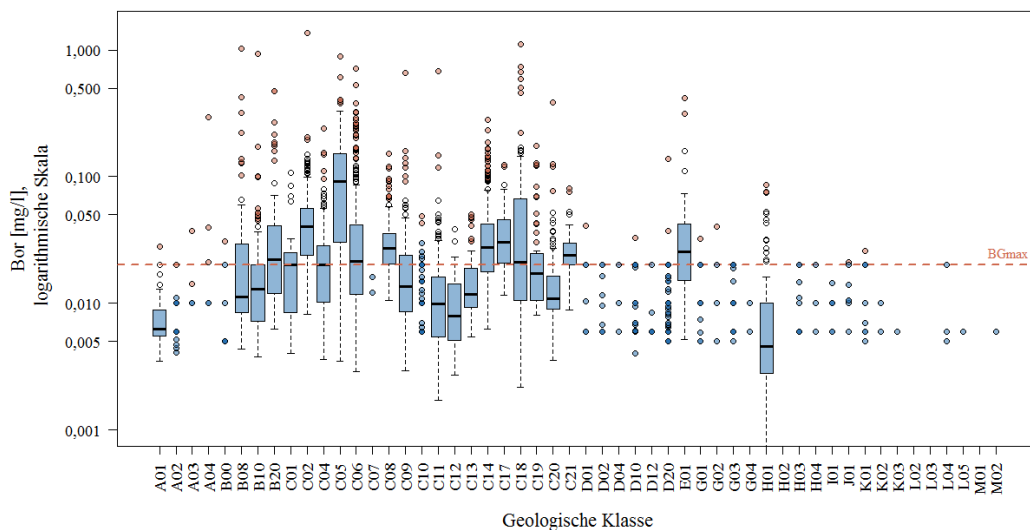


Abbildung 79: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Borkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Eine Hintergrundkonzentration 0,212 mg/l Bor ist für die Wässer in den quartären Sedimenten des Marchfeldes und Südlichen Wiener Beckens zu verzeichnen (C05). Hintergrundkonzentrationen im Bereich von 0,062 bis 0,136 mg/l sind für die Wässer in den lokalen Sedimenten auf der Böhmisches Masse (C01), im Tullnerfeld/Niederösterreich (C02), in den neogenen Talfüllungen des Weinviertels, Lassnitz- und Stainzbachtals in der Steiermark (C06), im Rheintal/Vorarlberg (C17), im Bereich der Gurk/Kärnten (C18) sowie in der Flyschzone (E01) zu verzeichnen.

In den neogenen Talfüllungen des Weinviertels, Lassnitz- und Stainzbach- und Sulmtals (C06) sind zudem häufiger lokal erhöhte Werte im Grundwasser zu verzeichnen, ebenso wie für die Wässer im Grazer Feld und Aichfeld-Murboden in der Steiermark (C14), im Südlichen Wiener Becken (C08) sowie vereinzelt in den tertiären Sedimenten der Böhmisches Masse, im niederösterreichischen Alpenvorland und Schlierhügelland in Oberösterreich (B10).

Generell können Grundwasser in Vulkangebieten sowie vulkanogene Thermalquellen beträchtliche Borkonzentrationen aufweisen. Borkonzentration von 2,25 mg/l wurden in Österreich beispielsweise in einem artesischen Hausbrunnen im Saßbachtal (Steiermark) mit Bezug zum überdeckten Vulkan von Landorf nachgewiesen (GAMERITH et al. 1973, ZETINIGG 1982).

KARTE BOR - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

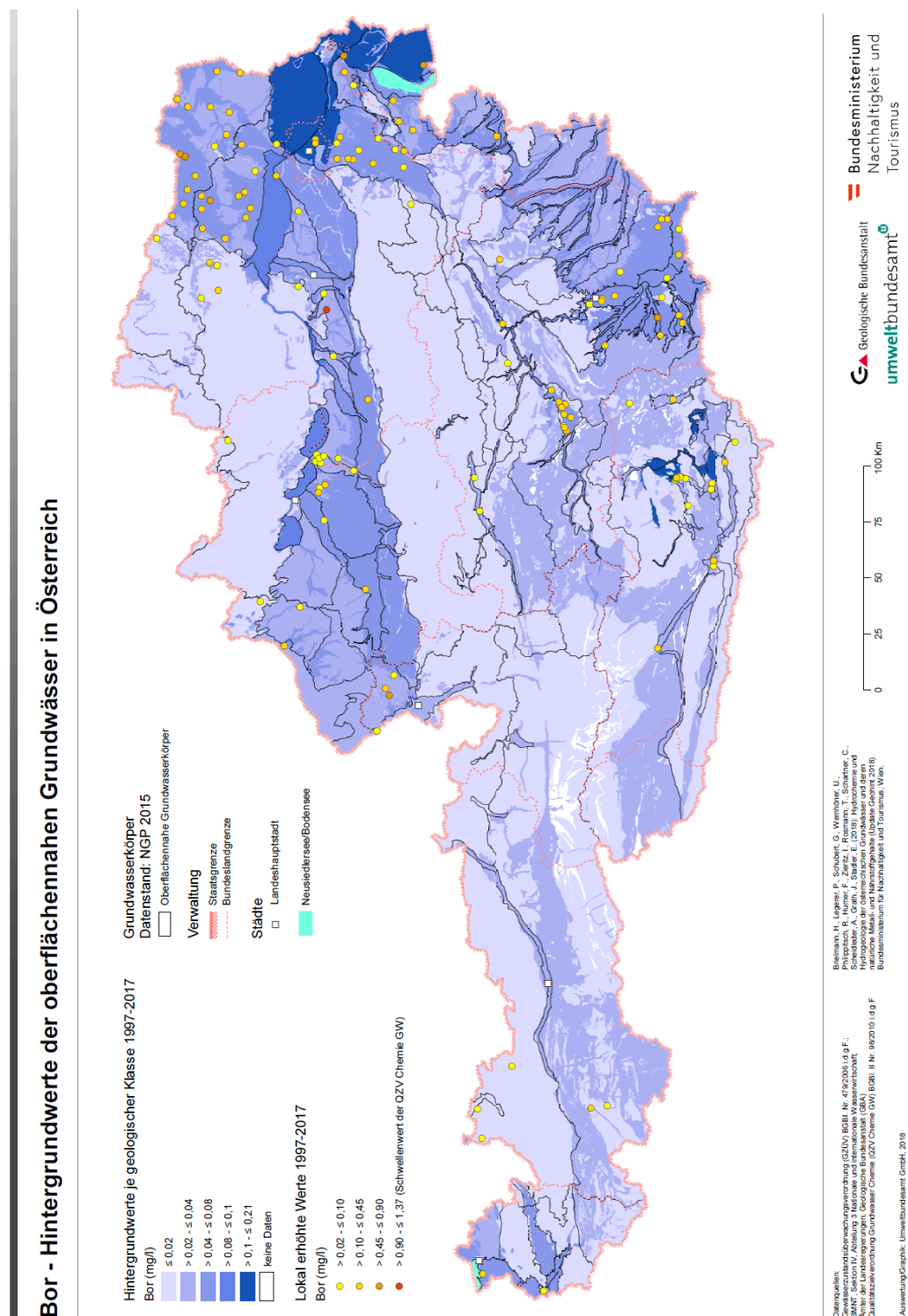


Abbildung 80: Bor – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.20 CADMIUM

ALLGEMEINES

Cadmium ist ein chalkophiles Spurenelement, welches häufig mit Calcium, Zink und Quecksilber assoziiert ist. Die Mobilität von Cadmium steigt mit abnehmendem pH-Wert. Unter reduzierenden Bedingungen ist Cadmium aufgrund von Fällungsreaktionen weniger mobil als unter oxischen Bedingungen.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Die wichtigsten Cadmiumminerale sind Greenockit (CdS) und Otavit/Cadmiumspat (CdCO₃). Es ist zudem vor allem ein Spuren- und Nebenelement in Sulfiden, wie beispielsweise den Zinkerzen Sphalerit (ZnS) und Zinkcarbonat oder Zinkspat Zn(CO₃) (siehe auch GBA 2015).

Die Mobilität von Cadmium ist stark pH-abhängig und nimmt im sauren Milieu zu. Die Versauerung von Unterböden führt entsprechend zu verstärkter Mobilität. Cadmium wird an organische Substanz und Tonminerale sorbiert. Unter reduzierenden Bedingungen ist Cadmium aufgrund von Fällungsreaktionen mit Sulfiden weniger mobil als unter oxischen. Es kann aber bei entsprechender Änderung der Redoxbedingungen mobilisiert werden.

TABELLE 39: CADMIUM - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Cadmium [mg/kg]
Magmatite	0,192
Sandsteine	0,0199
Tongesteine	0,183
Karbonatgesteine	0,0476
Evaporite	
Meerwasser	0,00011

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Anthropogen unbeeinflusste Grundwässer weisen im Allgemeinen Cadmiumkonzentrationen von < 0,1 µg/l bis 5 µg/l auf (HELVOORT et al. 2009).

Für Grundwasser in Österreich lagen im Auswertzeitraum 2006–2010 die Cadmiumkonzentrationen-Mediane von 99 % der Messstellen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,2 µg/l. Der Maximalwert lag bei 2,1 µg/l (BMLFUW 2012).

GEOGEN ERHÖHTE KONZENTRATIONEN

Geogen erhöhte Cadmiumkonzentrationen sind in Österreich im Umfeld der klassischen Blei-Zink-Vererzungen, im Drauzug bzw. Gailtaler Alpen, den Karawanken und in den westlichen Tiroler Kalkalpen zu erwarten (GBA 2015).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Der Hauptteil anthropogener Cadmiumemissionen stammt aus der Verhüttung von Zink und Kupfer, der Industrie, fossilen Brennstoffen, Verkehr und Zigarettenrauch sowie der Müllverbrennung. Cadmiumverbindungen finden zudem Verwendung in Nickel-Cadmium-Batterien, Pigmenten, als

Korrosionsschutz, Stabilisator für Kunststoffe, in Legierungen sowie als Stabilisatoren und Katalysatoren in der Organochemie. Auch durch die Verwendung von cadmiumhaltigen Mineräldüngern oder die Ausbringung von Klärschlamm kann diffuser Cadmиеintrag erfolgen.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Cadmium gilt als nicht-essentielles Element für Pflanzen, Tiere und Menschen. Es ist für alle Organismen toxisch.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 40: CADMIUM – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [µg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	4,5
Trinkwasserverordnung	Parameterwert	5

HINTERGRUNDWERTE

Für den Parameter Cadmium liegen 97% der für die Hintergrundbeurteilung herangezogenen Werte (2.442 von 2.509 Messstellen-Medianen) unterhalb der Bestimmungsgrenze und stellen damit im Hinblick auf die Grenzwerte kein flächendeckendes Problem dar. Eine Ableitung von repräsentativen Hintergrundwerten für die Gesamtfläche Österreichs ist aufgrund der vorliegenden Datenbasis mit den entsprechenden analytischen Bestimmungsgrenzen der GZÜV (geforderte Mindestbestimmungsgrenze derzeit 0,2 µg/l) deshalb derzeit nicht möglich. Einzig die Wässer in der geologischen Klasse C01 (lokale Sedimente auf der Böhmisches Masse) weisen einen Hintergrundwert von 0,23 µg/l Cadmium auf.

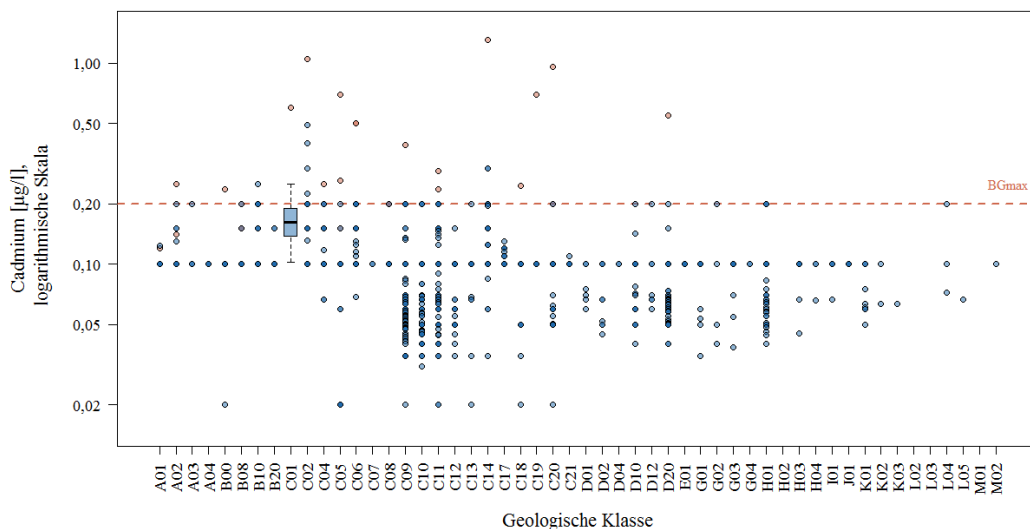


Abbildung 81: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Cadmiumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression ermittelt.

KARTE CADMIUM - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

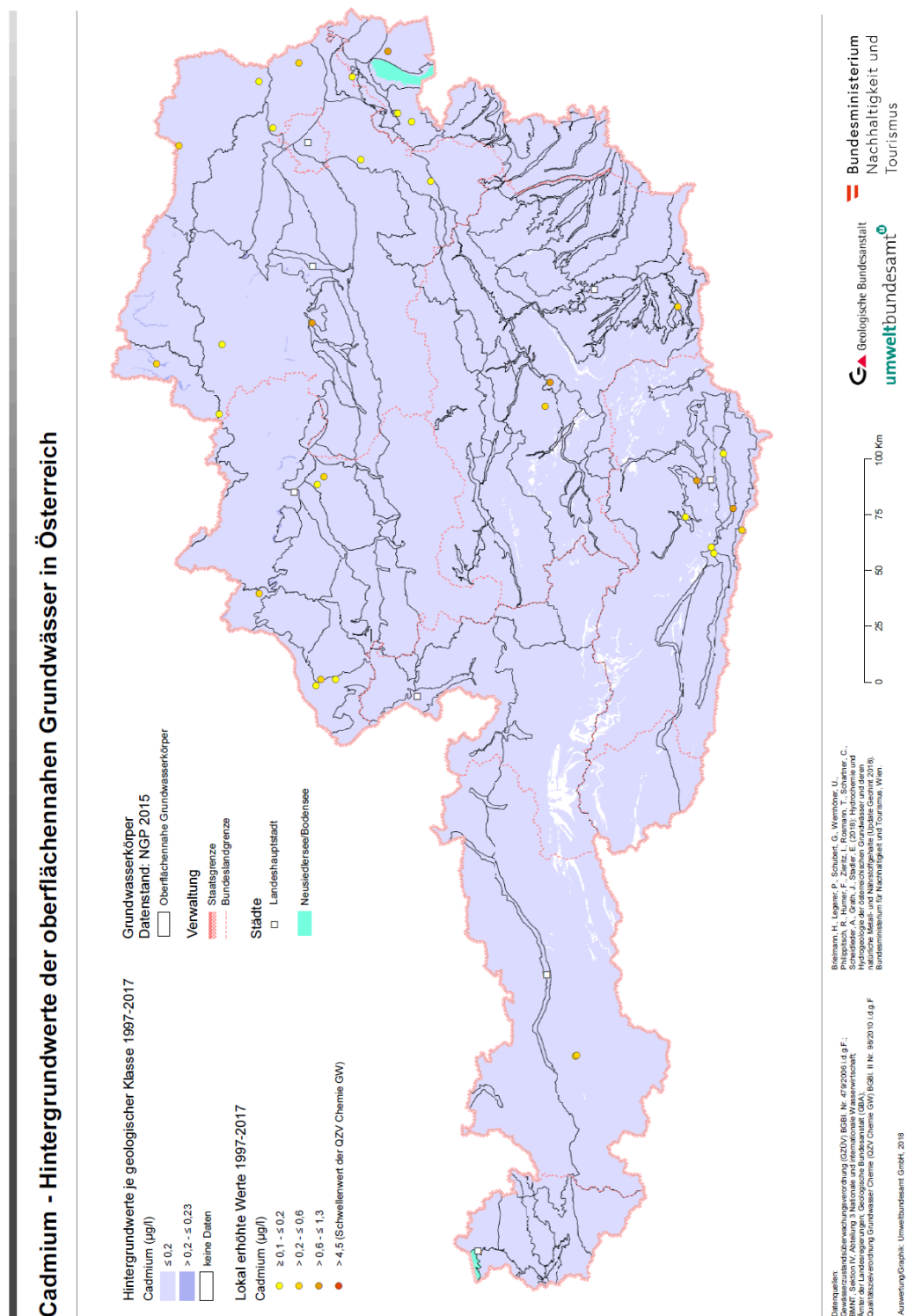


Abbildung 82: Cadmium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.21 NICKEL

ALLGEMEINES

Nickel ist ein Spurenelement der Eisengruppe mit siderophilen, chalkophilen und lithophilen Eigenschaften. Unter sauren Bedingungen (pH-Wert < 6,5) ist Nickel mobil, unter neutralen bis basischen Bedingungen immobil. Ähnlich wie Zink, Cadmium, Kupfer und Blei ist es nicht direkt an Redoxprozessen beteiligt, fällt aber unter stark reduzierenden Bedingungen in Form von Sulfiden aus und kann unter oxidischen Bedingungen aus diesen mobilisiert werden.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Die wichtigsten Nickelminerale sind Sulfide wie Pentlandit (Eisennickelkies, $(\text{Fe,Ni})_8\text{S}_9$), Arsenide wie Nickelin (NiAs) und Sulfoarsenide sowie Garnierit oder Millerit (Gelbnickelkies). Es ist zudem Spuren- und Nebenelement in Fe-Mg-Silikaten wie Olivin, Pyroxene, Amphibol sowie in Pyrit und Glimmer (siehe auch GBA 2015).

