

# BERICHT ZUR GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT IM LAND BRANDENBURG 2013 – 2018



GEWÄSSERSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT



# Impressum

## Herausgeber

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK)  
des Landes Brandenburg  
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Henning-von-Tresckow-Str. 2 – 13, Haus S, 14467 Potsdam  
Telefon: +49 (0) 331 866-7237  
E-Mail: [bestellung@mluk.brandenburg.de](mailto:bestellung@mluk.brandenburg.de)  
Internet: [mluk.brandenburg.de](http://mluk.brandenburg.de)

## Redaktion

Landesamt für Umwelt (LfU) Brandenburg  
Abteilung W1, Referat Altlasten, Bodenschutz, Grundwassergüte  
Seeburger Chaussee 2, 14476 Potsdam  
Telefon +49 (0) 33201 – 442-0  
E-Mail: [infoline@lfu.brandenburg.de](mailto:infoline@lfu.brandenburg.de)  
Internet: [lfu.brandenburg.de](http://lfu.brandenburg.de)

Diese Veröffentlichung basiert auf dem vom LfU beauftragten internen Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit im Land Brandenburg 2013 – 2018 der Firma GCI GmbH, Bahnhofstr. 19, 15711 Königs Wusterhausen.  
Bearbeiter: Florian Jenn, Silvia Dinse, Franziska Gebhard, Anett Hecht, Konstantin Senkpiel, Patrick Wieder, Jens Wunderlich-Pfeiffer

## Titelbild

Grundwassermessstelle in der Prignitz, F. Pohl, 2018

## Satz

Satzweiß.com Print Web Software GmbH

Diese Veröffentlichung ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf nicht für Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Unabhängig davon, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Broschüre dem Empfänger zugegangen ist, darf sie, auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl, nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

*Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers*

Potsdam, April 2024

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> . . . . .	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> . . . . .	<b>11</b>
<b>0 Zusammenfassung</b> . . . . .	<b>13</b>
<b>1 Einleitung</b> . . . . .	<b>14</b>
<b>2 Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit in Brandenburg</b> . . . . .	<b>15</b>
2.1 LfU-Monitoring Grundwasserbeschaffenheit . . . . .	15
2.1.1 Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit A . . . . .	15
2.1.2 Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit B . . . . .	15
2.1.3 Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	15
2.1.4 Zusammenfassung der Monitoringprogramme . . . . .	15
2.2 Berichtspflichten des LfU . . . . .	17
2.2.1 Berichtspflicht EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) . . . . .	17
2.2.2 Berichtspflicht an die Europäische Umweltagentur (EUA) . . . . .	17
2.2.3 Berichtspflichten Pflanzenschutzmittel an das UBA und das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) . . . . .	17
2.2.4 Berichtspflicht Düngeverordnung (DüV). . . . .	17
<b>3 Naturräumliche und hydrogeologische Charakterisierung</b> . . . . .	<b>18</b>
3.1 Landschaftsgenese . . . . .	18
3.2 Hydrodynamik . . . . .	18
3.3 Flurabstand und Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone . . . . .	18
3.4 Niederschlag . . . . .	22
3.5 Grundwasserneubildung . . . . .	24
3.6 Grundwasserstände . . . . .	25
3.7 Flächennutzung . . . . .	26
<b>4 Datengrundlagen, Datenbearbeitung und Prüfung der Analyseergebnisse</b> . . . . .	<b>27</b>
4.1 Datengrundlagen . . . . .	27
4.2 Datenbearbeitung . . . . .	27
4.3 Plausibilitätsprüfung . . . . .	28
4.4 Behandlung der Bestimmungsgrenzen . . . . .	30
4.5 Berechnung von Summenparametern und Mittelwerten . . . . .	30
<b>5 Beeinflussungstypen der Grundwasserbeschaffenheit</b> . . . . .	<b>31</b>
5.1 Einführung . . . . .	31
5.2 Methodik . . . . .	31
<b>6 Methodik der statistischen Auswertungen</b> . . . . .	<b>35</b>
6.1 Statistische Kennwerte . . . . .	35
6.2 Überschreitungen von Beurteilungswerten . . . . .	35
6.3 Häufigkeitsverteilungen . . . . .	35
6.4 Spannweitendiagramme . . . . .	36
6.5 Statistische Trendanalyse . . . . .	36
6.6 Darstellung der Beschaffenheitsprofile . . . . .	37
<b>7 Ergebnisse je Parameter</b> . . . . .	<b>39</b>
7.1 Vor-Ort-Parameter . . . . .	39
7.1.1 Elektrische Leitfähigkeit . . . . .	39
7.1.2 pH-Wert . . . . .	42
7.1.3 Sauerstoff und Redoxpotential . . . . .	45
7.2 Hauptinhaltsstoffe . . . . .	49
7.2.1 Chlorid . . . . .	49
7.2.2 Sulfat . . . . .	52
7.2.3 Stickstoff (Ammonium, Nitrat, Nitrit) . . . . .	55

7.2.4	Gesamtphosphor und ortho-Phosphat . . . . .	61
7.2.5	Hydrogenkarbonat . . . . .	66
7.2.6	Calcium. . . . .	69
7.2.7	Magnesium . . . . .	72
7.2.8	Natrium . . . . .	75
7.2.9	Kalium . . . . .	78
7.3	Metalle und Halbmetalle. . . . .	81
7.3.1	Eisen . . . . .	81
7.3.2	Mangan . . . . .	84
7.3.3	Aluminium. . . . .	87
7.3.4	Uran. . . . .	89
7.3.5	Arsen . . . . .	90
7.3.6	Blei . . . . .	91
7.3.7	Bor. . . . .	92
7.4	Organische Schadstoffe . . . . .	93
7.4.1	Pflanzenschutzmittel und deren Metaboliten . . . . .	93
7.4.2	Arzneistoffe . . . . .	97
7.4.3	Kohlenwasserstoffe . . . . .	99
7.5	Weitere Parameter. . . . .	101
<b>8</b>	<b>Parameterübergreifende Ergebnisse . . . . .</b>	<b>103</b>
8.1	Ionenzusammensetzung und Gesamtmineralisation . . . . .	103
8.2	Überschreitungen von Beurteilungswerten. . . . .	106
8.3	Trendbewertungen . . . . .	107
8.4	Hydrochemischer Vergleich von Mehrfachmessstellen. . . . .	109
	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis . . . . .</b>	<b>111</b>
	<b>Anhang. . . . .</b>	<b>114</b>
Anhang 1	Übersicht der in den einzelnen Auswertungen betrachteten Parameter . . . . .	114
Anhang 2	Beurteilungswerte und Hintergrundwerte (HGW) nach HÜK200. . . . .	118
Anhang 3	Versauerungskriterien nach Merten für die Beeinflussungstypen . . . . .	119
Anhang 4	Kennwerttabellen . . . . .	120
Anhang 4.1	Ammonium . . . . .	120
Anhang 4.2	Chlorid . . . . .	121
Anhang 4.3	Leitfähigkeit PN (25°C) . . . . .	122
Anhang 4.4	Nitrat . . . . .	123
Anhang 4.5	Sauerstoff . . . . .	124
Anhang 4.6	Sulfat . . . . .	125
Anhang 5	Übersicht der untersuchten PSM-Wirkstoffe, relevanten und nicht relevanten Metaboliten. . . . .	126
Anhang 6	Übersicht der in den einzelnen Auswertungen betrachteten Parameter . . . . .	128
Anhang 7	Informationen zu den untersuchten Arzneistoffen (Reddersen 2004; LAU Sachsen-Anhalt 2006; Licha 2011) . . . . .	131
Anhang 8	Zusammenfassung Trendergebnisse GWLK 1–3 . . . . .	132
Anhang 9	Gesamtmineralisation GWLK 2–3 . . . . .	134