TABELLE 41: NICKEL - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Nickel [mg/kg]
Magmatite	93,8
Sandsteine	2,57
Tongesteine	29,4
Karbonatgesteine	12,8
Evaporite	1,4
Meerwasser	0,0066

Die Mobilität von Nickel ist stark pH-abhängig. Unter sauren Bedingungen (pH-Wert 6,5) ist Nickel mobil, unter neutralen bis basischen Bedingungen immobil. Analog zu Zink, Cadmium, Kupfer und Blei ist Nickel nicht direkt an Redoxprozessen beteiligt, fällt aber unter stark reduzierenden Bedingungen in Form von Sulfiden aus und kann unter oxidischen Bedingungen aus diesen mobilisiert werden.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Anthropogen unbeeinflusste Grundwässer weisen im Allgemeinen Nickelkonzentrationen von 0,1 µg/l bis 30 µg/l auf (HELVOORT et al. 2009).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Der Hauptteil anthropogener Niclemissionen stammt aus der Verhüttung von Nickel und Kupfer, aus Stäuben und Schlacken der Stahlproduktion, Abfällen, der Ausbringung von Klärschlamm und Verwendung nickelhaltiger Dünger. Nickelverbindungen finden zudem Verwendung in Nickel-Cadmium-Batterien, Pigmenten, als Katalysatoren und in Münzen. Steigende Nickelbelastungen wurden zudem aufgrund der Oxidation sulfidischer Erze im Untergrund durch Nitrat beobachtet (KÖLLE 2017).

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Nickel ist ein essentielles Spurenelement für Organismen. Nickel kann jedoch bei oraler Einnahme und Hautkontakt Allergien auslösen.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 42: NICKEL – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [µg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	18
Trinkwasserverordnung	Parameterwert	20

HINTERGRUNDWERTE

Die Nickel-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen im Bereich von <1,0 bis 4,1 µg/l. Der Hauptanteil von 74% aller Messstellen weist für Nickel eine Mediankonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1,0 µg/l auf.

Die höchsten Hintergrundkonzentrationen von Nickel im Bereich von 2,1 bis 4,1 µg/l zeigen die Wässer in den Paragneisen und Amphiboliten und präkambrischen Intrusiva der Böhmisches Masse (A02, A03), ebenso die Wässer in den tertiären Sedimenten des Weinviertels/Niederösterreich, Pinkatales und Wulkatales/Burgenland (B20). Außerdem sind die neogenen Sedimente in der steirischen und südburgenländischen Tälern (Sulm, Pinka, Lafnitz, Feistritz) und im Hügelland zwischen Mur und Raab durch höhere Nickelkonzentrationen gekennzeichnet. Nickel wird außerdem in Teilen des Rheintales (C17) und Glantales/Kärnten (C19) nachgewiesen. Lokal erhöhte Werte weist zudem der Grundwasserkörper „Kristallin der Koralpe, Stubalpe und Gleinalpe (Kärnten und Steiermark)“ auf.

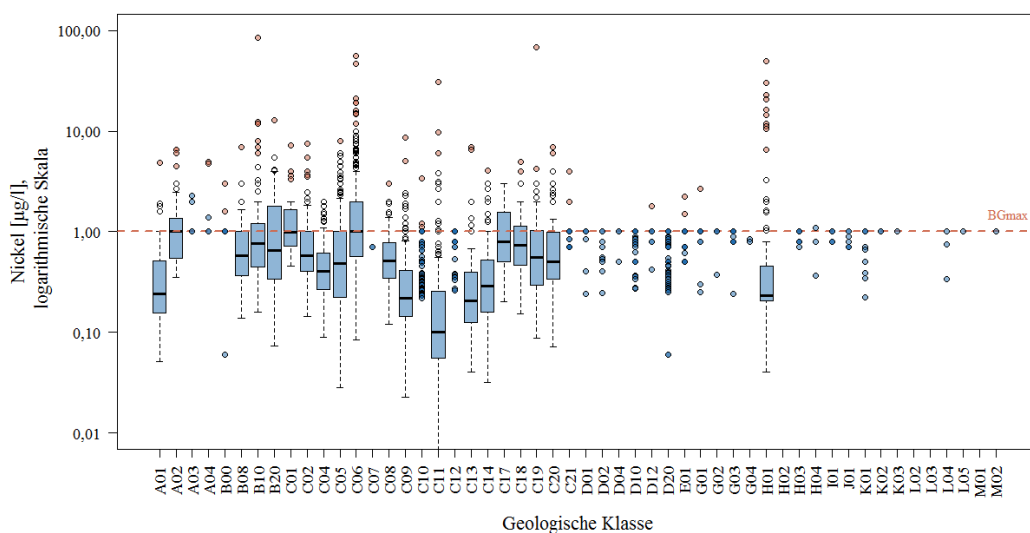


Abbildung 83: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Nickelkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Generell treten geogen erhöhte Nickelkonzentrationen in Österreich im Zusammenhang mit dem Vorkommen von basischen und ultrabasischen Gesteinsserien wie dem Vorkommen von Serpentiniten auf und so auch eng mit Chrom vergesellschaftet. Diese finden sich beispielsweise in Rechnitz/Burgenland, Preg-Kraubath/Steiermark, westlich Trieben/Steiermark oder nördlich Heiligenblut/Kärnten. Kleinräumige Anomalien waren mit dem Vorkommen von Kreidesedimenten der Gosau-Formation in den Nördlichen Kalkalpen verknüpft (GBA 2015).

Im Rahmen der Vorarbeiten für die Geologische Themenkarte „Mineral- und Heilwässer in Österreich“ (zurzeit an der Geologischen Bundesanstalt in redaktioneller Bearbeitung) wurde gezielt im

Verbreitungsgebiet eines Serpentinikörpers bei Bernstein/Oberwart ein Quellwasser analysiert. Dieses wies in der gefilterten Probe (US41, Ultrapurenanalytik BOKU Wien, Abteilung für Analytische Chemie) einen erhöhten Nickel-Gehalt von 42, 4 µg/l auf.

KARTE NICKEL - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

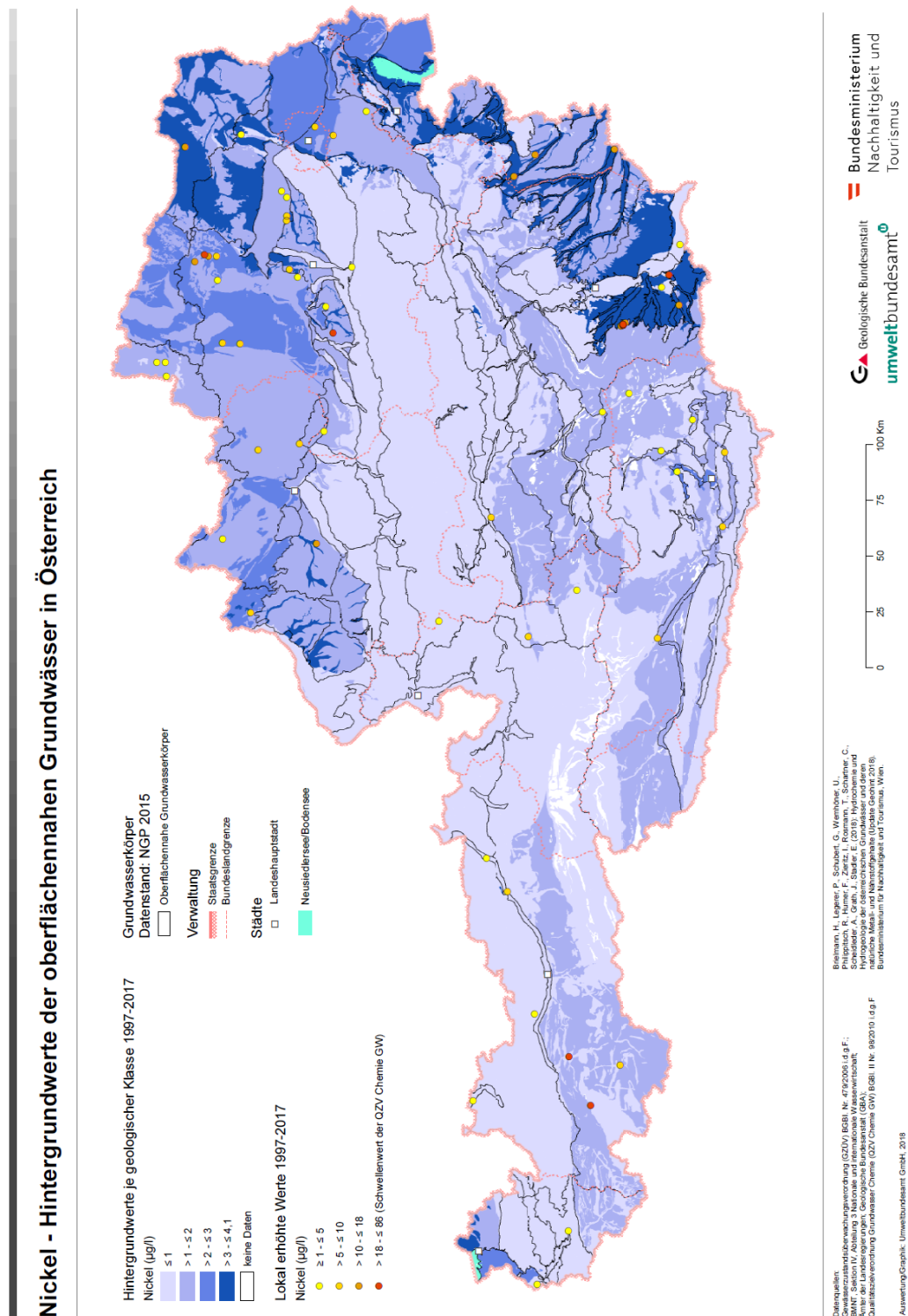


Abbildung 84: Nickel – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.22 KUPFER

ALLGEMEINES

Kupfer ist ein chalkophiles Spurenelement, dass in Vergemeinschaftung mit Vanadium, Eisen, Nickel und Cobalt aber auch Arsen, Silber und Gold auftritt. Unter sauren Bedingungen ist Kupfer mobil, unter neutralen bis basischen immobil. Sulfidisch gebundenes Kupfer wird durch Oxidation mobilisiert.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Die wichtigsten Kupferminerale sind Sulfide wie Chalkopyrit (Kupferkies, CuFeS_2), Bornit (Buntkupfererz, Cu_5FeS_4), Malachit $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ und Fahlerze. Kupfer ist Spuren- und Nebenelement in anderen Sulfiden, aber auch in Fe-Mg-Silikaten (siehe auch GBA 2015).

TABELLE 43: KUPFER - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Kupfer [mg/kg]
Magmatite	97,4
Sandsteine	15,4
Tongesteine	44,7
Karbonatgesteine	4,44
Evaporite	2
Meerwasser	0,0009

Die Mobilität von Kupfer ist stark pH-abhängig. Unter sauren Bedingungen ist Kupfer mobil, unter neutralen bis basischen Bedingungen immobil. Analog zu Zink, Cadmium, Blei und Nickel ist Kupfer nicht direkt an Redoxprozessen beteiligt, fällt aber unter stark reduzierenden Bedingungen in Form von Sulfiden aus und kann unter oxischen Bedingungen aus diesen mobilisiert werden. Kupfer sorbiert an organische Substanz und Tonminerale.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Anthropogen unbeeinflusste Grundwässer weisen im Allgemeinen Kupferkonzentrationen von $< 0,1 \mu\text{g/l}$ bis $100 \mu\text{g/l}$ auf (VAN HELVOORT et al. 2009).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Als reines Metall findet Kupfer Verwendung in der Elektroindustrie, im Apparate- und Maschinenbau, als Dachmaterial oder für Wasserleitungen. Es gibt eine Vielzahl von Kupferlegierungen, da diese prinzipiell sehr korrosionsbeständig sind, beispielsweise mit Zink (Messing), Zinn (Bronze), Mangan (Manganin) oder Nickel (Nickelin). Manganin und Nickelin werden für elektrische Widerstände eingesetzt.

Kupferverbindungen werden in Kunstdüngern und aufgrund ihrer bioziden Wirkung in Pflanzenschutzmitteln (z. B. im Wein- und Hopfenanbau) verwendet. Der Eintrag in die Umwelt erfolgt deshalb vor allem in Zusammenhang mit der Metallgewinnung und -verhüttung und in der Landwirtschaft durch den Einsatz von Pflanzenschutzmittel und Ausbringung von Schweinegülle (Futterzusatz).

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Für den Menschen ist Kupfer ein essentielles Spurenelement und unentbehrlich für die Zellatmung. Der Tagesbedarf von 2–3 mg wird durch die Nahrungsaufnahme gedeckt. Im Trinkwasser ist ein geringer

Kupfergehalt unbedenklich, jedoch verleihen bereits 2 mg/l dem Wasser einen metallischen Geschmack (HÜTTER 1992).

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 44: KUPFER – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [µg/l]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	1800
Trinkwasserverordnung	Parameterwert	2000

HINTERGRUNDWERTE

Die Kupfer-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen in einem Bereich von <1,0 bis 5,9 µg/l. Der Hauptanteil von 52% aller Messstellen weist für Kupfer eine Mediankonzentration unterhalb der maximalen Bestimmungsgrenze von 1,0 µg/l auf.

Die höchsten Hintergrundkonzentrationen für Kupfer im Bereich von 3,3 bis 5,9 µg/l zeigen die Wässer in den präkambrischen Intrusiva und den lokalen quartären Sedimenten auf der Böhmisches Masse (A03, C01), in den Gesteinen der Flyschzone (E01), im Neogen des Weinviertels/Niederösterreich, Saggau-, Sulm-, Lassnitz- und Stainzbachtal/Steiermark-Burgenland (C06), ebenso in den quartären Sedimenten des Eferdinger Beckens, Linzer Beckens und des Machlandes (C02), der Welser Heide in Oberösterreich, dem Ybbstal in Niederösterreich und der Traun-Enns-Platte/Oberösterreich (C04). Lokal erhöhte Konzentrationen treten vielfach im Kristallin der Koralpe Kärnten-Steiermark (H01) auf.

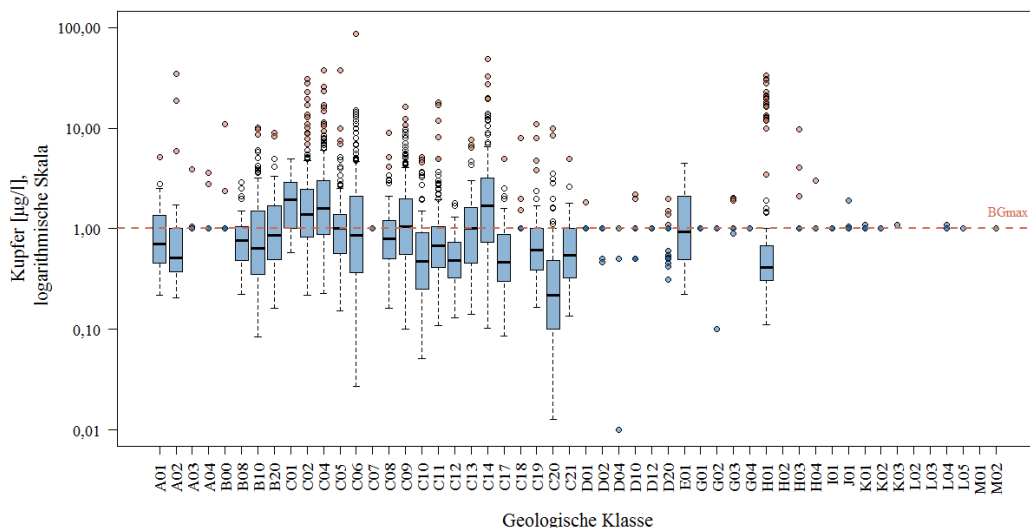


Abbildung 85: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Kupferkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Generell treten geogen erhöhte Kupferkonzentrationen in Österreich im Zusammenhang mit dem Vorkommen von basischen und ultrabasischen Gesteinsserien sowie dem Vorkommen von Chalkopyrit- oder Polysulfidvererzungen (z.B. Walchen, Großarl, Kleinfragant, Blindis, Jochberg/Kupferplatte, Röhrerbühel u.a.) auf (GBA 2015).

Im Rahmen der Vorarbeiten für die geologische Themenkarte Mineral- und Heilwässer in Österreich wurden im Verbreitungsgebiets des devonischen Schwazer Dolomits in Tirol (Grauwackenzone) zwei Quellen

angetroffen, die deutlich erhöhte Kupfergehalte aufwiesen (US03 und US07, Ultraspurenanalytik BOKU Wien, Abteilung für Analytische Chemie, 2017); in den gefilterten Proben wurden $40,3 \mu\text{g/l}$ und $12,3 \mu\text{g/l}$ gemessen. Im Schwazer Dolomit fand früher ein reger Silberbergbau auf Fahlerze statt. Nebenbei sei erwähnt, dass die gemessenen Antimonwerte ebenfalls relativ hoch waren ($77,5 \mu\text{g/l}$ und $43,4 \mu\text{g/l}$ in der gefilterten Probe; dieser Parameter wird durch die GZÜV nicht erfasst).



Abbildung 86: Sonnenaufgang am Lauterachbach, Kärnten

KARTE KUPFER - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

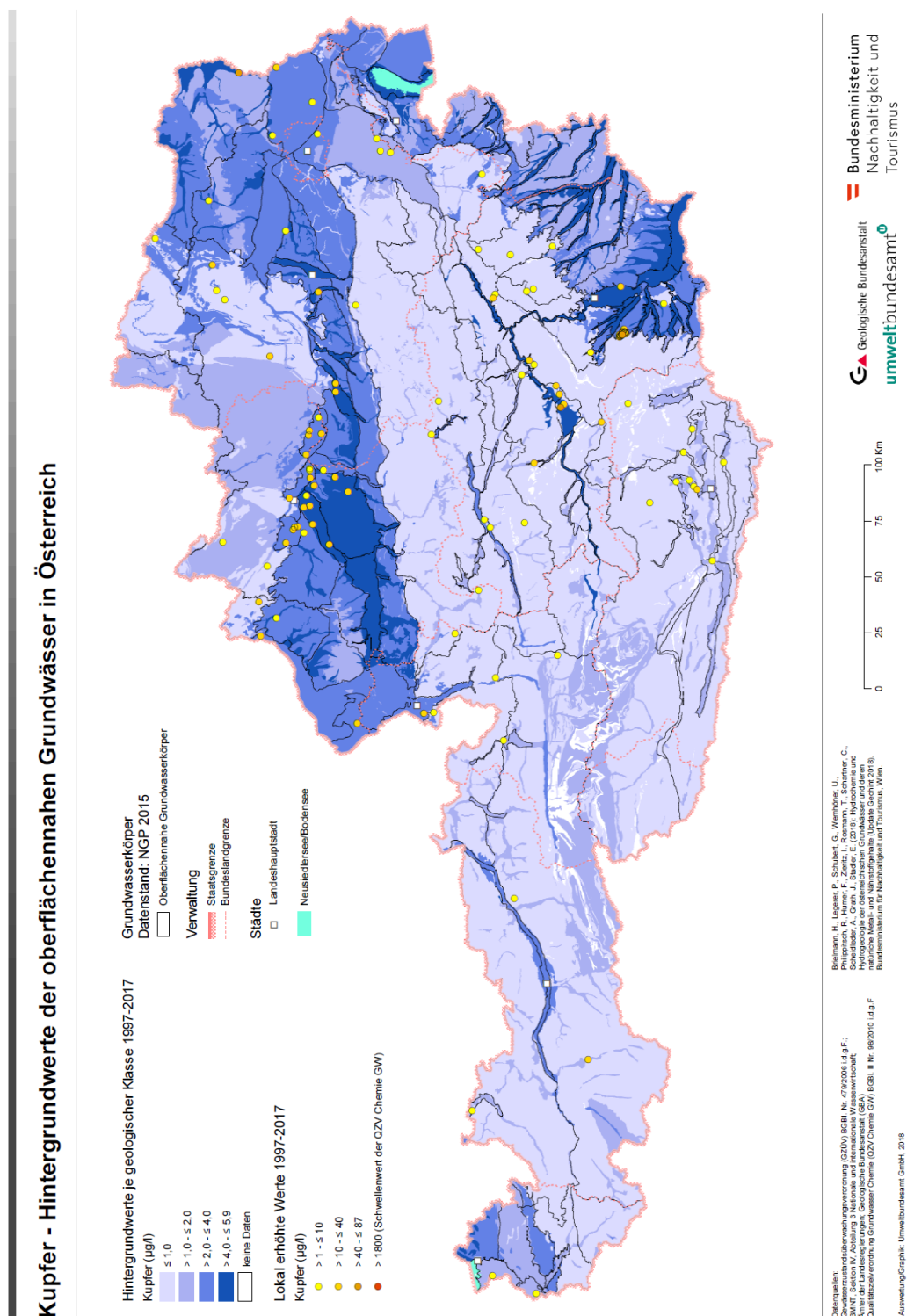


Abbildung 87: Kupfer – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.23 QUECKSILBER

ALLGEMEINES

Quecksilber ist ein Spuren- bis Nebenelement mit chalkophilen Eigenschaften und wird zu den Edelmetallen gezählt. Unter sauren Bedingungen ist Quecksilber mobil, unter neutralen bis basischen immobil. Sulfidisch gebundenes Quecksilber wird durch Oxidation mobilisiert. Reines Quecksilber ist flüchtig.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Das wichtigste Quecksilbermineral ist Cinnaberit oder Zinnober (HgS) und teilweise kommt Quecksilber auch gediegen bzw. elementar tropfenförmig im Gestein vor. Als Neben- und Spurenelement tritt Quecksilber u. a. in Fahlerzen sowie sehr selten in verschiedenen Au, Ag, Cu- Mineralisationen (Amalgamlegierungen wie z. B. Eugenit, Weishanit) auf (siehe auch GBA 2015).

TABELLE 45: QUECKSILBER - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Quecksilber [mg/kg]
Magmatite	0,328
Sandsteine	0,0574
Tongesteine	0,272
Karbonatgesteine	0,0456
Evaporite	
Meerwasser	0,00015

Die Mobilität von Quecksilber ist stark pH-abhängig. Unter sauren Bedingungen ist Quecksilber mobil, unter neutralen bis basischen Bedingungen immobil. Quecksilber ist nicht direkt an Redoxprozessen beteiligt, fällt aber unter stark reduzierenden Bedingungen in Form von Sulfiden aus und kann unter oxidischen Bedingungen aus diesen mobilisiert werden. Die Adsorption von Quecksilber an organische Substanz und Tonminerale variiert für unterschiedliche Quecksilberverbindungen. Reines Quecksilber ist flüchtig.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Anthropogen unbeeinflusste Grundwässer weisen im Allgemeinen Quecksilberkonzentrationen 0,03 µg/l bis 0,56 µg/l auf mit dem Median der Konzentrationen im Bereich von < 0,05 µg/l (KUNKEL et al. 2004, SHAND & EDMUNDS 2008).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Der Einsatz von Quecksilber ist aufgrund des damit verbundenen Gefährdungspotenzials für Umwelt und Mensch in vielen Bereichen stark rückläufig („Minamata Convention“, UNEP 2013), beispielsweise ist der Einsatz als Pflanzenschutzmittel und Holzschutzmittel mittlerweile verboten. Quecksilber wird noch in wissenschaftlichen Instrumenten wie Manometern und Thermometern eingesetzt. Weitere Verwendungsgebiete sind Quecksilberdampflampen (z. B. Energiesparlampen, Leuchtstofflampen) und Amalgame für die Zahnmedizin. Eine umfassende Darstellung bezüglich noch zugelassener und bereits verbotener Verwendungen von Quecksilber sowie die entsprechenden gesetzlichen Grundlagen bieten beispielsweise HILLENBRAND et al. (2006) und die Quecksilberverordnung (EG) Nr. 1102/2008 (BMLFUW 2012).

Der Eintrag in die Umwelt erfolgt in erster Linie durch stationäre Verbrennungsprozesse beispielsweise in Kohlekraftwerken, im Zusammenhang mit der Zementproduktion und der Produktion von Eisen, Stahl und Nichteisenmetallen. Eine Freisetzung von Quecksilberverbindungen in die Umwelt erfolgt zudem im Zusammenhang mit der Natronlaugenproduktion, bei Ausbringung von Klärschlamm, durch Abwässer und Krematorien (GBA 2015, KÖLLE 2017).

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Quecksilber besitzt eine hohe akute und chronische Toxizität. Das mikrobiell gebildete organische Methylquecksilber ist die mit Abstand toxischste Quecksilberverbindung.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

TABELLE 46: QUECKSILBER – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [$\mu\text{g/l}$]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	0,9
Trinkwasserverordnung	Parameterwert	1,0

HINTERGRUNDWERTE

Für den Parameter **Quecksilber** liegen 100% der für die Hintergrundbeurteilung herangezogenen Werte (2.507 von 2.507 Messstellen-Medianen) unterhalb der Bestimmungsgrenze von $0,1\mu\text{g/l}$. Eine statistische Ableitung von Hintergrundwerten ist deshalb nicht möglich. Die zu erwartenden Hintergrundkonzentrationen liegen unterhalb der – den Anforderungen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung entsprechenden – Mindestbestimmungsgrenze.

Generell sind geogen erhöhte Quecksilberkonzentrationen in Österreich im Zusammenhang mit dem Vorkommen von polysulfidischen Vererzungen (z.B. Kitzbüheler Alpen/Tirol, Basis Tennengebirge sowie Östliche Grauwackenzone im Bereich Radmer und Mürzzuschlag) zu erwarten. Sideritvererzungen im Bereich des Steirischen Erzberg sind ebenfalls mit geogen erhöhten Quecksilberkonzentrationen in den Bach- und Flusssedimenten verbunden (GBA 2015).



Abbildung 88: Wasserspiegelung im Bodensee/Nassfeld, Kärnten

11.24 URAN

ALLGEMEINES

Uran ist ein lithophiles Spurenelement, dessen Mobilität stark an die vorherrschenden Redox- und pH-Bedingungen geknüpft ist.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Die wichtigsten Uranminerale sind Uranpecherz UO_2 (Pechblende, Nasturan, Uraninit, siehe Ramdohr, 1975) und Carnotit $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Uran ist zudem Spuren- und Nebenelement in Schwermineralen wie Zirkon, Apatit, Allanit und Monazit (siehe auch GBA 2015).

Uran kann in verschiedenen Wertigkeitsstufen vorliegen. In der Natur dominieren vier- und sechswertige Verbindungen. Die Spezifizierung des Urans, die maßgeblich durch pH-Wert und Redoxpotenzial beeinflusst wird, bedingt ganz wesentlich dessen Mobilitätsverhalten in Boden und Wasser. Weitere, die Speziesverteilung beeinflussende Faktoren sind die Adsorption an Eisenoxidhydroxid (HfO)-Phasen (amorphes Eisen), Austauschprozesse, Komplexbildung sowie Lösungs- und Fällungsprozesse (BMLFUW 2015).

Im oxidierenden aquatischen Milieu kann Uran leicht mobilisiert werden (z.B. aus Gesteinen) und liegt als sechswertiges Uranyl-Ion (UO_2^{2+}) vor, das eine gute Wasserlöslichkeit aufweist – beispielsweise aufgrund der Bildung stabiler Komplexe. Im reduzierenden sowie im sehr sauren Milieu liegt vorwiegend vierwertiges, kaum lösliches, immobiles Uran vor.

TABELLE 47: URAN - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Uran [mg/kg]
Magmatite	2,75
Sandsteine	1,01
Tongesteine	4,49
Karbonatgesteine	2,2
Evaporite	0,2
Meerwasser	0,0033

Die Verteilung des Urans im System Boden-Wasser wird neben der Adsorption an amorphes Eisenoxidhydroxid auch durch die Sorption an organische Bodensubstanz beeinflusst. Kolloidale Huminstoffe können Uran durch Komplexbildung binden. Dieses kolloidal gebundene Uran wird im Boden im Allgemeinen wenig verlagert und ist damit kaum im Grundwasser nachweisbar, kann jedoch in Gebieten mit (an)moorigen Verhältnissen zu einer Anreicherung von Uran führen (BMLFUW 2015).

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Anthropogen unbeeinflusste Grundwässer weisen im Allgemeinen Urangelhalte zwischen 0,05 und 10,0 µg/l auf (MATTHESS 1973). Im Rahmen des GZÜV-Sondermessprogrammes 2013 wurden 1.940 Grundwassermessstellen auf Uran untersucht. An 2,1% der Messstellen war Uran nicht nachweisbar bzw. lagen die Urankonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,02 µg/l. Der Median der Urankonzentrationen lag bei 0,9 µg/l. 1,7% der Messstellen wiesen Urankonzentrationen oberhalb des Parameterwertes der Trinkwasserverordnung von 15 µg/l auf (BMLFUW 2015).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Uran findet Verwendung in der Nuklearindustrie, in Nuklearwaffen und Munition sowie in der Glasherstellung. In die Umwelt gelangt es durch Uranerzverhüttung und -verarbeitung, uranhaltige Munition, Kohlefeuerung oder den Einsatz von phosphathaltigen Düngern.

Uran wird unter bestimmten Bedingungen möglicherweise auch in Folge der landwirtschaftlichen Nitratreinträge ins Grundwasser durch daraus resultierenden Veränderungen der Redoxverhältnisse im Grundwasserleiter mobilisiert (VAN BERK & FU 2016).

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Uran kann aufgrund seiner chemischen Toxizität Nierenschäden verursachen. Besonders gefährdet sind Säuglinge und Kleinkinder. Mit Wirkungen aufgrund der radioaktiven Strahlung ist erst bei deutlich höheren Konzentrationen zu rechnen (KÖLLE 2017). Alle natürlichen Uranisotope sind α -Strahler (ionisierte Heliumatome).

TABELLE 48: URAN – PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER IN ÖSTERREICH

Verordnung	Art	Prüfwert [$\mu\text{g/l}$]
Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser	Schwellenwert	
Trinkwasserverordnung	Parameterwert	15

HINTERGRUNDWERTE

Die Uran-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen in einem Bereich von 0,2 bis 7,3 $\mu\text{g/l}$. Ein Anteil von 35% aller Messstellen weist für Uran eine Mediankonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

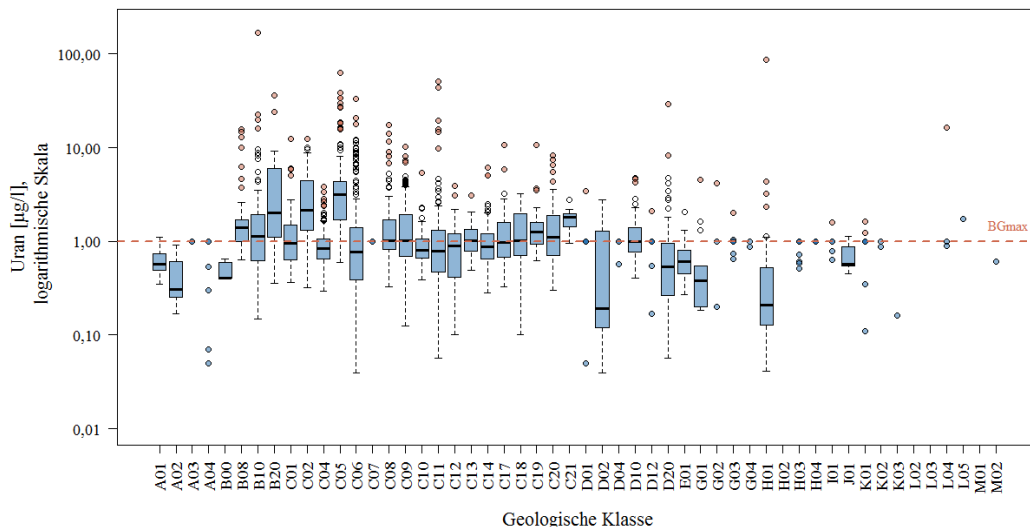


Abbildung 89: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Urankonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie wiedergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Die höchsten Hintergrundkonzentrationen für Uran im Bereich von 3,4 bis 7,3 $\mu\text{g/l}$ zeigen die Wässer in den tertiären Sedimenten der Böhmisches Masse (B10), des Weinviertels (B10, B20), Ikvatals/Burgenland (B10)

und in den quartären Talfüllungen im Weinviertel/Niederösterreich, ebenso in den Wässern der quartären Sedimente des Seewinkels im Burgenland, wo lokal einige Zehner $\mu\text{g/l}$ Uran im Grundwasser auftreten. Auch in den Wässern der quartären Sedimente des Tullnerfeldes/Niederösterreich, Machlandes/Oberösterreich und Inntals in Tirol zeigen die Grundwässer Hintergrundwerte in diesem Bereich.