# Abkürzungsverzeichnis

AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogenverbindungen
AVV GeA	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten
BbgWG	Brandenburgisches Wassergesetz
BG	analytische Bestimmungsgrenze
BTEX	aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol)
BÜK300	Bodenübersichtskarte
BW	Beurteilungswert
BWP	Bewirtschaftungsplan
CLC	Corine Land Cover
DFBK	digitales Feldblockkataster
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff
DWD	Deutscher Wetterdienst
EUA	Europäische Umweltagentur
FOK	Filteroberkante
GFS	Geringfügigkeitsschwellenwert LAWA (2016)
GOK	Geländeoberkante
GOW	gesundheitlicher Orientierungswert
GrwV	Grundwasserverordnung
GWLK	Grundwasserleiterkomplex
GWRL	Grundwasserrichtlinie
HÜK200	Hydrogeologische Übersichtskarte 1 : 200.000
KDE	Kernel Density Estimation (Kerndichte-Schätzung) einer Verteilungsfunktion
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LfU	Landesamt für Umwelt Brandenburg
LHKW	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
LMBV	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
MePro	Messprogramm
MHM	Montanhydrologisches Monitoring der LMBV
MKZ	Messstellenkennzahl
MP	Mittelpegel einer Grundwassermessstelle
Mst.	Messstellen
N	Stichprobenumfang, Anzahl
NHN	Normalhöhennull
OP	Oberpegel einer Grundwassermessstelle
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PCE	Tetrachlorethen
PSM	Pflanzenschutzmittel
PW	Prüfwert
QS-Klasse	Qualitätssicherungsklasse
SW	Schwellenwert
TCE	Trichlorethen
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UBA	Umweltbundesamt
UP	Unterpegel einer Grundwassermessstelle
WRRRL	EG-Wasserrahmenrichtlinie
$\mu$	Mittelwert einer Verteilungsfunktion
$\sigma$	Standardabweichung einer Verteilungsfunktion
$\Sigma$	Summe

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Karte der Messstellen in den Messnetzen Landesmessnetz A und B sowie dem Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . .16
Abb. 3.1	Landschaftsformen Brandenburgs (abgeleitet aus Stackebrandt et al. (2010)) . . . . .19
Abb. 3.2	Grundwassergleichenplan und Grundwasserscheiden Frühjahr 2015 . . . . .20
Abb. 3.3	Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone , Frühjahr 2013 . . . . .21
Abb. 3.4	Abweichungen der jährlichen Niederschlagshöhen für Brandenburg vom langjährigen Mittel der Reihe 1999–2018 (Prozent) . . . . .22
Abb. 3.5	Monatssummen der Niederschläge im Zeitraum 1999–2018 für drei Referenzstationen . . . . .22
Abb. 3.6	Räumliche Verteilung des Niederschlags (mm/a), Mittelwert der Zeitreihe 1986–2015 (LfU Brandenburg 2019) . . .23
Abb. 3.7	Räumliche Verteilung der Grundwasserneubildung, Mittelwert der Zeitreihe 1986–2015 (LfU Brandenburg 2019) . .24
Abb. 3.8	Messstelle im Nuthe-Urstromtal (MKZ 39451179): Ganglinie der Grundwasserstände und Jahressummen des Niederschlags 1973–2018. . . . .25
Abb. 3.9	Messstelle im Fläming-Hügelland (MKZ 40441090): Ganglinie der Grundwasserstände und Jahressummen des Niederschlags 1973–2018. . . . .26
Abb. 3.10	Übersicht der Flächennutzung in Brandenburg in Prozent . . . . .26
Abb. 4.1	Anzahl und Anteil der Messstellen in den Grundwasserleiterkomplexen (GWLK) . . . . .27
Abb. 4.2	Anzahl und Anteil der Messstellen in den generalisierten Landschaftsformen . . . . .28
Abb. 4.3	Anzahl und Anteil der Messstellen in den aggregierten Flächennutzungen . . . . .28
Abb. 4.4	Karte der Messstellen mit Angabe des Grundwasserleiterkomplexes. . . . .29
Abb. 4.5	Häufigkeitsverteilungen des Ionenbilanzfehlers aller im Rahmen des Projekts geprüften Analysen ( $N_{ana}$ = Anzahl Analysen) ; PK-3.1 bezeichnet die Plausibilitätskontrolle der Analyse. . . . .30
Abb. 5.1	Klassifikationsschema der multiplen Beeinflussungstypen . . . . .32
Abb. 5.2	Anzahl und Anteil der Typzuweisungen für jede Messstelle. . . . .33
Abb. 5.3	Anteile der Messstellen in den einzelnen Beeinflussungstypen . . . . .34
Abb. 6.1	Beispiel für eine Häufigkeitsverteilung . . . . .36
Abb. 6.2	Grundprinzip der Boxplot-Darstellung (QA= Quartilsabstand) . . . . .36
Abb. 6.3	Erläuterung der einzelnen Diagramminhalte der Abbildungen zur Auswertung von Mehrfachmessstellen . . . . .38
Abb. 7.2	Spannweitendiagramme der elektrischen Leitfähigkeiten im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage (ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau) . . . . .40
Abb. 7.3	Spannweitendiagramme der elektrischen Leitfähigkeiten, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK) (ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau). . . . .40
Abb. 7.4	Übersichtskarte der elektrischen Leitfähigkeiten im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze. . . . .41
Abb. 7.5	Häufigkeitsverteilung der pH-Werte im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .42

Abb. 7.6	Spannweitendiagramme der pH-Werte im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	43
Abb. 7.7	Spannweitendiagramme der pH-Werte, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	43
Abb. 7.8	Übersichtskarte der pH-Werte im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze. . . . .	44
Abb. 7.9	Häufigkeitsverteilung der Sauerstoff-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	45
Abb. 7.10	Spannweitendiagramme der Sauerstoff-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	46
Abb. 7.11	Spannweitendiagramme der Redoxpotentiale im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	46
Abb. 7.12	Spannweitendiagramme der Sauerstoff-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	47
Abb. 7.13	Übersichtskarte der Sauerstoff-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze. . . . .	48
Abb. 7.14	Häufigkeitsverteilung der Chlorid-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	49
Abb. 7.15	Spannweitendiagramme der Chlorid-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	50
Abb. 7.16	Spannweitendiagramme der Chlorid-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	50
Abb. 7.17	Übersichtskarte der Chlorid-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze. . . . .	51
Abb. 7.18	Häufigkeitsverteilung der Sulfat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	52
Abb. 7.19	Spannweitendiagramme der Sulfat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	53
Abb. 7.20	Spannweitendiagramme der Sulfat-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	53
Abb. 7.21	Übersichtskarte der Sulfat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze. . . . .	54
Abb. 7.22	Häufigkeitsverteilung der Ammonium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	55
Abb. 7.23	Häufigkeitsverteilung der Nitrat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	56
Abb. 7.24	Spannweitendiagramme der Ammonium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	57
Abb. 7.25	Spannweitendiagramme der Nitrat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	57
Abb. 7.26	Spannweitendiagramme der Ammonium-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	58
Abb. 7.27	Spannweitendiagramme der Nitrat-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	58
Abb. 7.28	Übersichtskarte der Ammonium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze. . . . .	59
Abb. 7.29	Übersichtskarte der Nitrat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze. . . . .	60
Abb. 7.30	Häufigkeitsverteilung der Gesamtphosphor-Konzentrationen (in mg(PO <sub>4</sub> )/l) im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	61

Abb. 7.31	Häufigkeitsverteilung der ortho-Phosphat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	.61
Abb. 7.32	Spannweitendiagramme der Gesamtphosphor-Konzentrationen (in mg(PO <sub>4</sub> )/l) im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.63
Abb. 7.33	Spannweitendiagramme der ortho-Phosphat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.63
Abb. 7.34	Spannweitendiagramme der Gesamtphosphor-Konzentrationen (in mg(PO <sub>4</sub> )/l), untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.64
Abb. 7.35	Spannweitendiagramme der ortho-Phosphat-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.64
Abb. 7.36	Übersichtskarte der ortho-Phosphat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze . . . . .	.65
Abb. 7.37	Häufigkeitsverteilung der Hydrogenkarbonat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	.66
Abb. 7.38	Spannweitendiagramme der Hydrogenkarbonat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage (ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau) . . . . .	.67
Abb. 7.39	Spannweitendiagramme der Hydrogenkarbonat-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	.67
Abb. 7.40	Übersichtskarte der Hydrogenkarbonat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze . . . . .	.68
Abb. 7.41	Häufigkeitsverteilung der Calcium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	.69
Abb. 7.42	Spannweitendiagramme der Calcium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.70
Abb. 7.43	Spannweitendiagramme der Calcium-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.70
Abb. 7.44	Übersichtskarte der Calcium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze . . . . .	.71
Abb. 7.45	Häufigkeitsverteilung der Magnesium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.72
Abb. 7.46	Spannweitendiagramme der Magnesium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.73
Abb. 7.47	Spannweitendiagramme der Magnesium-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau) . . . . .	.73
Abb. 7.48	Übersichtskarte der Magnesium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze. . . . .	.74
Abb. 7.49	Häufigkeitsverteilung der Natrium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	.75
Abb. 7.50:	Spannweitendiagramme der Natrium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.76
Abb. 7.51	Spannweitendiagramme der Natrium-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.76
Abb. 7.52	Übersichtskarte der Natrium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze . . . . .	.77
Abb. 7.53	Häufigkeitsverteilung der Kalium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	.78
Abb. 7.54	Spannweitendiagramme der Kalium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.79

Abb. 7.55:	Spannweitendiagramme der Kalium-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	79
Abb. 7.56	Übersichtskarte der Kalium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze . . . . .	80
Abb. 7.57	Häufigkeitsverteilung der Eisen-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	81
Abb. 7.58	Spannweitendiagramme der Eisen-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	82
Abb. 7.59	Spannweitendiagramme der Eisen gelöst-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	82
Abb. 7.60	Übersichtskarte der Eisen-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze . . . . .	83
Abb. 7.61	Häufigkeitsverteilung der Mangan-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	84
Abb. 7.62	Spannweitendiagramme der Mangan-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	85
Abb. 7.63	Spannweitendiagramme der Mangan-gelöst-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	85
Abb. 7.64	Übersichtskarte der Mangan-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze . . . . .	86
Abb. 7.65	Häufigkeitsverteilung der Aluminium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	87
Abb. 7.66	Übersichtskarte der Aluminium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze . . . . .	88
Abb. 7.67	Häufigkeitsverteilung der Uran-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	89
Abb. 7.68	Häufigkeitsverteilung der Arsen-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	90
Abb. 7.69	Häufigkeitsverteilung der Blei-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	91
Abb. 7.70	Häufigkeitsverteilung der Bor-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	92
Abb. 7.71	Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten für Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe, relevante und nicht relevante Metaboliten (kursiv) für Messstellen in allen 3 Grundwasserleiterkomplexen .Grau: Messwert unter Bestimmungsgrenze ( $M_w < B_G$ ), grün: Messwert zwischen Bestimmungsgrenze und 0,75-fachem Beurteilungswert ( $B_G < M_w < 0,75 * B_W$ ), gelb: Messwert zwischen Warnwert und Beurteilungswert ( $0,75 * B_W < M_w < B_W$ ), rot: Messwert über Beurteilungswert ( $M_w > B_W$ ). $N_{ana}$ = Anzahl Analysen, $N_{Mw}$ = Anzahl Messwerte, alle Messnetze . . . . .	93
Abb. 7.72	Messstellen mit mindestens einem Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff (W) oder relevanten Metaboliten (rM) mit mindestens zwei Nachweisen über Bestimmungsgrenze und klassifizierter Darstellung der maximalen Konzentration im Berichtszeitraum, alle Messnetze . . . . .	94
Abb. 7.73	Messstellen mit mindestens einem nicht relevanten Metaboliten mit mindestens zwei Nachweisen über der Bestimmungsgrenze und klassifizierter Darstellung der maximalen Konzentration im Berichtszeitraum. Beschriftung mit nicht relevanten Metaboliten bei Messstellen mit Konzentration > GOW, alle Messnetze . . . . .	96
Abb. 7.74	Spannweiten der Nachweise > BG von Arzneistoffen im Berichtszeitraum . Nach den Parametern ist in Klammern die Anzahl der Messstellen mit Nachweisen > BG angegeben, alle Messnetze. . . . .	97
Abb. 7.75	Messstellen mit mindestens 2 Nachweisen von Arzneistoffen in den Grundwasserleiterkomplexen 1 – 3, alle Messnetze. . . . .	98
Abb. 7.76	Spannweiten der Nachweise > BG von organischen Schadstoffen im Berichtszeitraum, alle Messnetze. Konzentrationsachse für PAK oben. . . . .	99

Abb. 7.77	Messstellen mit mindestens 2 Nachweisen von organischen Schadstoffen (PCE und TCE) in den Grundwasserleiterkomplexen 1 – 3, alle Messnetze . . . . .	100
Abb. 8.1	Prozentuale Anteile an der in vier Konzentrationsklassen aufgeteilten Gesamtmineralisation für die drei Grundwasserleiterkomplexe . . . . .	103
Abb. 8.2	Ionenzusammensetzung im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze . . . . .	104
Abb. 8.3	Gesamtmineralisation im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze . . . . .	105
Abb. 8.4:	Überschreitungen von Beurteilungswerten landesweit für verschiedene vor-Ort-Parameter, Hauptinhaltsstoffe und Metalle sowie Summenparameter (MW = Messwert, <BG = kleiner Bestimmungsgrenze, BW = Beurteilungswert, SW = Schwellenwert, GfS = Geringfügigkeitsschwellenwert, PW = Prüfwert). . . . .	106
Abb. 8.5	Ergebnisse der Trendanalyse für den GWLK 1. $N_{\text{GWLK}}$ = Anzahl Messstellen im GWLK, $N_{\text{Ana}}$ = Anzahl Messstellen mit Analysen für den Parameter, $N_{\text{Tr}}$ = Anzahl Messstellen, für die eine Trendberechnung möglich war (rot = für weniger als 20 Messstellen) . . . . .	107
Abb. 8.6	Ergebnisse der Trendanalyse für den GWLK 2. $N_{\text{GWLK}}$ = Anzahl Messstellen im GWLK, $N_{\text{Ana}}$ = Anzahl Messstellen mit Analysen für den Parameter, $N_{\text{Tr}}$ = Anzahl Messstellen, für die eine Trendberechnung möglich war (rot = für weniger als 20 Messstellen) . . . . .	108
Abb. 8.7	Ergebnisse der Trendanalyse für den GWLK 3. $N_{\text{GWLK}}$ = Anzahl Messstellen im GWLK, $N_{\text{Ana}}$ = Anzahl Messstellen mit Analysen für den Parameter, $N_{\text{Tr}}$ = Anzahl Messstellen, für die eine Trendberechnung möglich war (rot = für weniger als 20 Messstellen) . . . . .	108
Abb. 8.8	Beschaffenheitsprofil einer Messstellengruppe im Bereich der ehemaligen Rieselfelder südlich Berlins mit geringen hydrochemischen Unterschieden innerhalb der Grundwasserleiterkomplexe . . . . .	109
Abb. 8.9	Beschaffenheitsprofil einer Messstellengruppe im Fläming mit markanten hydrochemischen Unterschieden innerhalb des Grundwasserleiterkomplex . . . . .	110
Abb. 8.10	Beschaffenheitsprofil einer Messstellengruppe im Bereich der ehemaligen Rieselfelder südlich Berlins mit komplexer Beschaffenheitsentwicklung innerhalb des Grundwasserleiterkomplex . . . . .	110
Abb. Anhang 6.1	Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten im GWLK 1. . . . .	128
Abb. Anhang 6.2	Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten für PSM (Wirkstoffe und Metaboliten) im GWLK 1 . . . . .	128
Abb. Anhang 6.3	Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten im GWLK 2. . . . .	129
Abb. Anhang 6.4	Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten für PSM (Wirkstoffe und Metaboliten) im GWLK 2. . . . .	129
Abb. Anhang 6.5	Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten im GWLK 3. . . . .	130
Abb. Anhang 6.6	Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten für PSM (Wirkstoffe und Metaboliten) im GWLK 3. . . . .	130
Abb. Anhang 8.1	Trendergebnisse GWLK 1 . . . . .	132
Abb. Anhang 8.2	Trendergebnisse GWLK 2 . . . . .	132
Abb. Anhang 8.3	Trendergebnisse GWLK 3 . . . . .	133
Abb. Anhang 9.1	Gesamtmineralisation im Grundwasserleiterkomplex 2, alle Messnetze . . . . .	134
Abb. Anhang 9.2	Gesamtmineralisation im Grundwasserleiterkomplex 3, alle Messnetze . . . . .	135

# Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Datengrundlage mit Messnetzzugehörigkeit . . . . .	16
Tab. 3.1	Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone, Frühjahr 2011 – Klassen, Flächen und Anteile an der Landesfläche Brandenburgs . . . . .	21
Tab. 4.1	Verteilung der ausgewerteten Messstellen in Filterlagenklassen . . . . .	27
Tab. 5.1	Indikatorparameter und Kriterien für anthropogenen Einfluss nach Jahnke (BTU Cottbus 2013, 2011) . . . . .	33
Tab. 5.2	Einschätzung der Herkunft des Ammoniumgehalts (unspezifisch oder anthropogen) einer Messstelle nach Jahnke (BTU Cottbus 2013, 2011). . . . .	33
Tab. 7.1	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für die elektrische Leitfähigkeit je Grundwasserleiterkomplex (ohne Salz-messnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau) . . . . .	39
Tab. 7.2	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für den pH-Wert je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	42
Tab. 7.3	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Sauerstoff je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	45
Tab. 7.4	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Chlorid je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	49
Tab. 7.5	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Sulfat je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	52
Tab. 7.6	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Ammonium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	55
Tab. 7.7	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Nitrat je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	56
Tab. 7.8	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Gesamtphosphor (in mg(PO <sub>4</sub> )/l) je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	61
Tab. 7.9	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für ortho-Phosphat je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	61
Tab. 7.10	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Hydrogenkarbonat je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	66
Tab. 7.11	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Calcium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	69
Tab. 7.12	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Magnesium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	72
Tab. 7.13	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Natrium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	75
Tab. 7.14	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Kalium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	78
Tab. 7.15	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Eisen gelöst je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	81
Tab. 7.16	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Mangan gelöst je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	84

Tab. 7.17	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Aluminium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	.87
Tab. 7.18	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Uran je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.89
Tab. 7.19	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Arsen je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau . . . . .	.90
Tab. 7.20	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Blei je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	.91
Tab. 7.21	Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Bor je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau. . . . .	.92

# 0 Zusammenfassung

Das Grundwasser unterliegt, insbesondere in den oberflächennahen Grundwasserleitern, vielfältigen Einflüssen. Diese, zum Großteil anthropogenen Einflüsse gilt es zu charakterisieren und regelmäßig zu beobachten, um Veränderungen möglichst früh zu erkennen. Das Grundwasser stellt in Brandenburg die Grundlage für die Trinkwasserversorgung dar und speist zu einem wesentlichen Anteil die Oberflächengewässer.

Das Landesamt für Umwelt betreibt zu diesem Zweck das Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit, bestehend aus über 900 Grundwassermessstellen, die überwiegend zweimal jährlich beprobt werden. In Abständen von 6 Jahren wird ein umfassender Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit erstellt. Der vorliegende Bericht beinhaltet Daten des Untersuchungszeitraums 2013 bis 2018.

Es wurden Grundwasseranalysen von 921 Messstellen an 793 Standorten ausgewertet. Die Analysen umfassen Vor-Ort- und Summenparameter, Hauptanionen und -kationen, Metallverbindungen, organische Schadstoffe, Pflanzenschutzmittelwirkstoffe sowie deren Abbauprodukte. Der Schwerpunkt lag auf der Beurteilung der Beschaffenheit der wasserwirtschaftlich relevanten Grundwasserleiterkomplexe 1 und 2, in denen 95 Prozent der Messstellen ausgebaut sind.

Die Analysen wurden auf Plausibilität geprüft und anschließend zur Bestimmung von sogenannten hydrochemischen Beeinflussungstypen herangezogen. Die Klassifikation der Beeinflussungstypen ermöglicht es, Messstellen hinsichtlich ihrer anthropogenen Beeinflussung einzuordnen. Unterschieden werden vier Haupttypen: Schadstoffe, Nährstoffe, Pflanzenschutzmittel und Versauerung sowie vier untergeordnete Anzeichtypen für diese Einflüsse. Außerdem gibt es einen Typ für geogen salinar beeinflusste Messstellen und einen unbeeinflussten Typ. Einer Messstelle können mehrere Typen zugewiesen werden. Unter den anthropogen beeinflussten Messstellen dominiert der Beeinflussungstyp „Nährstoffe“. Die Typen „Schadstoffe“ und „Pflanzenschutzmittel“ treten relativ selten auf. Der Typ „Versauerung“ konzentriert sich auf das Gebiet des Braunkohlebergbaus im Süden Brandenburgs.

Die Messwerte der Grundwasseranalysen wurden einer umfassenden statistischen Auswertung unterzogen. Untergliedert nach Messnetzzugehörigkeit, Flächennutzung, Grundwasser-

leiterkomplex, Filterlage und Beeinflussungstyp wurden statistische Kenngrößen berechnet, Häufigkeitsverteilungen und Spannweitendiagramme gezeichnet sowie Trendanalysen durchgeführt.

Die Häufigkeitsverteilungen der meisten Parameter sind lognormal. Mithilfe der Spannweitendiagramme können Zusammenhänge mit der Flächennutzung, der Filtertiefe und den Beeinflussungstypen dargestellt werden. Im oberflächennahen Grundwasser unter landwirtschaftlicher Nutzung zeigen die Nährstoffe Nitrat, Ammonium und zum Teil Kalium sowie Phosphor beziehungsweise ortho-Phosphat höhere Konzentrationen. Bei einigen Messstellen unter Waldflächen ist aufgrund von Bodenversauerungsprozessen der pH-Wert niedrig und die Aluminiumkonzentration erhöht. Deutliche Versauerungserscheinungen einschließlich hoher Konzentrationen von Sulfat, Ammonium, Eisen, Mangan und teilweise weiterer Schwermetalle sind im Bergbauggebiet im Süden Brandenburgs zu beobachten. In einzelnen Regionen (unter anderem im Oderbruch und Haveland) treten erhöhte Konzentrationen von Uran auf, die mit dem Nitratabbau im Grundwasser in Zusammenhang stehen könnten.

Von 51 untersuchten Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen und deren Abbauprodukten überschreiten 11 den Schwellenwert der Grundwasserverordnung (GrwV 2017) von 0,1 µg/l (unter anderem Bentazon, Fenuron und Mecoprop). Dies betrifft 25 von insgesamt 589 Messstellen (circa 4 Prozent). Bei 9 der 15 untersuchten nicht relevanten Metaboliten wurde eine Überschreitung des gesundheitlichen Orientierungswerts an insgesamt 43 Messstellen (7 Prozent) festgestellt.

Die Trendanalyse ergibt für die Mehrheit der Messstellen keinen Trend. Für die Parameter, bei denen Trends festgestellt wurden, überwiegen fallende gegenüber steigenden Trends. Im Grundwasserleiterkomplex 1 ist ein hoher Anteil fallender Trends (circa 40 Prozent der Messstellen) bei Sulfat und Kalium festzustellen. Dagegen findet sich im Grundwasserleiterkomplex 2 bei Sulfat und Chlorid ein verhältnismäßig großer Anteil steigender Trends (circa 30 Prozent), wobei 5–10 Prozent der Messstellen eine Trendumkehr gemäß Grundwasserverordnung aufweisen.

Zusätzlich wurden Analysen von Mehrfachmessstellen ausgewertet und Charakteristika der vertikalen Beschaffenheitsprofile herausgearbeitet.