Lokal treten erhöhte Urankonzentrationen im Südlichen Wiener Becken (C08), im Ybbstal, der Traun-Enns-Platte und dem Pielachtal (C04), in den kristallinbetonten quartären Sedimenten der Zentralalpen (C11) und in den Alluvionen, Schwemmkegeln und Terrassen entlang der Drau (C20) auf.

Geogen erhöhte Urankonzentrationen in Bach- und Flusssedimenten wurden im Bereich von Orthogneisen des oberostalpinen Basements, insbesondere im Silvretta-Seckau-bzw. Ötztal-Bundschuh-Deckensystem, sowie im Bereich der Zentralgneiskerne gefunden. Auch die bituminösen Zwischenlagen im Hauptdolomit bzw. seiner Äquivalente in den Gailtaler Alpen bilden einen räumlich geologischen Schwerpunkt für höhere Urangehalte (GBA 2015).

Im Rahmen des zurzeit in Bearbeitung befindlichen DaFNE-Forschungsprojekts 101204 „Uran im Grundwasser“ wird gegenwärtig der Urangehalt in Quellwässern in den Ötztaler Alpen im Tauernfenster und in den Niederen Tauern sowie in Brunnen im Osten des Bundesgebietes im Burgenland und Niederösterreich untersucht. Es liegen zu Wässern aus Orthogneisen in den Ötztaler Alpen (geologische Klasse H03) und in den Hohen Tauern (L04) bereits zahlreiche Urangehalte über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung vor. In den Orthogneisen im Einzugsgebiet wurden in Dünnschliffen Mikrokristalle aus Uranpecherz nachgewiesen. In diesen geologischen Zonen wurden auch im Rahmen anderer Untersuchungen (z. B. im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung im Raum Mallnitz/Spittal an der Drau in Kärnten und bei den Vorarbeiten zur geologischen Themenkarte „Mineral- und Heilwässer in Österreich“, Geologische Bundesanstalt) erhöhte Uranwerte im Grundwasser festgestellt. Um daraus für die Klassen H03 und L04 noch dem im vorliegenden Projekt angewandten Regeln einen geogenen Hintergrundwert abzuleiten, sind jedoch die Messreihen zu kurz.



Abbildung 90: Ziehbrunnen im Seewinkel, Burgenland

KARTE URAN - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

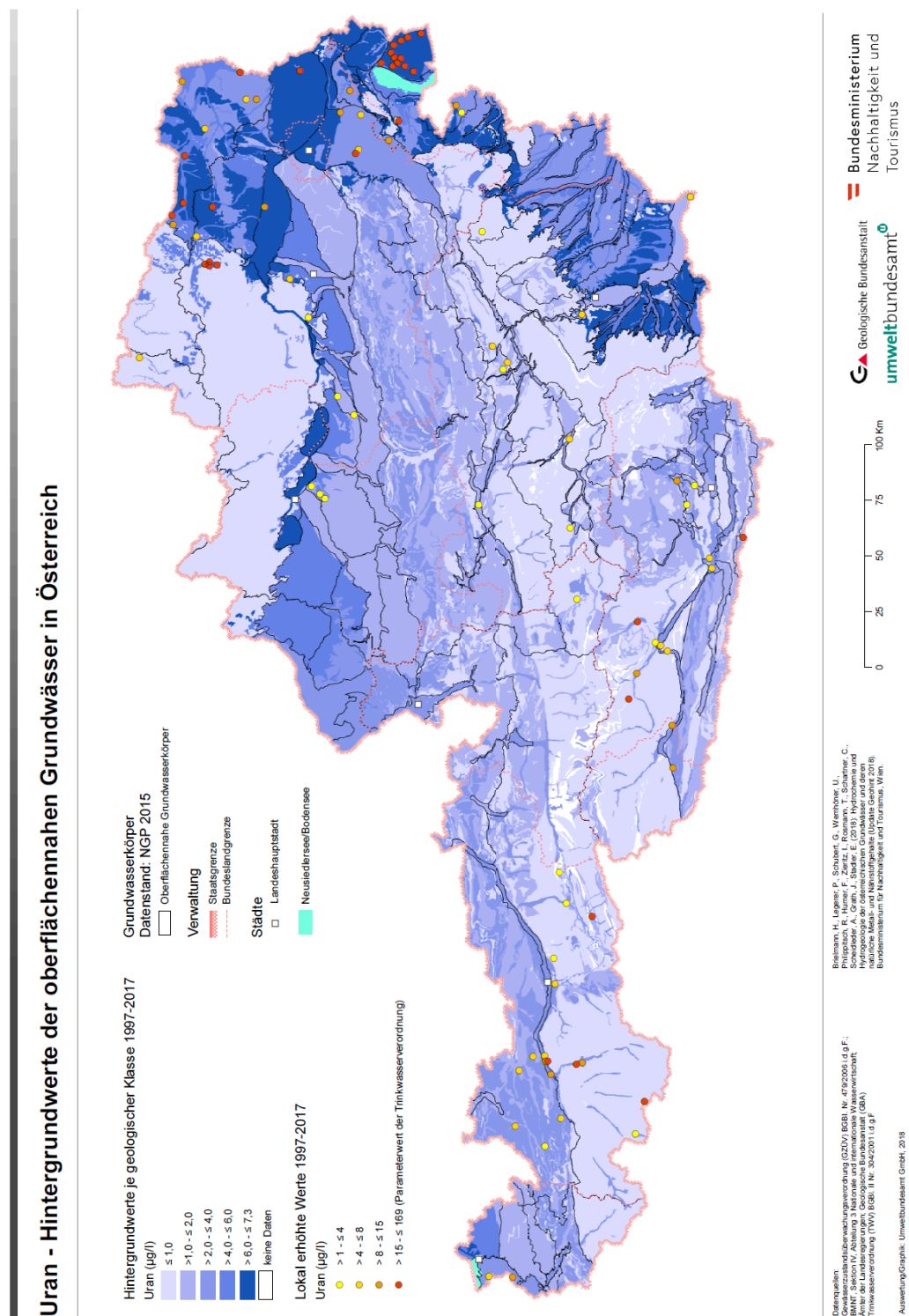


Abbildung 91: Uran – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.25 ZINK

ALLGEMEINES

Zink ist ein chalkophiles Spurenelement und tritt nahezu ausschließlich in Verbindungen mit anderen Elementen auf. Zinkerze sind oft mit Blei, Cadmium, Kupfer und Eisen vergesellschaftet. Die Mobilität von Zink im Grundwasser ist pH- und redoxabhängig.

NATÜRLICHES VORKOMMEN

Die wichtigsten Zinkminerale sind Sphalerit oder Zinkblende (ZnS), Smithsonit oder Zinkspat (ZnCO_3) und Zinkit oder Rotzinkerz (ZnO) mit geringen Beimengungen von Eisen und Mangan (siehe auch GBA 2015). Leicht löslich in Wasser sind Zinkchlorid und -sulfat. Praktisch unlöslich in Wasser sind Zinkoxid, -carbonat, -phosphat und -silicat sowie Zinksulfide und organische Komplexverbindungen.

Zink adsorbiert stark an Tonminerale, Eisenoxide und organische Substanz. In Oberflächengewässern können aufgrund der starken Adsorption von Zink an Schwebstoffe hohe Gehalte gefunden werden. Zink fällt mit Eisen- und Manganoxiden aus.

TABELLE 49: ZINK - MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG VON GESTEINEN UND VON MEERWASSER (AUS MATTHESS 1973)

	Gehalt an Zink [mg/kg]
Magmatite	80
Sandsteine	16,3
Tongesteine	130
Karbonatgesteine	15,6
Evaporite	0,6
Meerwasser	0,005

Insbesondere bei pH-Werten < 7 im Grundwasser weisen viele Zinkverbindungen eine gute Löslichkeit auf. Unter reduzierenden Bedingungen und bei neutralen bis basischen pH-Werten ist die Mobilität von Zink gering.

NATÜRLICHER SCHWANKUNGSBEREICH DER KONZENTRATIONEN

Anthropogen unbeeinflusste Grundwässer weisen im Allgemeinen Zinkgehalte von erheblich unter $10 \mu\text{g/l}$ auf (MATTHESS 1973).

ANTHROPOGENE HAUPTQUELLEN

Zink wird größtenteils als Korrosionsschutzmittel für Eisen und Stahl und zur Herstellung von Legierungen (Messing, Neusilber) verwendet. Zink wird in einer Vielzahl von Batterien eingesetzt. Weitere Einsatzgebiete sind die Herstellung von Chemikalien, Farben, Emaille und Plastik. Zink findet Verwendung in der Arzneimittel-, Düngemittel- und Futtermittelindustrie. Der Eintrag in die Umwelt erfolgt vorwiegend durch Zinkverhüttung und die metallverarbeitende Industrie, durch verzinkte Metalle, Industrieabwässer (Zellstoffproduktion), Kohleverfeuerung, Müllverbrennung und Klärschlammausbringung sowie im Umfeld von Bergbau- und Aufbereitungshalden sowie Deponien.

WIRKUNGEN UND GEBRAUCHSEIGENSCHAFTEN

Zink stellt nach Eisen für den Menschen und die Tierwelt als Bestandteil zahlreicher Enzyme das zweitwichtigste Spurenelement dar. Der tägliche Bedarf liegt bei 20 mg (KÖLLE 2017).

In Hausinstallationen verwendete verzinkte Stahlrohre können in Abhängigkeit von der Stagnation des Wassers in der Leitung, vom Alter der Rohre und vom pH-Wert Zink ins Trinkwasser abgeben. Die Zinkabgabe steigt dabei mit sinkendem pH-Wert und zunehmender Verweilzeit in den Leitungen (KÖLLE 2017). In größeren Konzentrationen verursachen Zinksalze eine milchige Trübung im Wasser.

PRÜFWERTE FÜR GRUND- UND TRINKWASSER

Weder in der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser noch in der Trinkwasserverordnung sind Prüfwerte für Zink festgeschrieben. Zink gehört zu den bewilligungspflichtigen Stoffen (Anlage 3, QZV Chemie GW, WRG BGBl. Nr. 215/1959 i.d.g.F.). Im Österreichisches Lebensmittelbuch- B1 Trinkwasser (ÖLMB, BMGFJ-75210/0009-IV/B/7/2007 i.d.g.F.) wird Zink als Indikatorparameter geführt. Demnach sollen bei Wasser im Verteilungsnetz Zinkkonzentrationen von $0,1 \pm 0,01$ mg/l nicht überschritten werden bei Wasser aus Hausinstallationen ein Wert von $5 \pm 0,5$ mg/l.

HINTERGRUNDWERTE

Die Zink-Hintergrundkonzentrationen aller untersuchten Wässer liegen in einem Bereich von $<4,6$ bis $161 \mu\text{g/l}$. Ein Anteil von 16% aller Messstellen weist für Zink eine Mediankonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze auf.

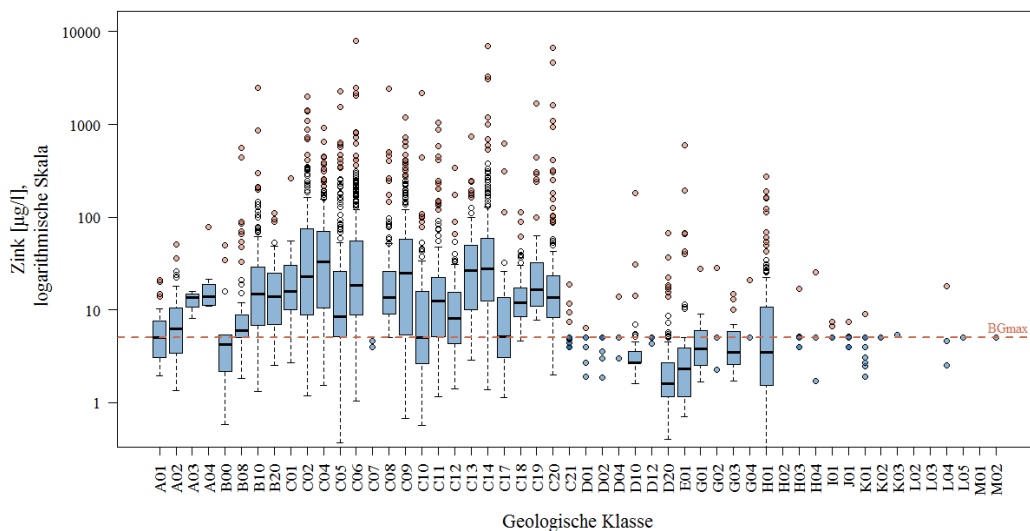


Abbildung 92: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Zinkkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.

Zink kommt in Grundwasser nahezu ubiquitär vor. Die höchsten Hintergrundkonzentrationen für Zink im Bereich von 76 bis $161 \mu\text{g/l}$ zeigen die Wässer in den quartären Alluvionen, Schwemmkegel und Terrassen im Bereich Aichfeld-Murboden und im Mittleren Murtal (C14) in der Steiermark, in den neogenen Talfüllungen der südsteirischen und -burgenländischen Täler (Saggau, Sulm, Lafnitz, Lassnitz, Stainzbach, Raab) und im Hügelland zwischen Mur und Raab (C06). Auch die karbonatbetonten Sedimente der Traun-Enns-Platte und Welser Heide (C04) in Oberösterreich, die quartären Terrassen im Eferdinger Becken, Machland/Oberösterreich und Tullnerfeld (C02) in Niederösterreich sowie im gesamten Ennstal (C13)

Salzburg/Steiermark/Oberösterreich weisen höhere Zinkkonzentrationen auf. Weitere Hintergrundwerte im höheren Konzentrationsbereich sind für das Salzach-Inn-Mattig-Gebiet (C09) Salzburg/Oberösterreich, das Marchfeld und Südliche Wiener Becken (C05) Niederösterreich/Wien sowie die tertiären Sedimente des Schlierhügellandes (B10) in Oberösterreich zu nennen.

Die bekannteste Blei-Zinkerzlagerstätte in Österreich ist in Bad Bleiberg-Kreuth in Kärnten (CERNY 1989).



Abbildung 93: Kluftquelle am Erzberg, Steiermark

KARTE ZINK - HINTERGRUNDWERTE DER OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

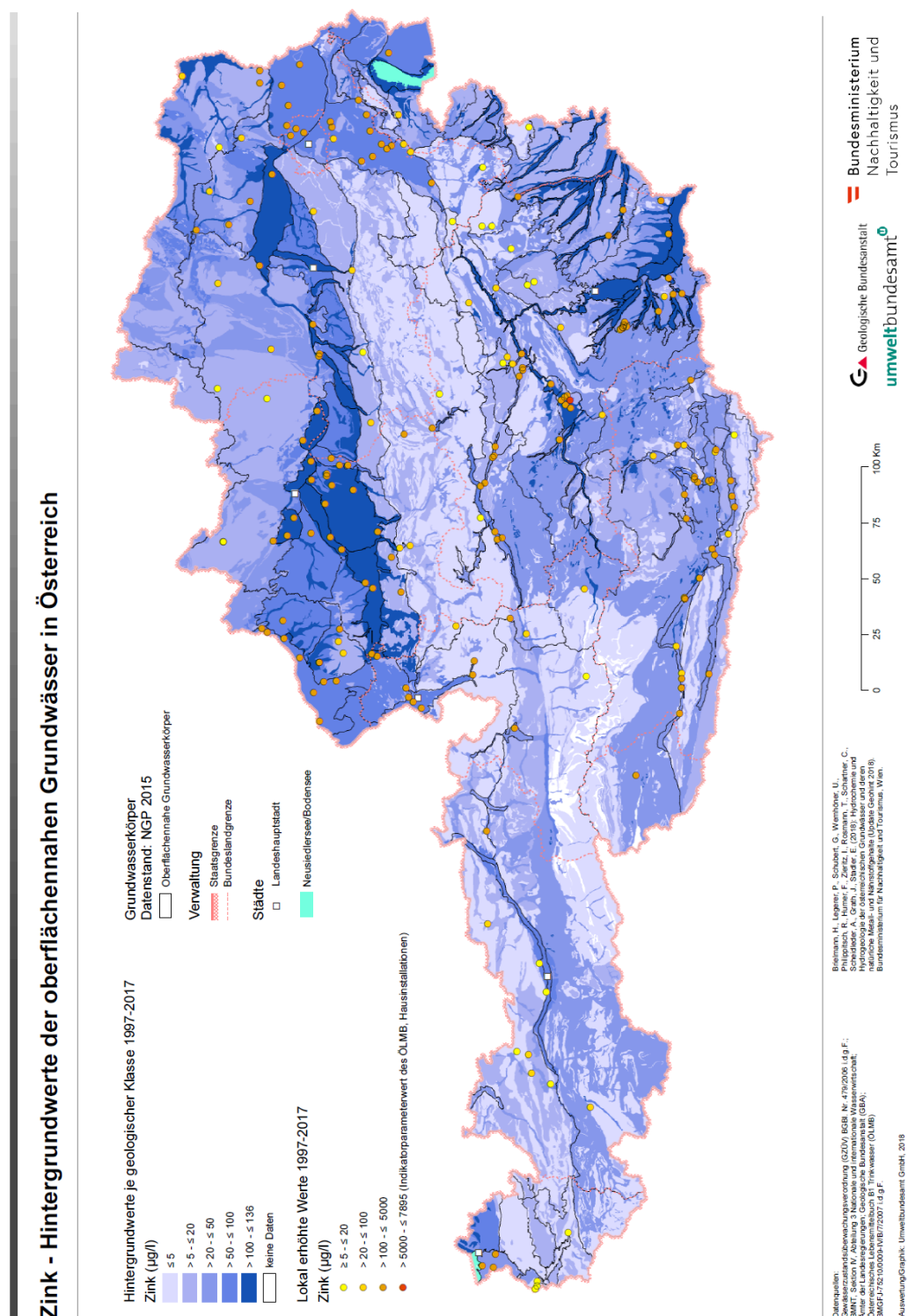


Abbildung 94: Zink – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich

11.26 DATENBLÄTTER

In dem ergänzenden Berichtsteil „Aktualisierte Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich – Anhangband: Datenblätter 2018“ werden die für die einzelnen geologischen Klassen ermittelten Konzentrationsspannen und Hintergrundwerte in entsprechenden Datenblättern dargestellt.