# 1 Einleitung

Grundwasser stellt in Brandenburg, wie auch in den anderen Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland, die wichtigste Grundlage für die Trinkwasserversorgung dar und speist zu einem wesentlichen Anteil die Oberflächengewässer. Daher ist ein Verständnis der Prozesse, welche die Beschaffenheit und die Fließbedingungen des Grundwassers bestimmen, von elementarer Bedeutung für einen nachhaltigen und wirtschaftlichen Umgang mit der Ressource Wasser. Die Beschaffenheit des Grundwassers wird unter anderem durch die petrographischen Eigenschaften des Grundwasserleiters, die Prozesse in der ungesättigten Zone, die Verweildauer im Untergrund und die Zusammensetzung des Infiltrationswassers bestimmt. Bei geringen Flurabständen unterliegt das Grundwasser dabei Oberflächeneinflüssen und wird somit stärker von anthropogenen Faktoren beeinflusst, während die Beschaffenheit des tieferen, älteren Grundwassers überwiegend geogen geprägt ist. Die Zusammensetzung des unbeeinflussten Grundwassers ist durch einen dynamischen Gleichgewichtszustand zwischen Wasser und Gesteinsmatrix geprägt. Die für den vorliegenden Bericht ausgewerteten Daten setzen sich daher aus einer geogenen Hintergrundkomponente und einer unterschiedlich signifikanten anthropogenen Komponente zusammen.

Das Landesamt für Umwelt (LfU) ist als Wasserwirtschaftsamt des Landes Brandenburg (§ 125 BbgWG) unter anderem für die Ermittlung der wasserwirtschaftlichen und naturwissenschaftlichen Grundlagen des Wasserhaushalts, insbesondere von Menge, Güte und Zustand der Gewässer (§ 126 Abs. 3 BbgWG) zuständig. Das LfU plant und realisiert das Monitoring zur Grundwasserbeschaffenheit im Land Brandenburg und veröffentlicht dessen Ergebnisse in Berichtsform.

Nach den Berichten zur Grundwasserbeschaffenheit für die Zeiträume 1992–1995, 1995–2000, 2001–2005 und 2006–2012 werden im aktuellen Bericht die Untersuchungsergebnisse des Zeitraumes 2013–2018 dokumentiert. Diese Veröffentlichung stellt eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse des Berichts dar.

Ein Schwerpunkt des Berichts liegt in der Beurteilung des anthropogenen Einflusses auf das Grundwasser. In Brandenburg werden circa 49 Prozent der Gesamtfläche des Bundeslandes landwirtschaftlich genutzt, wovon rund drei Viertel als Ackerland verwendet werden. Die Freisetzung von reaktiven Stickstoffverbindungen, die vor allem aus der Verwendung von Düngemitteln, der Tierhaltung und aus Verbrennungsprozessen stammen, ist in den letzten Jahrzehnten drastisch gestiegen (Sachverständigenrat für Umweltfragen 2015). Diese Stickstoffverbindungen werden größtenteils in Form von Nitrat oder Ammonium in das Grundwasser eingetragen. Sowohl für Nitrat als auch für Ammonium existieren in der Grundwasserverordnung (GrwV 2017) Schwellenwerte, die einzuhalten sind. Neben den Stickstoffverbindungen kann das Grundwasser durch Düngung auch an Kalium-, Sulfat- und Phosphorverbindungen angereichert werden.

Die atmosphärische Stickstoffdeposition von emittiertem Ammoniak aus der Landwirtschaft, aber auch Schwefeldioxid und Stickoxide aus industriellen Verbrennungsprozessen und von Kraftfahrzeugen führen zu einer Säurebildung im Boden, die vor allem Waldgebiete und naturnahe Ökosysteme schädigen. Auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen wird der

Säurebildung mit Kalkung entgegengewirkt. Zur Versauerung des Grundwassers kommt es auch durch bergbaulich bedingte Aktivitäten der Braunkohlegewinnung. Dabei werden durch die Freilegung sowie Umlagerung von tiefen Sedimenten und den Wiederanstieg des Grundwassers nach der Auskohlung teilweise sehr hohe Konzentrationen von Eisen, Mangan- und Schwefelverbindungen im Grund- und Oberflächengewässer gelöst. Darüber hinaus bilden Altlast-, sowie Bau- und Trümmerschuttablagerungen ein Gefährdungspotenzial, da sie zu erhöhten Konzentrationen von organischen und anorganischen Verbindungen und Schwermetallen im Grundwasser führen können. Auch Verluste von Abwasser aus dem Kanalisationssystem oder die Versickerung von Straßenabläufen können das Grundwasser kontaminieren. Eine besondere Bedeutung erhalten in diesem Zusammenhang die ehemaligen Rieselfelder im Umkreis von Berlin, die bis heute durch Auswaschungsprozesse zu signifikanten Stoffeinträgen bis in tiefere Grundwasserleiter führen.

Ein weiterer Schwerpunkt des Berichts liegt auf der Untersuchung verschiedener Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe und deren Abbauprodukten, den sogenannten Metaboliten. In der Bundesrepublik Deutschland sind nach BVL (2020) 285 Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe zugelassen und unter ungefähr 1.690 Handelsnamen auf dem Markt (Stand 2018). 49 Prozent der im Jahr 2018 in Deutschland verkauften beziehungsweise ausgeführten Pflanzenschutzmittel besitzen eine herbizide Wirkung (Unkrautbekämpfung) und 39 Prozent eine fungizide Wirkung (gegen Pilzbefall). Die restlichen haben eine insektizide (gegen Insektenbefall) oder akarizide (gegen Milben und Zecken) Wirkung, dienen der Wachstumsregulierung oder haben andere spezifische Eigenschaften.

Eine Reihe von auffälligen Pflanzenschutzmitteln ist bereits seit längerer Zeit verboten. Da einige jedoch schlecht abbaubar sind und nur eine geringe Mobilität aufweisen, können sie oder ihre Metaboliten auch noch nach Jahrzehnten im Grundwasser nachgewiesen werden. Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel unterstützen die Ertragssicherung in der Landwirtschaft, können aber gleichzeitig auch ein Umweltrisiko darstellen. Trotz des gezielten Einsatzes vor Ort ist eine Verlagerung aufgrund bestimmter Stoffeigenschaften und Standort, Bewirtschaftungs- oder Witterungsbedingungen weit über den Einsatzort hinaus möglich. Auch die Ausbringungstechnik und die Handhabung spielen eine wichtige Rolle.

Das Ziel des vorliegenden Berichts ist eine umfassende Bewertung der Grundwasserbeschaffenheit im Zeitraum 2013–2018 für das Land Brandenburg unter Berücksichtigung der vorliegenden Analysendaten zu Vor-Ort-Parametern, Hauptionen, Halbmetallen, Metallen, Summenparametern sowie zu den untersuchten organischen Spurenstoffen (Pflanzenschutzmittel, Arzneistoffe, LHKW, BTEX, PAK). Die Auswertung umfasst die Ermittlung statistischer Kennwerte und Trends sowie die Erstellung von Häufigkeitsverteilungen, Spannweitendiagrammen und landesweiter Karten für ausgewählte Parameter. Die Zielstellung beinhaltet außerdem die Bewertung der anthropogenen Beeinflussung anhand einer Grundwassertypisierung, die auf Grundlage der im vorhergehenden Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit entwickelten Typisierung entwickelt wurde (LfU Brandenburg 2015b). Weiterhin werden die hydrogeochemischen Unterschiede von Mehrfachmessstellen ausgewertet.

## 2 Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit in Brandenburg

### 2.1 LfU-Monitoring Grundwasserbeschaffenheit

Die Überwachung des Grundwassers in Brandenburg basiert auf der Grundlage des § 126 des Brandenburgischen Wassergesetzes (BbgWG). Danach ermittelt das Landesamt für Umwelt als Wasserwirtschaftsamt die Grundlagen des Wasserhaushalts. Zur Erfüllung einer dieser Aufgaben, der Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit, betreibt das LfU seit Beginn der 1990er Jahre ein Landesmessnetz. 1993 wurde dafür erstmals ein Messnetzkonzept zum Grundwassermonitoring (Teil Beschaffenheit) erstellt, welches seitdem kontinuierlich fortgeführt wird. Es bildet die Grundlage für alle seitdem durchgeführten Arbeiten und basiert auf den von der LAWA 1993 herausgegebenen Richtlinien zur Grundwasserüberwachung (LAWA 1993).