Für jede Geologische Klasse liegt ein Datenblatt vor, das in sechs Abschnitten deren wesentlichen allgemeinen, geologischen und hydrochemischen Charakteristika zusammenfassend darstellt.

Der erste Abschnitt beinhaltet eine schematische Kartendarstellung zur Lage der Geologischen Klasse in Österreich, ergänzt durch Angaben zu Fläche, geologischen Einheiten und betroffenen Bundesländern. Er bietet so einen **allgemeinen Überblick**. Eine Tabelle listet die anteilmäßig größten Grundwasserkörper innerhalb der Geologischen Klasse auf und enthält Angaben zur Messstellenanzahl, Fläche und dem prozentualen Anteil der Geologischen Klasse am jeweiligen Grundwasser. Umfasst eine Geologische Klasse mehr als die in der Tabelle angeführten Grundwasserkörper, so ist dies ergänzend angemerkt.

Den zweiten Abschnitt bildet die Beschreibung der für die Klasse relevanten **geologischen Einheiten**, verbunden mit grundsätzlichen Angaben hinsichtlich der zu erwartenden quantitativen Grundwassersituation.

Im dritten Abschnitt erfolgt eine generelle **hydrochemische Beschreibung** der Geologischen Klasse. Neben den auftretenden hydrochemischen Wassertypen werden die für den Hintergrund repräsentativen Spannweiten der beiden Milieuparameter pH-Wert und Sauerstoffgehalt sowie der elektrischen Leitfähigkeit durch das 10%- und 90%-Perzentil wiedergegeben. Spurenstoffe werden explizit angeführt, sobald deren Hintergrundwerte Konzentrationen von 1 µg/l bzw. 10 µg/l übersteigen.

Auf die **hydrochemischen Besonderheiten** der Geologischen Klasse wird im vierten Abschnitt eingegangen. Zum einen werden bekannte geologische Spezifika der gegenständlichen Klasse hinsichtlich deren Auswirkungen auf die qualitative Grundwasserbeschaffenheit beschrieben. Zum anderen wird auch auf jene hydrochemischen Auffälligkeiten eingegangen, deren Auftreten sich gegenwärtig nicht eindeutig in anthropogenen bzw. geogenen Ursprung differenzieren lässt.

Der im fünften Abschnitt angegebene parameterspezifische **Hintergrundwert** für das Grundwasser bezieht sich auf den Bereich zwischen dem 10%- und 90%-Perzentil. Für pH-Wert und Sauerstoffgehalt – in der Trinkwasserverordnung mittels einer unteren und oberen Schwelle geregelt – werden beide Perzentile angegeben. Für alle übrigen Parameter wird als Hintergrundwert einzig das 90%-Perzentil ausgewiesen. Das 10%-Perzentil kann der Tabelle mit den statistischen Kennwerten entnommen werden. Eine dritte Spalte zum Hintergrundwert gibt an, welche statistische Methode zur Ableitung des Hintergrundwertes für den jeweiligen Parameter verwendet wurde: (i) Der Hintergrundwert basiert auf dem 10%- und 90%-Perzentil. (ii) Der Hintergrundwert basiert auf der Mediankonzentration einer Messstelle. (iii) Der Hintergrundwert basiert auf der maximalen Bestimmungsgrenze. Ergänzend werden für jeden Parameter das chemische Symbol bzw. die chemische Formel und Einheit angegeben. Den Hintergrundwerten werden die Schwellenwerte der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser 2010 i.d.g.F. sowie die Parameter- und Indikatorwerte der Trinkwasserverordnung 2001 i.d.g.F. bzw. des Österreichischen Lebensmittelgesetzes 1975 i.d.g.F. gegenübergestellt. Richtwertüberschreitungen eines Hintergrundwertes sind **fett** gedruckt.

Die **Datengrundlage und die statistischen Kennwerte der Konzentrationsverteilungen** aller Parameter sind im sechsten Abschnitt in einer Tabelle zusammengefasst. Die Datengrundlage wird ausgewiesen durch: (i) Anzahl der Messstellen in der Geologischen Klasse, (ii) Anzahl der Messstellen, die für die Ableitung des Hintergrundwertes ausgeschlossen wurden, (iii) prozentualer Anteil der Messstellen zur Ableitung des

Hintergrundwertes mit Mediankonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Als statistische Kennwerte werden das 2,3%-, 10%-, 50%-, 90%- sowie 97,7%-Perzentil angeführt.



Abbildung 95: Krumme Steyr, Oberösterreich

12 LITERATUR

AKRITAS, Michael G.; MURPHY, Susan A.; LAVALLEY, Michael P: The Theil-Sen estimator with doubly censored data and applications to astronomy. - Journal of the American Statistical Association, 1995, 90. Jg., Nr. 429, S. 170-177.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2002): Wasserversorgungsplan Steiermark. Ein Leitfaden für die öffentliche Wasserversorgung. Berichtsband der wasserwirtschaftlichen Planung Nr. 83/2002. Graz, S. 1-132.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2016): Eder, B., Eder, T., Siwetz, G., Kanatschnig, M.: Sondermessprogramm Grundwasser 2015 – Autobahn A2, Raum Zirknitz. 66 S., Graz.

BAIOCCHI A.; LOTTI F. & PISCOPO V. (2011): Influence of hydrogeological setting on the arsenic occurrence in groundwater of the volcanic areas of central and southern Italy. – Aqua Sotteranee, 2/2011, S. 131-42, DOI: 10.4409/Am-035-11-0035, ISSN: 2038-3592.

BARUFKE, K.-P., GRIMM-STRELE, J., MADER, TH. V.D.TRENCK, K.T. (2012): Bor. Ableitung einer Geringfügigkeitsschwelle zur Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

BELOCKY, R.; SLAPANSKY, P.; EBLI, O.; OGORELEC, B. & LOBITZER, H. (1999): Die Uran-Anomalie in der Trias-Deckscholle des Gaisberg/Kirchberg in Tirol (Österreich) – Geophysikalische, geochemische und mikrofazielle Untersuchungen. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 56/2, S. 13-33, Geologische Bundesanstalt, Wien.

BERKA, R.; KATZLBERGER, Ch.; PHILIPPITSCH, R.; SCHUBERT, G.; KORNER, M.; LANDSTETTER, C.; MOTSCHKA, K.; PIRKL, H.; GRATH, J.; DRAXLER, A. & HÖRHAN, Th. (2014): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Radionuklide in den Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1:500.000. Wien. 109 S.

BERKA, R.; PHILIPPITSCH, R. & SCHUBERT, G. (2009): Karte der trinkbaren Tiefengrundwässer Österreichs 1 : 500 000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

BERKA, R.; SCHUBERT, G.; ELSTER, D.; HOYER, St.; BERKA, I.; WEILBOLD, J.; BRÜSTLE, A.; FELLINGER, G.; SCHIFKO, Th. & ATZENHOFER, B. (2014): Endbericht zu Projekt „Datenbank Wasserentnahmen – digitale Wasserbücher der österreichischen Bundesländer“. – unveröffentlichter Bericht, 20 S. Geologische Bundesanstalt, Wien

BLA-GEO & LAWA (2015): Hydrogeochemische Hintergrundwerte im Grundwasser und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. 22 S. (PDF, 1 MB)

BOROVICZÉNY, F., SCHUBERT, G., JOCHA-EDELENYI, E., ZSAMBOK, I., MALIK, P. (2000): Hydrogeological Map – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 142, S. 521-533, Wien.

BRANDNER, R. (1980): Geologische Übersichtskarte von Tirol (1 : 300.000) & Tektonik (1:600.000) in: Tirol Atlas (Amt der Tiroler Landesregierung). – Univ. Verlag Wagner.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2017): SCHARTNER, CH., WEMHÖNER, U. & HUMER, F.: Hydrochemische Karte Österreichs 2017. 62 S., Wien.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2015a): WEMHÖNER, U.; HUMER, F.; SCHUBERT, G.; BERKA, R. PHILIPPITSCH, R. & HÖRHAN, TH.: Uran in Grundwässern Österreichs. Bericht und Karte 1:500.000. Umweltbundesamt, Wien. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. 60 S.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2015b): HUMER, F.; BRIELMANN, H.; WEMHÖNER, U. & PHILIPPITSCH, R.: Grundwasseralter in Österreich - Mittlere Verweilzeiten in ausgewählten Grundwasserkörpern. 44 S., Wien.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2012): PHILIPPITSCH, R.; LOISHANDL-WEISZ, H.; WEMHÖNER, U.; SCHARTNER, CH.; SCHUBERT, G. & SCHEDL, A.: Metalle im Grundwasser in Österreich. Karten und Erläuterungen. Umweltbundesamt, Wien. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. 60 S.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2002): Lage und Abgrenzung von Grundwasserkörpern. Ausgearbeitet vom Arbeitskreis E – Grundwasser. Stand: Oktober 2002

CERNY, I. (1989): Die karbonatgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten des alpinen und außeralpinen Mesozoikums: Die Bedeutung ihrer Geologie, Stratigraphie und Faziesgebundenheit für Prospektion und Bewertung. Archiv für Lagerstättenforschung, 11, S. 5–125, Geologische Bundesanstalt, Wien.

EC – EUROPEAN COMMISSION (2009): Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment, Guidance Document No 18. Technical Report - 2009 - 026. ISBN 978-92-79-11374-1. European Communities, Luxembourg.

ELSTER, D., SCHUBERT, G., BERKA, R. (2015): Themenkarte „Mineral- und Heilwässer Österreich 1:500.000 inkl. Erläuterungen: Tätigkeitsbericht, Geologische Bundesanstalt, Wien.

ELSTER, D., FISCHER, L., HANN, St., GOLDBRUNNER, J., SCHUBERT, G., BERKA, R., HOBIGER, G., LEGERER, PH. & PHILIPPITSCH, R. (2018): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Mineral- und Heilwässer in Österreich. Hydrogeologie und Ultrasparen. 1 : 500 000. - unveröffentlichter Projektbericht, Geologische Bundesanstalt, 642 S., Wien.

ELSTER, D.; GOLDBRUNNER, J.; WESSELY, G.; NIEDERBACHER, P.; SCHUBERT, G.; BERKA, R.; PHILIPPITSCH, R. & HÖRHAN, T. (2016): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Thermalwässer in Österreich 1:500.000. – 296 S., Wien.

FENT, K. (2003): Ökotoxikologie. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.

FINGER, F. & SCHUBERT, G. (2015): The Bohemian Massif in Austria: What is new? – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 64, 167-179, Wien.

LITERATUR

- FINGER, F.; GERDES, A.; JANOUŠEK, V.; RENE, M. & RIEGLER G. (2007): Resolving the Variscan evolution of the Moldanubian sector of the Bohemian Massif: the significance of the Bavarian and the Moravo-Moldanubian tectonometamorphic phases. - Journal of GEOSciences, S. 9-28, 52.
- FLÜGEL, H. W. & NEUBAUER, F. (1984): Steiermark. Geologie der Österreichischen Bundesländer in kurzfassenden Einzeldarstellungen. - 127 S. und Karte 1 : 200.000, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- FRASL, G, FUCHS, G., KURZWEIL, H., THIELE, O., VOHRYZKA, E., VOHRYZKA, K., ZIRKL, E. (1965): Übersichtskarte des Kristallins im westlichen Mühlviertel und im Sauwald, Oberösterreich. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- FRASL, G. & FINGER, F. (1988): Führer zur Exkursion der Österreichischen Geologischen Gesellschaft ins Mühlviertel und in den Sauwald. – Reihe der Exkursionsführer der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, 30 S., Wien.
- FRASL, G. (1958): Zur Seriengliederung der Schieferhülle in den mittleren Hohen Tauern. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 101, S. 323-472, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- FRIEBE (Hrsg.) (2007): Geologie der Österreichischen Bundesländer, Vorarlberg. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- FUCHS, G. & THIELE, O. (1968): Erläuterungen zur Übersichtskarte des Kristallins im westlichen Mühlviertel und im Sauwald, Oberösterreich. 1 : 100.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- GAMERITH, H., G. KNAPP, H. KOLMER & H. KRAINER (1973): Zur Verteilung einiger Spurenelemente in artesischen Wässern des Steirischen Terriärbeckens. - Steir. Beitr. Hydrogeol., 127-138.
- GEWÄSSERZUSTANDSÜBERWACHUNGSVERORDNUNG (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustands von Gewässern.
- GOLDBRUNNER, J. E. (1984): Zur Hydrogeologie des Oberösterreichischen Molassebeckens. - Steir. Beitr. Hydrogeol., 36, Graz.
- GOLDBRUNNER, J. E. (1987). Zum Stand der geothermischen und balneologischen Tiefengrundwassernutzung im Oststeirischen Becken und im Oberösterreichischen Molassebecken. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 513-526.
- GRUNDWASSERRICHTLINIE (GWRL; RL 2006/118/EG): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. ABl. Nr. L 372/19.
- HELSEL, Dennis R., et al. (2005): Nondetects and data analysis. Statistics for censored environmental data. - Wiley-Interscience.
- HELSEL, Dennis R.; HIRSCH, Robert M. (1992): Statistical methods in water resources. - Elsevier.
- HILLENBRAND, T.; MARSCHEIDER-WEIDEMANN, F.; STRAUCH, M. & HEITMANN, K. (2006): Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie: Datenblatt Quecksilber. <http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/stoffhaushalt/quecksilber.pdf> (abgerufen am 30.Mai 2012)

HOBIGER, G.; KLEIN, P.; DENK, J.; GRÖSEL, K.; HEGER, H.; KOHAUT, St.; KOLLMANN, W. F. H.; LAMPL, H.; LIPIARSKY, P.; PIRKL, H.; SCHEDL, A.; SHADLAU, S. & WINTER, Ph. (2004):: GEOHINT - Zl. 70.215/08-VII 1/03- Österreichweite Abschätzung von regionalisierten, hydrochemischen Hintergrundgehalten in oberflächennahen Grundwasserkörpern auf der Basis geochemischer und wasserchemischer Analysedaten zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (Geogene Hintergrundgehalte oberflächennaher Grundwasserkörper). Endbericht. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und Geologische Bundesanstalt, Wien 2004.

HÖLL, K. (2002): Wasser – Nutzung im Kreislauf – Hygiene, Analyse und Bewertung. – 8.Aufl., (Hrsg. A. Grohmann), Walter de Gruyter, Berlin, New York.

HÖLTING, Bernward; COLDEWEY, Wilhelm: Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. Springer-Verlag, 2013.

HÜTTER, L. A. (1992): Wasser und Wasseruntersuchung: Methodik, Theorie und Praxis chemischer, chemisch-physikalischer, biologischer und bakteriologischer Untersuchungsverfahren; 5. erw. u. aktualisierte Auflage. Otto Salle Verlag, Frankfurt am Main; Verlag Sauerländer, Aarau, Frankfurt am Main, Salzburg.

JASECHKO, Scott, et al. (2017): Global aquifers dominated by fossil groundwaters but wells vulnerable to modern contamination. - Nature Geoscience, 10. Jg., Nr. 6, S. 425.

KIESLINGER, A. (1936): Ganggesteine im Zentralgneis am Zirmsee, Kärnten. - S. 253-264, Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 86S. 253-264, Geologische Bundesanstalt, Wien.