Das Messnetz ist grundsätzlich untergliedert in ein Monitoring, welches durch das Landeslabor Berlin-Brandenburg durchgeführt wird (Landesmessnetz A) und weitere Monitoringprogramme, die regelmäßig an externe Labore vergeben werden (Landesmessnetz B) sowie ein Sondermessnetz WRRL-Bergbau.

#### 2.1.1 Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit A

Das Landesmessnetz A umfasst 271 Grundwassermessstellen, die in zwei Messprogramme untergliedert werden. Das Messprogramm 1 (MePro 1) enthält 223 Messstellen und dient der langfristigen repräsentativen Überwachung des Grundwassers in den wichtigsten hydrogeologischen Einheiten. Da in allen drei Grundwasserleiterkomplexen Messstellen aus diesem Messnetz verfiltert sind, ist eine breit angelegte Überwachung möglich. Zusätzlich dienen die Messstellen der Ableitung von Hintergrundkonzentrationen und der Ermittlung von Konzentrationsentwicklungen (Trends).

Das Messprogramm 2 (MePro 2), im Folgenden als Salzmessnetz bezeichnet, umfasst 48 Messstellen. Es dient der Erfassung der aktuellen Verbreitung und Entwicklung der Grundwasserversalzung in Brandenburg. Die Messstellen sind teilweise auch oberflächennah verfiltert. In Brandenburg besteht die potenzielle Gefahr, dass durch den Aufstieg von stark salzhaltigen Tiefengrundwässern die Grundwässer, die für die Trinkwasserversorgung genutzt werden, qualitativ beeinträchtigt werden. Um den Einfluss dieser Gefährdung beurteilen zu können, wurde dieses Messnetz in wasserwirtschaftlich relevanten Bereichen eingerichtet. Es besteht aus Messstellen an Standorten, an denen die geostrukturalen und hydrodynamischen Verhältnisse den Aufstieg von geogen salinaren Tiefenwässern in das genutzte obere Grundwasser-Stockwerk ermöglichen.

#### 2.1.2 Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit B

Mit der Einführung der EG-WRRL 2000 wurde am LfU Brandenburg ein zusätzliches Grundwassermonitoring für die Umsetzung der Ziele der WRRL initiiert. Bis Ende 2006 war ein Monitoringprogramm aufzustellen, welches eine Zustandsbewertung der Grundwasserkörper für den ersten Bewirtschaftungszeitraum (2009–2014) zuließ. Dies beinhaltete den Aufbau eines Messnetzes zum operativen Grundwassermonitoring in den Grundwasserkörpern im schlechten chemischen Zustand zusätzlich zum bestehenden Landesmessnetz A. Für dieses operative Monitoring wurden geeignete Grundwassermessstellen des umfangreichen Messnetzes Grundwasserstand, sowie vereinzelt auch Brunnen oder Vorfeldmessstellen der Wasserversorgungsunternehmen genutzt. Das operative Monitoring ist sukzessive über die Jahre vergrößert und an die aktualisierten Bewirtschaftungspläne angepasst worden. Im Jahr 2018 umfasst es 209 Messstellen.

Im Jahr 2016 wurden im sogenannten Nährstoffmonitoring zur Verdichtung des Messnetzes weitere geeignete Grundwassermessstellen aus dem Messnetz Grundwasserstand zusätzlich beprobt. Das Nährstoffmonitoring umfasst 2018 193 Messstellen.

Das operative Monitoring und das Nährstoffmonitoring bilden zusammen das Landesmessnetz B.

#### 2.1.3 Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Von den über 200 Grundwassermessstellen des montanhydrologischen Monitoringprogramms (MHM) der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft (LMBV) lässt das LfU an einer Auswahl von 41 Messstellen im Rahmen der regulären Probennahmen der LMBV zusätzlich bestimmte Schwermetalle sowie Nitrit analysieren. Diese 41 Messstellen werden im Folgenden als Sondermessnetz WRRL-Bergbau bezeichnet. Im montanhydrologischen Monitoring werden die Messstellen ein- bis zweimal jährlich beprobt.

#### 2.1.4 Zusammenfassung der Monitoringprogramme

Eine Übersicht der unterschiedlichen Messnetze für die Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit im Berichtszeitraum gibt Tab. 2.1. Die Messstellen werden überwiegend zweimal jährlich (Frühjahr und Herbst) untersucht sowie mindestens monatlich der Wasserstand ermittelt.

Das Untersuchungsprogramm umfasst bis zu 142 chemische und physikalische Parameter.

Tab. 2.1 Datengrundlage mit Messnetzzugehörigkeit

Jahr	Land A		Land B		Sondermessnetz WRRL-Bergbau
	Landesmessnetz (MePro1)	Landesmessnetz (MePro2, Salz)	externes operatives Monitoring	externes Nährstoff- monitoring	
2013	223	47	244	–	42
2014	223	46	270	–	40
2015	223	47	271	–	41
2016	223	47	279	151	41
2017	223	48	265	113	41
2018	223	46	209	193	41

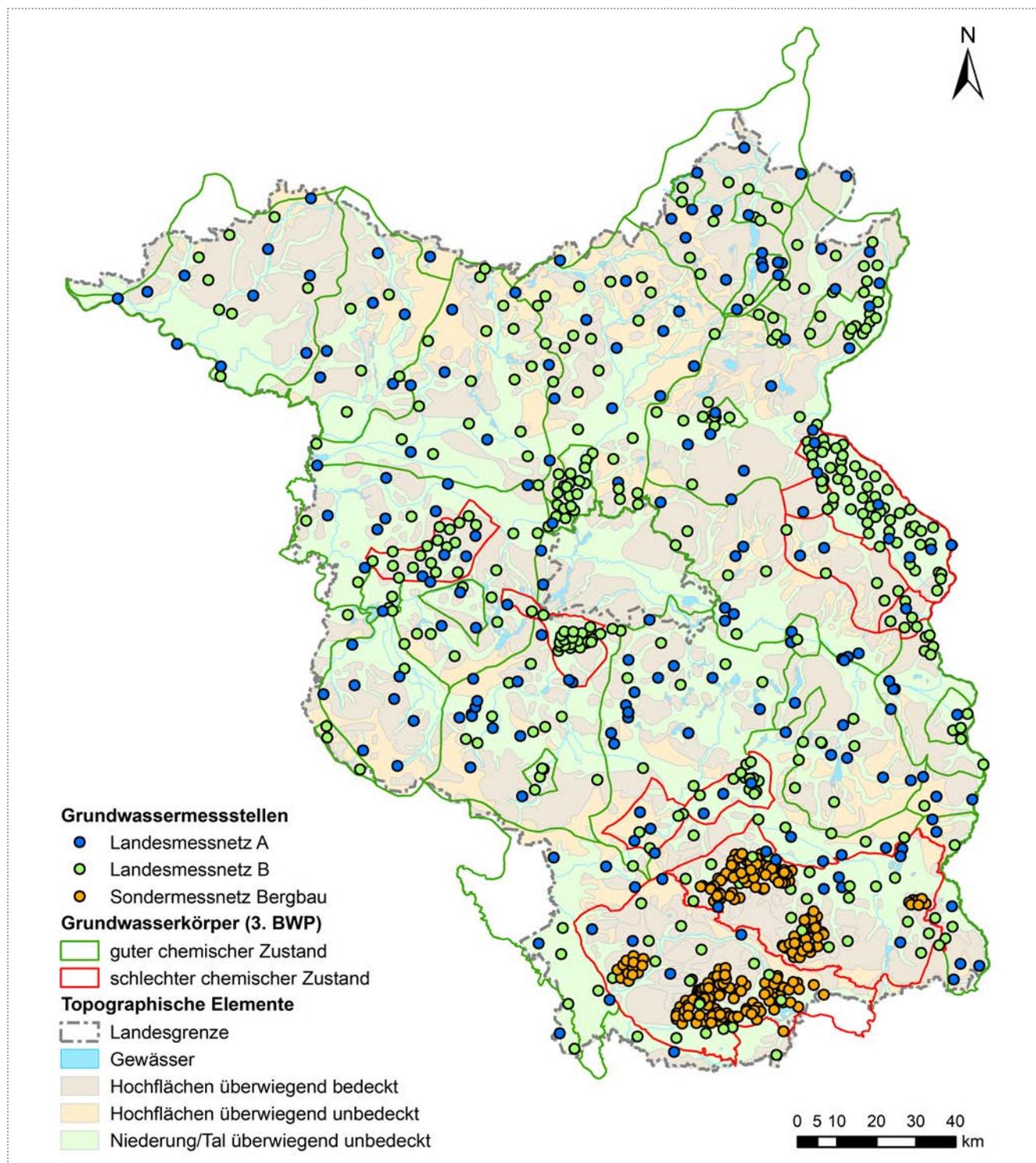


Abb. 2.1 Karte der Messstellen in den Messnetzen Landesmessnetz A und B sowie dem Sondermessnetz WRRL-Bergbau