KÖLLE, W. (2017): Wasseranalysen – richtig beurteilt. Grundlagen, Parameter, Wassertypen, Inhaltsstoffe. Vierte Auflage. Wiley-VCH, Weinheim.

KRENMAYR, H. G., SCHNABEL, W., REITNER, J., VAN HUSEN, D., FINGER, F., LINNER, M., ROETZL, R., RUPP, Ch., EGGER, H., BRYDA, G., MANDL, G. W., NOWOTNY, A., PESTAL, G. & SCHUSTER, R. (2006): Geologische Karte von Oberösterreich 1:200 000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

KRÖLL, A., FLÜGEL, H. W., SEIBERL, W., WEBER, F., WALACH, G. & ZYCH, D. (1988): Erläuterungen zu den Karten über den prätertiären Untergrund des Steirischen Beckens und der Südburgenländischen Schwelle. – 49 S. Geologische Bundesanstalt, Wien.

KUNKEL, R., HANNAPPEL, S., VOIGT, H. J., & WENDLAND, F. (2002). Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit ausgewählter hydrostratigrafischer Einheiten in Deutschland. Endbericht eines FuE-Vorhabens im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser und Boden“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA).

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

LFU (2001): Grundwasserüberwachungsprogramm. Geogen geprägte Untergrundbeschaffenheit. Ergebnisse aus dem Basis Messnetz; Hintergrundwerte 1985–1991. Grundwasserschutz 3.- 94 S.; LfU, Karlsruhe.

LITERATUR

- LOBITZER, H., SOLTI, G. & RAVASZ, C. (Red.) (1994): Fazies und Geochemie ausgewählter Vorkommen bituminöser und kerogenreicher Gesteine. – Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich - Ungarn, Teil 2, S. 465-483, ISBN 3-900312-92-3.
- MANDL, G. (1989). Geologische Karte des Kalkalpenabschnittes auf ÖK Blatt 105 Neunkirchen, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MATHIASCHITZ, M.L.; PRIDNIG, G.; KÖLBLINGER, J. & SCHLAMBERGER, J. (2003): Arsen im Trinkwasser. Eine Untersuchung und Bewertung zum Vorkommen von Arsen im Kärntner Trinkwasser. Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt.
- MATTHEß, G. (1990): Lehrbuch der Hydrogeologie. Band 2: Die Beschaffenheit des Grundwassers. Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart.
- MATURA, A. (2006): Böhmisches Massiv. – In: Wessely, G., Geologie der österreichischen Bundesländer. Niederösterreich, S. 25-39, Geologische Bundesanstalt Wien.
- MERIAN, E. (1991): Metals and Their Compounds in the Environment. Occurrence, Analysis, and Biological Relevance. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge.
- MINERALWASSER- UND QUELLWASSERVERORDNUNG (BGBl. II Nr. 309/1999 i.d.g.F.): Verordnung der Bundesministerin für Frauenangelegenheiten und Verbraucherschutz über natürliche Mineralwässer und Quellwässer.
- MOSER, M. (2015). Geofast–Zusammenstellung ausgewählter Archivunterlagen der Geologischen Bundesanstalt 1: 50.000, Blatt 132 Trofaiach: Stand 1999, Ausgabe 2008/05, Geologische Bundesanstalt, Wien .
- MÜLLER D., BLUM A., HART A., HOOKEY J., KUNKEL R., SCHEIDLEDER A., TOMLIN C., WENDLAND F. (2006) – Final proposal for a methodology to set up groundwater threshold values in Europe, Deliverable D18, BRIDGE project, 63 p
- NORDSTROM, D. K. (1982). The effect of sulfate on aluminum concentrations in natural waters: some stability relations in the system Al_2O_3 - SO_3 - H_2O at 298 K. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(4), 681-692.
- OBERHAUSER R. (Red.) (1980): Der Geologische Aufbau Österreichs. – Springer.
- OBERHAUSER, R., BERTLE, H. & BERTLE, R. (2007): Geologische Karte von Vorarlberg 1 : 100.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- ÖSTERREICHISCHES LEBENSMITTELBUCH - B1 Trinkwasser (ÖLMB, BMGFJ-75210/0009-IV/B/7/2007 i.d.g.F.)
- PAVLIK, W. (2008). Geofast–Zusammenstellung ausgewählter Archivunterlagen der Geologischen Bundesanstalt 1: 50.000, Blatt 133 Leoben: Stand 1999, Ausgabe 2008/05, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PESTAL, G., HEJL, E., EGGER, H., VON HUSEN, D., LINNER, M., MANDL, G. W., MOSER, M., REINTER, J., RUPP, Ch. & SCHUSTER, R. (2005): Geologische Karte von Salzburg. 1 : 200 000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

- PHILIPPITSCH, R. (1994): B/ 2 Geologie. In: WWK/UBA (Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt) (Hrsg.): Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 1994, 1-48, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- PIRKL, H.; SCHEDL, A. & PFLEIDERER, S. (Hrsg.) (2015): Geochemischer Atlas von Österreich – Bundesweite Bach- und Flusssedimentgeochemie (1978–2010). – Archiv für Lagerstättenforschung, 28, 288 S., Wien.
- PLENIČAR, M. OGORELEC, B. & NOVAK, M. (2009): Geologija Slovenije. The Geology of Slovenia. – Geološki zavod Slovenije, 612 S., Ljubljana.
- PLÖCHINGER, B., BRANDECKER, HERMANN, LEDITZKY, H. P., MAURIN, V., TICHY, G. & VAN HUSEN, D. (1990): Erläuterungen zu Blatt 94 Hallein. – 76 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- POHLERT, T (2016). trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R package version 0.2.0. <https://CRAN.R-project.org/package=trend>
- PREZIOSI, Elisabetta, et al. (2014): Natural background level assessment in groundwaters: probability plot versus pre-selection method. Journal of Geochemical Exploration, 143. Jg., S. 43-53.
- Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers.
- Quecksilber-Verordnung (EU) 2017/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2017 über Quecksilber und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1102/2008.
- RAMDOHR, P. (1975): Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. – Akademie-Verlag, Berlin.
- Richtlinie 2009/90/EG der Kommission vom 31. Juli 2009 zur Festlegung technischer Spezifikationen für die chemische Analyse und die Überwachung des Gewässerzustands gemäß der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. ABl. Nr. L 201/36.
- RUPP, Ch., LINNER, M. & MANDL, G. W. (Red.) (2011): Geologische Karte von Oberösterreich 1 : 200 000. Erläuterungen – S. 101-121, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50.000 ÖK 96 Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHAUBERGER, O. (1979): Die Mineral- und Thermalquellen im Bereich des ostalpinen Salinars zwischen Salzburg und Enns. - Schriftenreihe des OÖ Musealvereines - Gesellschaft für Landeskunde, Nr. 9, Linz.
- SCHLEYER, R. & KERNDORFF, H. (1992): Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen.— 249 S., VCH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge.
- SCHLITTGEN, R. (2009). Multivariate Statistik. Walter de Gruyter.
- SCHNABEL, W., FUCHS, G., MATURA, ROETZEL, R., SCHARBERT, S., A., KRENMAYR, H. G., EGGER, H., BRYDA, G., MANDL, G. W., NOWOTNY, A., & WESSELY, G. (2002): Geologische Karte von Niederösterreich 1:200 000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

SCHÖNLAUB, H. P. [Hrsg.] (2000): Burgenland: Erläuterungen zur Geologischen Karte des Burgenlandes 1 : 200.000. – 130 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.

SCHROLL, E. (1997B): SEDERITLAGERSTÄTTE. IN: WEBER, L.; CERNY, I.; EBNER, F.; EICHHORN, R.; FETTWEIS, G.B.L.; FRANK, W.; GÖD, R.; GÖTZINGER, M.A.; GRÄF, W.; GÜNTHER, W.; HÖLL, R.; KIRCHNER, E.C.; KÖPPEL, V.; MALI, H.; MELCHER, F.; PAAR, W.H.; PROCHASKA, W.; RAITH, J.G.; RANTITSCH, G.; SACHSENHOFER, R.F.; SCHROLL, E.; SCHULZ, O.; SEEMANN, R.; SPIELER, A.; STERK, G.; TUFAR, W.; VAVTAR, F. & WEISS, A.: Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, S. 338, Geologische Bundesanstalt, Wien.

SCHRÖTER, W.; LAUTENSCHLÄGER, K.-H. & BIBRACK, H (1995): Taschenbuch der Chemie. 17. durchges. Aufl.; Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main.

SCHUBERT, G. (2015b): Hydrogeologie. – In.: HEINISCH, H., PESTAL, G., REITNER, J. M., AHL A., BORTENSCHLAGER, S., DRAXLER, I., HEINRICH, M., MOSHAMMER, B., PANWITZ, C, SCHEDL, A., SCHUBERT, G., SCHUSTER, R., SLAPANSKY, P., STINGL, V., Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50 000. Erläuterungen zu Blatt 122 Kitzbühel, 220-231, Geologische Bundesanstalt, Wien.

SCHUBERT, G. (Red.) (2015a): Trinkbare Tiefengrundwässer in Österreich. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 64, 179 S., Wien.

SCHUBERT, G. (2006): Erläuterungen zur hydrogeologischen Karte von Österreich 1 : 500 000. - 21. S., Verlag der Geologischen Bundesanstalt, Wien

SCHUBERT, G., FINGER, F., GASSER V. & LETTNER, H. (2003): Endbericht zum Pilotprojekt „Radionuklide im Grundwasser des kristallinen Untergrunds im Mühlviertel“ – unveröffentlichter Bericht, 36 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.

SCHULZ, O.; VAVTAR, R. & DIEBER, K. (1997): Die Siderit-Erzlagerstätte Steirischer Erzberg: Eine geowissenschaftliche Studie, mit wirtschaftlicher und geschichtlicher Betrachtung. Archiv für Lagerstättenforschung, 20, S. 65–178, Geologische Bundesanstalt, Wien.

SCHUSTER, R. (2015): Zur Geologie der Ostalpen. On the geology of the Eastern Alps. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, S. 143-165, Geologische Bundesanstalt, Wien.

SCHUSTER, R., DAURER, A., KRENMAYR, H.-G., LINNER, M., MANDL, G.W., PESTAL, G. & REITNER, J.M. (2015): Rocky Austria. Geologie von Österreich - kurz und bunt. – 80 S., vierte Auflage, Verlag der Geologischen Bundesanstalt (GBA), Wien.

SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG (SENSTADT) (2005): Bewertungskriterien für die Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen in Berlin (Berliner Liste 2005). – Bekanntmachung vom 01.07.2005, 10 S.

SHAND, P. EDMUNDS, W.M., LAWRENCE, A.R., SMEDLEY, P.L. and BURKE, S. (2007): The natural (baseline) quality of groundwater in England and Wales. British Geological Survey Research Report No. RR/07/06.

SHAND, P.; EDMUNDS, W. M. (2008): The baseline inorganic chemistry of European groundwaters. Natural groundwater quality, S. 22-58, JOHN WILEY & SONS.

SIROCKO, F. (2012): Typisierung deutscher Mineralwässer. Geschmacksvielfalt durch geogen bedingte Mineralstoffanreicherungen. Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz. Internet: http://www.klimaundsedimente.geowissenschaften.uni-mainz.de/Dateien/Typisierung_deutscher_Mineralwaesser_2012.pdf (zuletzt abgerufen: 09.03.2018)

TAUBER, A. F. (1963): Neusiedler See – Mineralwässer und Mineralwasserlagerstätte. – Allgemeine Lande-stopographie des Burgenlandes, Bd. 2. (Der Verwaltungsbezirk Eisenstadt und die Freistädte Eisenstadt und Rust), 786-809, Amt der Burgenländischen Landesregierung, Eisenstadt.

TEDD, K.; COXON, C, MISSTEAR, B., DALY, D.; CRAIG, M., MANNIX, A., WILLIAMS, T.H. (2017): Assessing and developing natural background levels for chemical parameters in Irish groundwater. Report No. 183, Environmental Protection Agency, Dublin, Ireland.

Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.): Verordnung der Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.

TUKEY, J. W. (1977): Exploratory data analysis.

UNEP (2013): Minamata convention on mercury. Text and Annexes. <http://www.mercuryconvention.org/Convention> (letzter Aufruf: 09.03.2018)

VAN BERK, W.; FU, Y.. (2016): Redox roll-front mobilization of geogenic uranium by nitrate input into aquifers: risks for groundwater resources. Environmental science & technology, 51. Jg., Nr. 1, S. 337-345.

VAN HELVOORT, P. J., GRIFFIOEN, J., & EDMUNDS, W. M. (2009): Occurrence and behavior of main inorganic pollutants in European groundwater. Groundwater Monitoring. Wiley, Chichester, 83-109.

VAN HUSEN, D., SCHUBERT, G., BERKA, R., HOBIGER, G., LEGERER, PH., SCHOBER, A. & SCHLICHTNER, G. (2017): Zum unterirdischen Abfluss des Egelsees/Unterach am Attersee – Ergebnis eines Salzmarkierungsversuchs in der Flyschzone. – In: WIMMER-FREY, I., RÖMER, A., JANDA, Ch.: Arbeitstagung „Angewandte Geowissenschaften an der GBA, 19.-22. Juni 2017, Bad Ischl, Hallstatt, Gmunden, S. 198-200, Verlag der Geologischen Bundesanstalt (GBA), Wien.

VON BOSSEW, P., DUBOIS, G. & TOLLEFSEN, T. (2008): Investigations on indoor Radon in Austria, part 2: Geological classes as categorical external drift for spatial modelling of the Radon potential. – J. of Environmental Radioactivity, 99, 81–97, Elsevier.

VORHYZKA, K. (1973): Hydrogeologie von Oberösterreich. - 80 S., Amt der oö. Landesregierung, OÖ. Landesverlag, Wels.

WAGNER, B., BEER, A., BITZER, F., BROSE, D., BRÜCKNER, L., BUDZIAK, D., CLOS, P., FRITSCH, H.G., HÖRMANN, U., HÜBSCHMANN, M., MOOSMANN, L., NOMMENSEN, B., PANTELEIT, B., PETERS, A., PRESTEL, R., SCHUSTER, H., SCHWERDTFEGGER, B., WALTER, T. & WOLTER, R. (2014): ERLÄUTERUNG ZUM WEB MAP SERVICE (WMS) "HINTERGRUNDWERTE GRUNDWASSER". 24 S.; HOF. INTERNET: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/Beratung/Hintergrundwerte/hgw_projektbeschr.html > Wagner et al. Zugriff: 09.03.2018

WAGNER, B., TÖPFNER, C., LISCHIED, G., SCHOLZ, M., KLINGER, R. & KLAAS, P. (2003): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns.– GLA-Fachberichte, 21, 250 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).

WAGNER, B., WALTER, T., HIMMELSBACH, T., CLOS, P., BEER, A., BUDZIAK, D., DREHER, T., FRITSCHKE, H.-G., HÜBSCHMANN, M., MARCZINEK, S., PETERS, A., POESER, H., SCHUSTER, H., STEINEL, A., WAGNER, F. & WIRSING, G. (2011): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Deutschlands als Web Map Service. – *Grundwasser*, 16(3): 155-162; Springer, Berlin / Heidelberg. www.springerlink.com/content/e88pm153254q4u52

WALTER, T., BEER, A., BROSE, D., BUDZIAK, D., CLOS, P., DREHER, T., FRITSCHKE, H.-G., HÜBSCHMANN, M., MARCZINEK, S., PETERS, A., POESER, H., SCHUSTER, H., WAGNER, B., WAGNER, F., WIRSING, G. & WOLTER, R. (2012): Determining Natural Background Values with Probability Plots.- *Groundwater Quality Sustainability*, IAH Selected Papers on Hydrogeology, CRC Press, 26: 331-341.

WALTER, T., BEER, A., DREHER, T., ELBRACHT, J., FRITSCHKE, H.-G., HÜBSCHMANN, M., KÄMMERER, D., KRINGEL, R., MARCZINEK, S., PANTELEIT, B., PAWLITZKY, M., PETERS, A., SCHUSTER, H., WAGNER, B. & WIRSING, G. (2006): Ermittlung und Darstellung der natürlichen Hintergrundwerte der Grundwässer in Deutschland. In: VOIGT, H.-J., KAUFMANN-KNOKE, R., JAHNKE, C., HERD, R. (Hg.): *Indikatoren im Grundwasser: Kurzfassungen der Vorträge und Poster*; Tagung der Fachsektion Hydrogeologie in der DGG, Cottbus, 24. bis 28. Mai 2006; Hannover.

WASSERRAHMENRICHTLINIE (WRRL; RL 2000/60/EG): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABl. Nr. L 327. Geändert durch die Entscheidung des Europäischen Parlaments und des Rates 2455/2001/EC. ABl. L 331, 15/12/2001.