## 2.2 Berichtspflichten des LfU

Zur Erfüllung der Berichtspflichten des LfU werden die Grundwassermessstellen des Landesmessnetzes Grundwasserbeschaffenheit verwendet. Je nach Fragestellung erfolgt eine Zuordnung aller oder ausgewählter Messstellen zu den geforderten Berichtszetzelnetzen.

### 2.2.1 Berichtspflicht EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL)

Die Ermittlung des Grundwasserzustandes gemäß Anhang V WRRL 2000 beinhaltet die Beschreibung des mengenmäßigen und des chemischen Zustandes, für die aufgabenspezifische Monitoringmessnetze zu betreiben sind. Die Bestimmung des chemischen Zustandes im Landesmaßstab geschieht durch ein überblicksweises Monitoring in allen Grundwasserkörpern. Es dient dem Ziel, die Ergebnisse der Bestandsaufnahme nach Anhang II der WRRL zu validieren und die langfristige Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit zu beobachten und zu beurteilen.

In Grundwasserkörpern, in denen eine Zielerreichung des guten chemischen Zustandes unklar beziehungsweise unwahrscheinlich ist, wird neben dem Überblicksmonitoring ein operatives Monitoring durchgeführt. Das operative Monitoring dient der Beobachtung von Belastungspotentialen und deren Eintragspfaden, wie zum Beispiel:

- Intensive landwirtschaftliche Nutzung (Nährstoffe, Pflanzenschutzmittel)
- Auswirkungen des Bergbaus
- Versauerungserscheinungen
- Altlasten und Deponien
- Versickerung von Abwässern

Zur Erfüllung der Berichtspflichten der EU-WRRL werden die Messstellen der Landesmessnetze Grundwasserbeschaffenheit A und B sowie des Sondermessnetzes WRRL-Bergbau verwendet. Die Zuordnung zum Überblicksmonitoring und operativen Monitoring erfolgt entsprechend der Risiko- und Zustandsbewertung des geltenden Bewirtschaftungszeitraums.

Die Zustandsbewertung der Grundwasserkörper für den chemischen Zustand im dritten Bewirtschaftungszeitraum zeigt Abb. 2.1. Die Grundlagen, Methoden und Ergebnisse der aktualisierten Bestandsaufnahme und Zustandsbewertung für den 3. Bewirtschaftungszeitraum werden im Bericht „Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie“ (LfU Brandenburg 2023) erläutert.

### 2.2.2 Berichtspflicht an die Europäische Umweltagentur (EUA)

Die Europäische Umweltagentur (EUA) hat Berichtspflichten zur Grundwasserbeschaffenheit in Europa zu erfüllen. Diese Berichtspflicht übernimmt in Deutschland das Umweltbundesamt (UBA), welches jährlich Daten der Bundesländer abfragt und an die EUA übermittelt. Die Anzahl der Messstellen, die jedes Bundesland melden muss, ist über einen Messstellenschlüssel, der die Landesgröße berücksichtigt, festgelegt worden. In Brandenburg befinden sich 98 Messstellen im EUA-Grundwassermessnetz.

Als Teilmenge dieser Messstellen wurde das Teilmessnetz „Landwirtschaft“ – auch als EU-Nitratmessnetz bezeichnet – entwickelt. Es beinhaltet Grundwassermessstellen des EUA-Grundwassermessnetzes, deren Einzugsgebiete durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt sind. Für Brandenburg werden die Untersuchungsergebnisse von 57 Messstellen gemeldet.

### 2.2.3 Berichtspflichten Pflanzenschutzmittel an das UBA und das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL)

Die Ergebnisse der Pflanzenschutzmittel-Untersuchungen im Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit werden in aggregierter Form jährlich an das UBA übermittelt.

Konzentrationen über 0,1 µg/l werden zudem an das BVL weitergeleitet, das auf dieser Grundlage als Zulassungsbehörde den Zulassungsinhaber mit der Fundaufklärung beauftragen kann. Gegebenenfalls führen diese Ergebnisse zu Einschränkungen bei der Zulassung.

### 2.2.4 Berichtspflicht Düngeverordnung (DüV)

Mit Inkrafttreten der novellierten DüV im Jahr 2017 – die nach Anforderungen der Europäischen Kommission 2020 noch erweitert und verschärft wurde – und dem Erlass der AVV GeA ergaben sich neue Anforderungen an die Grundwassermessnetze des LfU. Die AVV GeA definiert als Ausgangspunkt für die Ausweisung der mit Nitrat belasteten Gebiete die nach § 2 GrwV festgelegten Grundwasserkörper. Zur Ermittlung der nitratbelasteten Gebiete ist ein sogenanntes Ausweisungsmessnetz zu erstellen.

Das Ausweisungsmessnetz umfasst mindestens alle landwirtschaftlich beeinflussten Messstellen der WRRL-Messnetze (überblicksweises und operatives Monitoring), des EUA-Messnetzes und des EU-Nitratmessnetzes. Weitere Messstellen können ergänzt werden.

# 3 Naturräumliche und hydrogeologische Charakterisierung

## 3.1 Landschaftsgenese

Die Grundwasserbeschaffenheit wird entscheidend durch die naturräumlichen Gegebenheiten Brandenburgs geprägt. Die in Abb. 3.1 dargestellten Landschaftsformen sind durch Aufschüttungs- und Erosionsprozesse während des Vordringens und des Rückzuges des Inlandeises der jüngeren Saale-Kaltzeit und der Weichsel-Kaltzeit modelliert worden. Die Schmelzwasserströme des Eisrückzuges zergliederten die Grundmoränen der Eisvorstöße sowie die Endmoränen und Sander der Eisrandlagen. Sie hinterließen ein Mosaik von Hochflächen und Talungen.

Die Landschaften im Süden Brandenburgs gehören zum warthezeitlichen Altmoränengürtel und seinen Abflussbahnen:

- das Lausitzer Tal,
- der südliche Landrücken mit dem Fläming, dem Lausitzer Grenzwall und dem Lausitzer Becken- und Heideland.

Nach Norden schließen sich die Landschaften des weichselzeitlichen Jungmoränengebietes an. Das Brandenburger Stadium und das Frankfurter Stadium der Weichsel-Eiszeit hinterließen:

- das Baruther Tal,
- die Zone der mittelbrandenburgischen Platten und Niederungen,
- das Berliner Tal und
- die Ostbrandenburgische Platte (Barnim/Lebus).

Zu den Landschaften im Norden Brandenburgs, für die das Pommersche Stadium der Weichsel-Vereisung prägend war, gehören:

- das Eberswalder Tal,
- der nördliche Landrücken mit der Kyritzer Platte, der Ruppiner Platte, der Granseer Platte und dem Südteil der Uckermark.

Die im Westen des nördlichen Landrückens liegende Prignitz gehört noch dem Altmoränengebiet an.

Im Nordosten Brandenburgs sind weitere, jüngere Eisrandlagen ausgebildet.

Das vom Eis und den Schmelzwasserströmen angelegte Landschaftsmosaik ist im Spätglazial und Holozän u. a. durch periglaziale Prozesse, Windablagerungen, Auflösung von Toteis und Vermoorung der Täler überprägt worden.