WASSERRECHTSGESETZ 1959 (WRG; BGBl. Nr. 215/1959 i.d.g.F.): Kundmachung der Bundesregierung vom 8.9.1959, mit der das Bundesgesetz, betreffend das Wasserrecht, wiederverlautbart wird.

WASSERRECHTSGESETZNOVELLE 2003 (WRG 2003; BGBl. I Nr. 82/2003 i.d.g.F.): Bundesgesetz, mit dem das Wasserrechtsgesetz 1959 und das Wasserbautenförderungsgesetz 1985 geändert werden sowie das Hydrografiegesetz aufgehoben wird.

WEBER, L. [Hrsg.] (1997): *Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs*. – Archiv für Lagerstättenforschung, 19, 607 S., Geologische Bundesanstalt Wien.

WEISSENBACH, N. & PISTOTNIK, J. (2000): *Geologische Karte der Republik Österreich 1:50 000*. 187 Bad Sankt Leonhard im Lavanttal: Geologische Bundesanstalt, Wien.

WESSELY, G. (Red.) (2006): *Geologie der österreichischen Bundesländer. Niederösterreich*. - 416 S., Geologische Bundesanstalt Wien.

Wien CERNY, I. & SCHROLL, E. (1999): BLEI-ZINKLAGERSTÄTTE BLEIBERG-KREUTH. IN: WEBER, L.; CERNY, I.; EBNER, F.; EICHORN, R.; FETTWEIS, G.B.L.; FRANK, W.; GÖD, R.; GÖTZINGER, M.A.; GRÄF, W.; GÜNTHER, W.; HÖLL, R.; KIRCHNER, E.C.; KÖPPEL, V.; MALI, H.; MELCHER, F.; PAAR, W.H.; PROCHASKA, W.; RAITH, J.G.; RANTITSCH, G.; SACHSENHOFER, R.F.; SCHROLL, E.; SCHULZ, O.; SEEMANN, R.; SPIELER, A.; STERK, G.; TUFAR, W.; VAVTAR, F. & WEISS, A.: *Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500 000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe*: Archiv für Lagerstättenforschung, 19, S. 377-379, Geologische Bundesanstalt, Wien.

LITERATUR

ZETINIGG, H. (1982): Die artesischen Brunnen im steirischen Becken. Graz. – Mitteilungen der Abteilung für Geologie, Paläontologie und Bergbau am Landesmuseum Joanneum, Nr. 43.

ZOJER, H., DOMBERGER, G., SCHREILECHNER, M., NIEDERBACHER, P., KRIEGL, CH., MEYER, J., ERHART-SCHIPPEK, W. & VASVARI, V. (2005): Hydrogeologische Grundlagen für eine nachhaltige Nutzung der Tiefengrundwässer im Bereich des Oststeirischen und Pannonischen Beckens („NANUTIWA“); unveröffentlichter Endbericht, Graz

ZÖTL, J. & GOLDBRUNNER, J. E. (Red.) (1993): Die Mineral- und Heilwässer Österreichs. Geologische Grundlagen und Spurenelemente. Springer, Wien-New York.

13 ERGÄNZENDE PUBLIKATIONEN

HYDROCHEMISCHE KARTE ÖSTERREICHS

Die Hydrochemische Karte Österreichs gibt einen Überblick über die wichtigsten chemischen Inhaltsstoffe der heimischen Grundwässer und Fließgewässer. Der dazugehörige Bericht enthält weiterführende Informationen zu den Hauptionen, wie z.B. Calcium und Magnesium, die von besonderer Bedeutung für die Wasserhärte sind. Die Karte wurde vom Umweltbundesamt im Auftrag des BMLFUW erstellt und basiert auf Daten der GZÜV aus den Jahren 2006–2015.

Der zusammenfassende Bericht und die Karte sind über die Homepage des BMNT verfügbar:
Wasser > Wasserqualität und Gewässerschutz > [Hydrochemische Karte Österreichs 2017](#)

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND
WASSERWIRTSCHAFT (2017): SCHARTNER, CH., WEMHÖNER, U. & HUMER, F.:
Hydrochemische Karte Österreichs 2017. 62 S., Wien.

METALLE IM GRUNDWASSER ÖSTERREICHS

Der Bericht „Metalle im Grundwasser in Österreich“ bietet einen Überblick zur Verteilung elf relevanter Metalle in den oberflächennahen Grundwasserkörpern Österreichs. Die Metalle Aluminium, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Eisen, Kupfer, Mangan, Nickel, Quecksilber und Zink werden sowohl in Übersichtskarten 1:500.000 als auch in Einzelkarten dargestellt und in den umfassenden Erläuterungen hinsichtlich Eigenschaften und Vorkommen beschrieben.

Die Karten sowie die Erläuterungen sind auf der Homepage des BMNT verfügbar: Wasser > Wasserqualität und Gewässerschutz > Grundwasser > [Metalle im Grundwasser in Österreich](#)

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND
WASSERWIRTSCHAFT (2012): PHILIPPITSCH, R.; LOISHANDL-WEISZ, H.; WEMHÖNER, U.; SCHARTNER, CH.; SCHUBERT, G. & SCHEDL, A.: Metalle im Grundwasser in Österreich. Karten und Erläuterungen. Umweltbundesamt, Wien. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. 60 S.

MINERAL- UND HEILWÄSSER IN ÖSTERREICH

Im Jahr 2013 wurde die Geologische Bundesanstalt vom BMLFUW (jetzt BMNT) beauftragt eine Erhebung zu den Mineral- und Heilwässern Österreichs durchzuführen. Das Ergebnis wird die Geologische Bundesanstalt 2018 in Form einer zweibändigen, mehrere Hundert Seiten umfassenden Abhandlung mit einer Übersichtskarte im Maßstab 1:500.000 veröffentlichen:

DANIEL, E.; FISCHER, L.; HANN, ST.; GOLDBRUNNER, J.; SCHUBERT, G.; BERKA, R.; HOBIGER, G., LEGERER, PH. & PHILIPPITSCH, R. (in Redaktion): Mineral und Heilwässer in Österreich. – Bericht und Karte 1:500.000, Geologische Bundesanstalt, Wien. Im Auftrag des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Das Hauptaugenmerk wurde in dieser Arbeit auf die nach der Mineralwasser- und Quellwasserverordnung genehmigten Mineralwässer und auf die nach den Heilvorkommen- und Kurortegesetzen der Länder bewilligten Heilquellen gelegt. Bei den anerkannten Mineralwässern konnten 40 und bei den anerkannten Heilquellen 111 Quellwässer erhoben werden. Neben den genannten, anerkannten Vorkommen wurden in die Arbeit auch rund 240 Heilquellen, die zumindest in historischer Zeit genutzt wurden, sowie ausgewählte

Quellvorkommen mit besonderen Lösungsinhalten aufgenommen. Im Rahmen des Vorhabens wurden ca. 1.000 Literaturstücke bzw. rechtlich relevante Unterlagen ausgehoben und als Zitat in der vorliegenden Arbeit dokumentiert.

Eine wichtige Datenquelle bildeten zudem die 80 durch die Fachabteilung Geochemie der Geologischen Bundesanstalt und vor allem auch die 55 durch die Abteilung für Analytische Chemie der Universität für Bodenkultur analysierten Wasserproben, von denen ausgewählte Proben auch isotopehydrologischen Untersuchungen zugeführt wurden. Bezüglich der durchgeführten Wasseranalytik stellen die 55 von der Universität für Bodenkultur analysierten Wasserproben ein Novum dar. Diese wurden einer Ultraspurenanalytik auf 68 Elemente inklusive Edelmetalle und Seltene Erden mit sehr tiefen Bestimmungsgrenzen unterzogen. Dieser Spezialanalytik ist daher auch ein eigenes Kapitel gewidmet. In der Regel pauste sich in dieser Spurenanalytik der geologische Hintergrund klar durch. Das Ergebnis dieser Analytik stellt eine wertvolle Ergänzung zu jenen in der Literatur erhobenen, rund 1.700 hydrochemischen und isotopehydrologischen Proben dar.

MITTLERE VERWEILZEITEN DES GRUNDWASSERS

Eine Abschätzung der Mittleren Verweilzeit des Grundwassers bzw. die Erhebung der natürlichen Gegebenheiten der Grundwasserkörper im Hinblick auf ihre Reaktionsgeschwindigkeit bzw. -trägheit ist mit Hilfe des Einsatzes von isotopehydrologischen Messungen und Spurengasen in Kombination mit hydrogeologischen Untersuchungen möglich. In den Berichten zum Grundwasseralter gibt das Umweltbundesamt im Auftrag des BMLFUW einen statistisch flächenhaften Überblick über die Mittleren Verweilzeiten in den obersten genutzten Grundwasserstockwerken in Österreich. In knapp 30 Grundwasserkörpern bzw. Gruppen von Grundwasserkörpern wurden bereits die Mittleren Verweilzeiten ermittelt. Ein zusammenfassender Bericht und eine Karte im Maßstab 1:500.000 geben einen Überblick über die Ergebnisse aus diesen bisherigen Grundwasseralter-Untersuchungen. Details können den jeweiligen Endberichten entnommen werden.

Der zusammenfassende Bericht und die Karte sind über die Homepage des BMNT verfügbar:

Wasser > Wasserqualität und Gewässerschutz > [Grundwasseralter - Bericht und Karte](#)

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND
WASSERWIRTSCHAFT (2015): HUMER, F.; BRIELMANN, H.; WEMHÖNER, U. &
PHILIPPITSCH, R.: Grundwasseralter in Österreich - Mittlere Verweilzeiten in ausgewählten
Grundwasserkörpern. 44 S., Wien.

RADIONUKLIDE IN GRUNDWÄSSERN UND GESTEINEN ÖSTERREICHS

In einer Überblickskarte 1:500.000 sowie zusammenfassenden Erläuterungen erfolgt eine umfassende, österreichweite Darstellung natürlich vorkommender Radionuklidelemente wie beispielsweise Uran, Radon und Thorium. Damit wurde erstmalig in einer geologisch-hydrogeologisch-hydrochemischen und gleichzeitig auch gesundheitsbewertenden Form eine bundesweite Überblickskarte veröffentlicht, welche eine zusammenfassende Dateninterpretation von natürlichen Radionukliden enthält.

Das Gesamtwerk wurde vom BMLFUW an die Geologische Bundesanstalt (GBA) in Zusammenarbeit mit der Österreichischen Agentur für Ernährungssicherheit (AGES) und dem Umweltbundesamt beauftragt.

Die Karte sowie die Erläuterungen sind auf der Homepage des BMNT verfügbar: Wasser > Wasserqualität und Gewässerschutz > [Übersichtskarte der natürlich vorkommenden Radionuklide in Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs \(1:500.000\)](#).

BERKA, R.; KATZLBERGER, Ch.; PHILIPPITSCH, R.; SCHUBERT, G.; KORNER, M.; LANDSTETTER, C.; MOTSCHKA, K.; PIRKL, H.; GRATH, J.; DRAXLER, A. & HÖRHAN, Th. (2014): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Radionuklide in den Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1:500.000. Wien. 109 S.

TRINKBARE TIEFENGRUNDWÄSSER IN ÖSTERREICH

Eine bundesweite Überblickskarte im Maßstab 1:500.000 und eine umfassende Beschreibung der geologisch-hydrogeologischen sowie hydrochemischen Situation der trinkbaren Tiefengrundwasservorkommen Österreichs wurde im Jahr 2015 von der Geologischen Bundesanstalt im Auftrag des BMLFUW publiziert.

Die Karte sowie der Bericht sind auf der Homepage des BMNT verfügbar:

Wasser > Wasserqualität und Gewässerschutz > [Trinkbare Tiefengrundwässer in Österreich](#)

SCHUBERT, G. (Red.) (2015a): Trinkbare Tiefengrundwässer in Österreich. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 64, 179 S., Wien.

THERMALWÄSSER IN ÖSTERREICH

Eine Zusammenstellung maßgeblicher Thermalwasservorkommen in den geologisch-tektonischen Gebirgseinheiten Österreichs erfolgte in Form einer bundesweit einheitlichen Thermalwasserkarte im Maßstab 1:500 000. Begleitet wird das Kartenwerk von einer ausführlichen Beschreibung der geologisch-hydrogeologisch-hydrochemischen sowie der mengenmäßigen Eigenschaften der Thermalwässer.

Die Durchführung erfolgte im Auftrag des BMLFUW an die Geologische Bundesanstalt und externen FachexpertInnen (GBA).

In Fertigstellung durch die GBA befindet sich das Werk „**Mineral- und Heilwässer in Österreich – 1:500.000**“ mit einem umfassenden Erläuterungsband, wobei die Veröffentlichung für 2018 vorgesehen ist.

Die Karte sowie die Erläuterungen sind auf der Homepage des BMNT verfügbar:

Wasser > Wasserqualität und Gewässerschutz > [Thermalwässer in Österreich](#)

ELSTER, D.; GOLDBRUNNER, J.; WESSELY, G.; NIEDERBACHER, P.; SCHUBERT, G.; BERKA, R.; PHILIPPITSCH, R. & HÖRHAN, T. (2016): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Thermalwässer in Österreich 1:500.000. – 296 S., Wien.

URAN IN GRUNDWÄSSERN ÖSTERREICHS

Im Jahr 2013 wurden erstmalig an allen GZÜV-Grundwassermessstellen in Österreich die Urankonzentrationen erhoben und in Folge vom Umweltbundesamt ausgewertet und interpretiert. Die Ergebnisse dieses Sondermessprogrammes zeigen, dass gemäß derzeitigem Kenntnisstand in Österreich keine nennenswerte großflächige Beeinträchtigung der Grundwasserqualität aufgrund von Uran vorliegt. Überschreitungen des Parameterwertes der Trinkwasserverordnung (15 µg/l) sind im Wesentlichen auf Einzelfälle bzw. lokal beschränkt.

Der Bericht und die Karte 1:500.000 sind auf der Homepage des BMNT verfügbar: Wasser > Wasserqualität und Gewässerschutz > Grundwasser > [Urangehalte im Grundwasser - Bericht und Karte](#)

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2015): WEMHÖNER, U.; HUMER, F.; SCHUBERT, G.; BERKA, R. PHILIPPITSCH, R. & HÖRHAN, TH.: Uran in Grundwässern Österreichs. Bericht und Karte

1:500.000. Umweltbundesamt, Wien. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. 60 S.

Bis Herbst 2019 sollen im DaFNE-Forschungsprojekt Nr. 101204 „Uran im Grundwasser“ die derzeit noch offenen Fragen hinsichtlich geogener bzw. anthropogener Herkunft von Uran im Grundwasser geklärt werden und abgeschätzt werden, ob bzw. wo in Österreich Verhältnisse vorherrschen, die den Eintrag von Uran ins Grundwasser begünstigen.

14 GLOSSAR

Gramm (g) pro Liter (l) , Milligramm (mg), Mikrogramm (µg) und Nanogramm (ng)

1 g/l = 1.000 mg/l

1 mg/l = 1.000 µg/l

1 µg/l = 1.000 ng/l

Aerob: sauerstoffabhängig oder Sauerstoff verbrauchend.

Ausreißer: bezeichnet in der Statistik jene Beobachtungswerte, die nicht in eine erhobene Messreihe passen, also den Erwartungen widersprechen.

Bestimmungsgrenze bezeichnet ein festgelegtes Vielfaches der Nachweisgrenze bei einer Konzentration des Analyten, die mit einem akzeptablen Maß an Richtigkeit und Genauigkeit bestimmt werden kann. Die Bestimmungsgrenze kann mithilfe eines geeigneten Standards oder einer Probe berechnet und anhand des untersten Kalibrierpunkts auf der Kalibrierkurve ohne Leerprobe bestimmt werden (QZV Chemie Grundwasser).

Grundwasserkörper: ist ein abgegrenztes Grundwasservolumen innerhalb einer oder mehrerer Grundwasserleiter (Wasserrahmenrichtlinie)

Grundwasserleiter: ist eine unter der Oberfläche liegende Schicht oder Schichten von Felsen oder anderen geologischen Formationen mit hinreichender Porosität und Permeabilität, so dass entweder ein nennenswerter Grundwasserstrom oder die Entnahme erheblicher Grundwassermengen möglich ist (Wasserrahmenrichtlinie).

Ionenbilanz: nach der Analyse einer Wasserprobe getrennte Aufsummierung der Äquivalentkonzentrationen der hauptsächlichen Kationen eq⁺ und Anionen eq⁻ (in mmol/l) und Vergleich dieser beiden Summen. Die Ionenbilanz dient im Wesentlichen zur Kontrolle der Analyse der ionischen Hauptbestandteile.

Nachweisgrenze: ist das Messsignal oder der Konzentrationswert, ab dem man bei einem festgelegten Vertrauensniveau aussagen kann, dass sich eine Probe von einer Leerprobe, die den zu bestimmenden Analyten nicht enthält, unterscheidet (QZV Chemie Grundwasser).

Oxisch: Sauerstoff enthaltend.

15 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Einflussfaktoren auf die Messtellen.....	30
Tabelle 2: Geologische Klassen und ihre Messstellenanzahl.....	39
Tabelle 3: Ausgewählte Parameter zur Ableitung von Hintergrundwerten.....	42
Tabelle 4: Anzahl der erhobenen Datenpunkte je Parameter und Datensatz.....	44
Tabelle 5: Datenumfang nach Datenaufbereitung und -Prüfung.....	46
Tabelle 6: Interpretation des Trendparameters „Kendall’s tau“ (unter der Voraussetzung der Trend ist signifikant).....	48
Tabelle 7: Parameterspezifischer Datenumfang Für die HintergrundBeurteilung (Messwert = Messstellen-Median).....	59
Tabelle 8: Parameterspezifische Ergebnisse der Trendauswertung.....	64
Tabelle 9: Elektrische Leitfähigkeit – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	66
Tabelle 10: pH-Wert – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	69
Tabelle 11: Calcium - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	75
Tabelle 12: Chlor - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	79
Tabelle 13: Chlorid – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	80
Tabelle 14: Kohlenstoff - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	83
Tabelle 15: Kalium - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	87
Tabelle 16: Magnesium - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	91
Tabelle 17: Natrium - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	94
Tabelle 18: Natrium – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	95
Tabelle 19: Schwefel - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	98
Tabelle 20: Sulfat – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	99
Tabelle 21: Eisen - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	102
Tabelle 22: Eisen – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	103
Tabelle 23: Mangan - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	106
Tabelle 24: Mangan – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	107
Tabelle 25: Stickstoff - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	109
Tabelle 26: Ammonium – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	110
Tabelle 27: Phosphor - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	116
Tabelle 28: Phosphat (PO ₄) – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	117
Tabelle 29: Schwefel - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	120
Tabelle 30: Aluminium – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	121
Tabelle 31: - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	123
Tabelle 32: Arsen – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	124
Tabelle 33: Blei - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	127
Tabelle 34: Blei – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	128
Tabelle 35: Chrom - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	131
Tabelle 36: Chrom – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	131
Tabelle 37: Bor - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthes 1973).....	134
Tabelle 38: Bor – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	135

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 39: Cadmium - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthess 1973)	137
Tabelle 40: Cadmium – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich	138
Tabelle 41: Nickel - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthess 1973).....	140
Tabelle 42: Nickel – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich	141
Tabelle 43: Kupfer - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthess 1973).....	143
Tabelle 44: Kupfer – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich	144
Tabelle 45: Quecksilber - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthess 1973)	147
Tabelle 46: Quecksilber – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	148
Tabelle 47: Uran - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthess 1973).....	149
Tabelle 48: Uran – Prüfwerte für Grund- und Trinkwasser in Österreich.....	150
Tabelle 49: Zink - Mittlere Zusammensetzung von Gesteinen und von Meerwasser (aus Matthess 1973).....	153

16 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Projektteam (v.l.n.r.): Christina Schartner, Heike Brielmann, Johannes Grath, Rudolf Philippitsch, Thomas Rosmann, Franko Humer, Gerhard Schubert, Philipp Legerer.....	4
Abbildung 2: Hallstätter See, Oberösterreich.....	7
Abbildung 3: Rheinmündung bei Bregenz, Vorarlberg.....	14
Abbildung 4: Einflüsse auf die Grundwasserbeschaffenheit (verändert nach LfU 2001).	16
Abbildung 5: Dohlenkrebse im Gitschtal, Kärnten.	16
Abbildung 6: Maltawasserfall, Kärnten	24
Abbildung 7: Kriterien zur Vorauswahl von Grundwassermessstellen (KUNKEL et al. 2004, MÜLLER et al. 2006).....	27
Abbildung 8: Karstquelle im Freilichtmuseum Winden (Wander Bertoni)	28
Abbildung 9: Karte mit Regionen nach Belastung und nicht belasteten Regionen.	31
Abbildung 10: Bodinggraben, Oberösterreich.....	32
Abbildung 11: Innerhalb eines Grundwasserkörpers oder einer Gruppe von Grundwasserkörpern treten oftmals verschiedene geologische Einheiten mit unterschiedlichen geochemischen Eigenschaften auf. Das Bild zeigt als Beispiel blau umrissen den Grundwasserkörper GK100189 – Nördliche Kalkalpen [DUJ], der verschiedene geologische Einheiten umfasst, wie der Legende zu entnehmen ist (diese beschränkt sich auf die kalkalpinen Schichtglieder; in Klammer ist die geologische Klasse angegeben).	33
Abbildung 12: Geologische Einheiten treten oftmals nicht nur in einem Grundwasserkörper (oder in einer Gruppe von Grundwasserkörpern) auf, sondern erstrecken sich häufig über mehrere Grundwasserkörper. Ein anschauliches Beispiel dafür liefert der Hauptdolomit (im Bild grau ausgeschieden), der in sämtlichen Grundwasserkörpern der Nördlichen Kalkalpen weit verbreitet ist, sowie auch in vielen Grundwasserkörpern der Zentralzone auftritt.....	34
Abbildung 13: Beispiele für zwei von 2.761 erstellten geologischen Lagepläne zu den GZÜV-Messstellen; oben ist eine Grundwassermessstelle, unten eine Quellmessstelle dargestellt. Die wesentlichen Schichtglieder des Einzugsgebietes werden in der Geodatabase „Bewertung_GZUeV_Mst.mdb“ aufgezählt (LEGERER et al. 2016).	35
Abbildung 14: Übersicht zu den geologischen Klassen des Quartärs; die Namen der Klassen sind in Tabelle 2 aufgelistet.	37
Abbildung 15: Übersicht zu den geologischen Klassen des Präquartärs; die Namen der Klassen sind in Tabelle 2 aufgelistet.	38
Abbildung 16: Sulfatkonzentrationen an der GZÜV-Messstelle PG32500102 im Zeitraum 1997–2017. Die Klassifizierung des Mann-Kendall-Test-Ergebnisses ergibt mit $\tau = -0,55$ und $p = 0$ einen fallenden Trend. Die Steigung der Akritas-Theil-Sen-Linie beträgt $-0,95$ und der Achsenabschnitt $1917,4$	48
Abbildung 17: Box-Whisker-Plot und Maßzahlen statistischer Häufigkeitsverteilungen.....	49
Abbildung 18: Beispiele für Häufigkeitsverteilungen. Normalverteilung (links), Lognormalverteilung (Mitte) und mehrgipfelige Häufigkeitsverteilung (rechts).....	51
Abbildung 19: Bearbeitung von Häufigkeitsverteilungen im Wahrscheinlichkeitsnetz (nach KÖLLE 2017).	51
Abbildung 20: Prüfung der Messdaten für Kupfer der Geologischen Klasse C13 auf Normal-bzw. Lognormalverteilung im Wahrscheinlichkeitsnetz. Die rote senkrechte Linie markiert die maximale Bestimmungsgrenze des Parameters, die schwarze Linie den Idealverlauf der Messwerte bei der zugrunde gelegten statistischen Verteilung, die gestrichelten grauen Linien das entsprechende Konfidenzintervall (Signifikanzniveau $\alpha = 0,025$).	52
Abbildung 21: Bodensee, Nassfeld, Kärnten	56
Abbildung 22: Plöcken, Obere Spielbodenalm, Karnische Alpen, Kärnten.....	58
Abbildung 23: Sulfatkonzentrationen in der Geologischen Klasse C02 – „Quartäre Sedimente - Niederterrassen und Talflur der Donau, Eferdinger Becken bis Tullnerfeld“. Die Grenzen der Grundwasserkörper Eferdinger Becken, Machland und Tullnerfeld sind in Rot hervorgehoben. Die geologische Klasse beinhaltet Anteile sechs weiterer Grundwasserkörper.....	60
Abbildung 24: Urankonzentrationen in der Geologischen Klasse C05 – „Quartäre Sedimente – Sedimente der Donau unterhalb Korneuburg inklusive Marchfeld“. Die Grenzen der Grundwasserkörper Marchfeld und Seewinkel sind in Rot hervorgehoben. Die geologische Klasse beinhaltet Anteile fünf weiterer Grundwasserkörper.	61

Abbildung 25: Arsenkonzentrationen in der Geologischen Klasse C06 – „Quartäre Sedimente - lokale Talfüllungen, Schwemmkegel und Terrassen auf Sedimenten des Neogens“. Die Grenzen der Grundwasserkörper Weinviertel [DUJ] und [MAR], Raabtal und Lafnitztal sind in Rot hervorgehoben. Die geologische Klasse beinhaltet noch Anteile sechs weiterer Grundwasserkörper.	62
Abbildung 26: Ergebnisse der messstellenspezifischen Trendbeurteilung für die untersuchten Parameter. Für jede Messstelle und den entsprechenden Parameter lagen mindestens jeweils zwei Werte aus sechs aufeinanderfolgenden Jahren vor. Der Anteil der Messwerte je Parameter und Zeitreihe unter der Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenze durfte nicht größer als 60% je Messstelle sein.	63
Abbildung 27: Boxplot-Darstellung der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, ist die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt.	67
Abbildung 28: Eis am Fluss	67
Abbildung 29: Elektrische Leitfähigkeit – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	68
Abbildung 30: Boxplot-Darstellung der Verteilung des pH-Wertes in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt.	70
Abbildung 31: Bodenaufbau bei Obersiebenbrunn, Marchfeld, Niederösterreich	70
Abbildung 32: PH-Werte – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	71
Abbildung 33: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Sauerstoffkonzentrationen in den geologischen Klassen. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	73
Abbildung 34: Sauerstoff – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	74
Abbildung 35: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Calciumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt.	76
Abbildung 36: Karst in Oberösterreich, Totes Gebirge (Nördliche Kalkalpen)	77
Abbildung 37: Calcium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	78
Abbildung 38: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Chloridkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	81
Abbildung 39: Garnitzenklamm bei Hermagor, Karnische Alpen, Kärnten	81
Abbildung 40: Chlorid – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	82
Abbildung 41: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Hydrogenkarbonatkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt.	84
Abbildung 42: Oselitzenbach bei Tröpolach, Karnische Alpen, Kärnten	85
Abbildung 43: Hydrogenkarbonat – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich....	86
Abbildung 44: Boxplot-Darstellung der Verteilung Kaliumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	88
Abbildung 45: Garnitzenklamm bei Hermagor, Karnische Alpen, Kärnten	89
Abbildung 46: Kalium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich.....	90
Abbildung 47: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Magnesiumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form	

blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	92
Abbildung 48: Magnesium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich.....	93
Abbildung 49: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Natriumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	95
Abbildung 50: Zusammenfluss von Steyr und Enns bei Stadt Steyr in Oberösterreich	96
Abbildung 51: Natrium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	97
Abbildung 52: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Sulfatkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	100
Abbildung 53: Fischeaufstiegshilfe in Steyr, Oberösterreich	100
Abbildung 54: Sulfat – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	101
Abbildung 55: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Eisenkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	103
Abbildung 56: Wasseraustritt in der Lamprechtsofenhöhle in den Leoganger Steinbergen, Salzburg	104
Abbildung 57: Eisen – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich.....	105
Abbildung 58: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Mangankonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	107
Abbildung 59: Mangan – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	108
Abbildung 60: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Nitritkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	111
Abbildung 61: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Ammoniumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	112
Abbildung 62: Prüfung der Messdaten für Nitrat der als „unbeeinflusst“ definierten Messstellen auf Normal- bzw. Lognormalverteilung im Wahrscheinlichkeitsnetz. Die rote senkrechte Linie markiert die maximale Bestimmungsgrenze des Parameters, die schwarze Linie den Idealverlauf der Messwerte bei der zugrunde gelegten statistischen Verteilung, die gestrichelten grauen Linien das entsprechende Konfidenzintervall (Signifikanzniveau $\alpha=0,025$). Sechs der 141 Messstellen als „unbeeinflusst“ definierten Messstellen weichen deutlich von der angenommenen Lognormalverteilung ab.	113
Abbildung 63: Biologische Nitratentfernungsanlage der EVN, Obersiebenbrunn im Marchfeld, Niederösterreich	113
Abbildung 64: Nitrit – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich.....	114
Abbildung 65: Ammonium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	115

Abbildung 66: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Phosphatkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	117
Abbildung 67: Kiesgrube mit Sedimentschichtung im Marchfeld bei Obersiebenbrunn-, Niederösterreich	118
Abbildung 68: Phosphat – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich.....	119
Abbildung 69: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Aluminiumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	121
Abbildung 70: Aluminium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	122
Abbildung 71: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Arsenkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	124
Abbildung 72: Arsenkieskristalle in einem Feldspat-Quarzganggestein, polierter Gesteinsanschliff, Gailtalkristallin/Kärnten (Bildbreite: 5 cm)	125
Abbildung 73: Arsen – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	126
Abbildung 74: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Bleikonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	128
Abbildung 75: Sinterspuren in der Dachstein-Mammut-Höhle der Nördlichen Kalkalpen , Oberösterreich	129
Abbildung 76: Blei – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich.....	130
Abbildung 77: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Chromkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	132
Abbildung 78: Chrom – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	133
Abbildung 79: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Borkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	135
Abbildung 80: Bor – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	136
Abbildung 81: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Cadmiumkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression ermittelt.....	138
Abbildung 82: Cadmium – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich.....	139
Abbildung 83: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Nickelkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie	

widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	141
Abbildung 84: Nickel – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	142
Abbildung 85: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Kupferkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	144
Abbildung 86: Sonnenaufgang am Lauterachbach, Kärnten	145
Abbildung 87: Kupfer – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	146
Abbildung 88: Wasserspiegelung im Bodensee/Nassfeld, Kärnten	148
Abbildung 89: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Urankonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	150
Abbildung 90: Ziehbrunnen im Seewinkel, Burgenland	151
Abbildung 91: Uran – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	152
Abbildung 92: Boxplot-Darstellung der Verteilung der Zinkkonzentrationen in den geologischen Klassen. Von der Hintergrundpopulation ausgeschlossene Datenpunkte sind als rote Punkte dargestellt. Ist die Datenbasis für die Boxplot-Darstellung unzureichend, wird die Hintergrundpopulation in Form blauer Datenpunkte dargestellt. Die maximale Bestimmungsgrenze ist als rote, gestrichelte Linie widergegeben. Der Wertebereich der Boxplots unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde mittels robuster Regression geschätzt.	154
Abbildung 93: Kluftquelle am Erzberg, Steiermark	155
Abbildung 94: Zink – Hintergrundwerte der oberflächennahen Grundwässer in Österreich	156
Abbildung 95: Krumme Steyr, Oberösterreich	158

17 KONTAKTINFORMATIONEN ZU DEN AUTORINNEN UND WEITEREN MITARBEITERINNEN

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus

Abteilung I/3: Nationale und internationale Wasserwirtschaft

Postanschrift: Stubenring 1, 1010 Wien

Besuchsadresse: Marxergasse 2, 1030 Wien

E-Mail: service@bmnt.gv.at

Tel.: +43-1-71100-7130

Dr. Rudolf Philippitsch

Tel.: +43-1-71100- 607118; rudolf.philippitsch@bmnt.gv.at

Umweltbundesamt

Spittelauer Lände 5, 1090 Wien

E-Mail: office@umweltbundesamt.at

Tel.: +43-1-31304

Dr.ⁱⁿ Heike Brielmann

Tel.: +43-1-31304-3546; heike.brielmann@umweltbundesamt.at

DI Johannes Grath

Tel.: +43-1-31304-3510; johannes.grath@umweltbundesamt.at

Mag. Franko Humer

Tel.: +43-1-31304-3470; franko.humer@umweltbundesamt.at

DI (FH) Thomas Rosmann

Tel.: +43-1-31304-3591; thomas.rosmann@umweltbundesamt.at

Mag.^{ra} Christina Schartner

Tel.: +43-1-31304-3523; christina.schartner@umweltbundesamt.at

DI Andreas Scheidleder

Tel.: +43-1-31304- 3541; andreas.scheidleder@umweltbundesamt.at

Dipl. Geoök.in Uta Wemhöner

Tel.: +43-1-31304-3592; uta.wemhoener@umweltbundesamt.at

Ing.ⁱⁿ Irene Zieritz

Tel.: +43-1-31304-3163; irene.zieritz@umweltbundesamt.at

Elisabeth Stadler

Tel.: +43-1-31304-3544; elisabeth.stadler@umweltbundesamt.at

Geologische Bundesanstalt

Abteilung Hydrogeologie und Geothermie

Neulinggasse 38, 1030 Wien

E-Mail: office@geologie.ac.at

Tel.: +43-1-7125674

DI Philipp Legerer

Tel.: +43-1-7125674-330; philipp.legerer@geologie.ac.at

Dr. Gerhard Schubert

Tel.: +43-1-7125674-331; gerhard.schubert@geologie.ac.at