Im Zuge der Entstehung der Flächennutzung kam es zur Herausbildung der typischen heutigen Kulturlandschaften (Abschnitt 3.7).

## 3.2 Hydrodynamik

Die landesweite Hydrodynamik des oberen, wasserwirtschaftlich genutzten Grundwasserleiters („Hauptgrundwasserleiter“) wird im vorliegenden Bericht mit dem Grundwassergleichenplan vom Frühjahr 2015 beschrieben (LfU Brandenburg 2022).

Die Grundwasseroberfläche liegt in Brandenburg zwischen weniger als 5 m NHN im unteren Odertal und mehr als 100 m NHN

im Hohen Fläming und der Niederlausitz. Grundwasserhöhen von mehr als 100 m NHN treten außerdem in den Stauchungsgebieten der Beeskower Platte und südlich von Meyenburg in der Prignitz auf.

Die Morphologie der Hochflächen und der sie begrenzenden Täler bestimmt zusammen mit dem Verlauf der Vorfluter das grundsätzliche Muster der hydrodynamischen Verhältnisse in Brandenburg. Anthropogene Eingriffe wie Staustufen der oberirdischen Gewässer, Polderwirtschaft und Melioration sowie Grundwasserentnahmen beeinflussen die Hydrodynamik zu meist nur lokal, während der Braunkohlebergbau im Südosten Brandenburgs sie großräumig technologisch überprägt.

Die Hochflächen und Moränen sind im Verhältnis zu den Talungen nicht nur morphologische, sondern meistens auch hydrodynamische Hochlagen, über die auch die Grundwasserscheiden verlaufen. Auf die Höhenlage der Grundwasseroberfläche im Bereich der Wasserscheiden wirken sich neben der Geländehöhe weitere Faktoren wie die Größe der Hochfläche, die aus Niederschlag, Verdunstung, Bodenarten und Flächennutzung resultierende Grundwasserneubildungsrate, die Transmissivität des Grundwasserleiters und die geologischen Verhältnisse aus. Das Geländere relief, die Grundwasserneubildungsrate, die Transmissivität und die Lage der hydraulisch mit dem Grundwasser kommunizierenden Vorfluter in Bezug zum betrachteten Grundwasserstandort bestimmen die Grundwassergefälle. Besonders hohe Grundwassergefälle, erkennbar anhand der dichten Scharung der Grundwassergleichen, sind im Osten Brandenburgs, am Übergang von der Ostbrandenburgischen Platte (Barnim/Lebus) in das Odertal zu beobachten. Zum einen erzeugt die Oder ein sehr tiefliegendes Vorflutniveau, zum anderen sind hier die Transmissivitäten in den lagerungsgestörten und gestauchten Grundwasserleitern gering. Hohe Gradienten der Grundwasseroberfläche sind auch in den Flanken des Ucker tals, in Teilen der Prignitz, im nördlichen Abstrom des Hohen Flämings und des Lausitzer Grenzwalls sowie von den lagerungsgestörten Diehlower und Fünfeichener Höhen westlich von Eisenhüttenstadt in Richtung Odertal, Berliner Tal und Schlaubetal vorhanden. Die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers beträgt einen halben bis einen Meter pro Tag. In einigen Gebieten auch zwei Meter pro Tag.

Die Grundwasserhöhen auf den kleinen Hochflächeninseln der Mittelbrandenburgischen Platten und Niederungen liegen zu meist nur wenige Meter über dem Vorflutniveau der sie umgebenden Talungen. Im westlichen Havelland und im Berliner Tal nordwestlich von Berlin weist die Grundwasseroberfläche nur geringe Gradienten auf. Die Grundwasserfließgeschwindigkeiten sind dementsprechend gering (wenige Zentimeter pro Tag).

## 3.3 Flurabstand und Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone

Neben der petrografisch-mineralogischen Zusammensetzung der ungesättigten Zone beeinflusst die Länge der Wegstrecke des Sickerwassers von der Oberfläche bis in das Grundwasser die Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung.

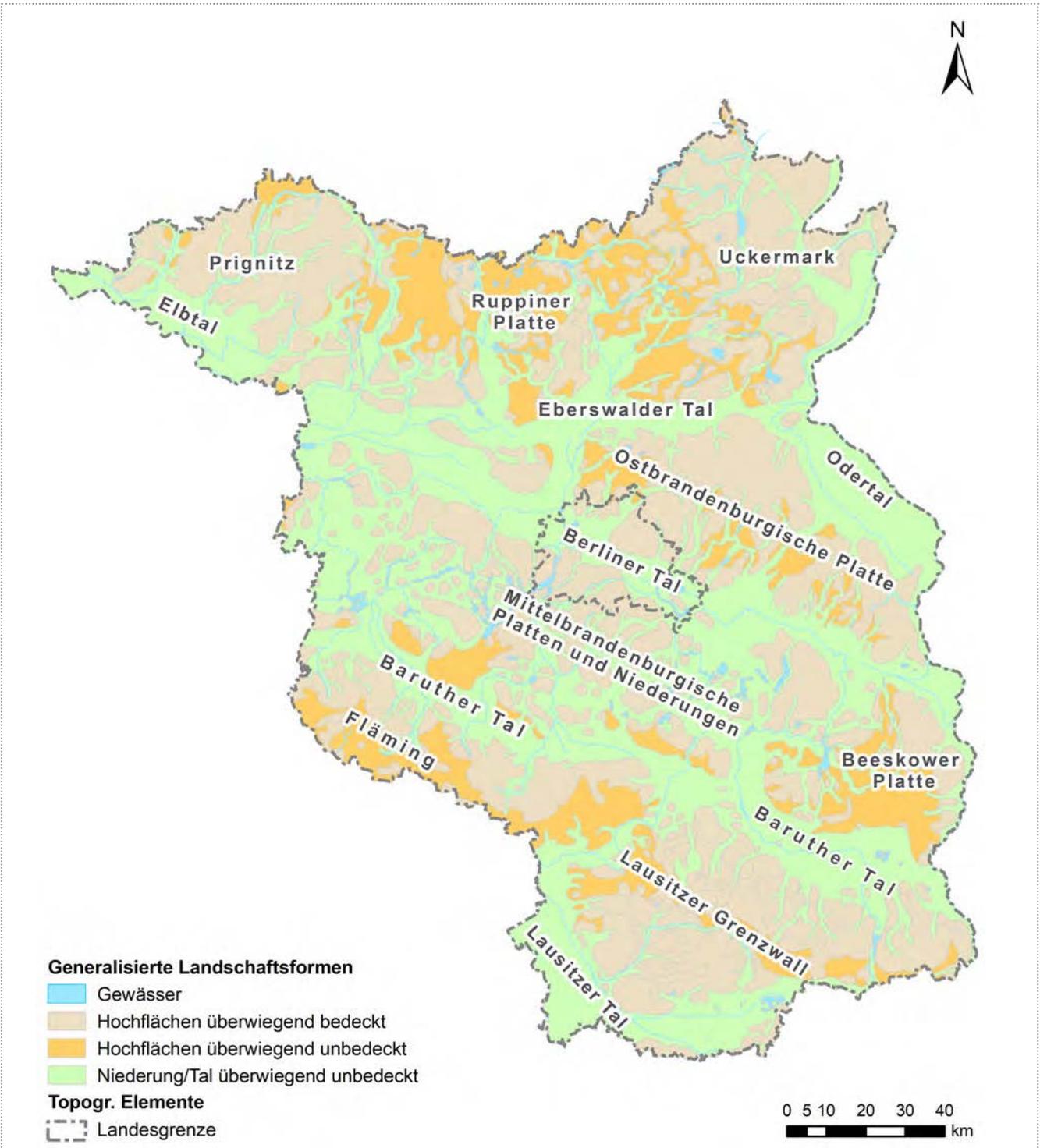


Abb. 3.1 Landschaftsformen Brandenburgs (abgeleitet aus Stackebrandt et al. (2010))

Ausgehend vom Grundwassergleichenplan Frühjahr 2011 und dem digitalen Geländemodell (DGM10) wurde 2013 eine „Karte der Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone im Land Brandenburg“ (Abstand von Geländeoberkante zu Grundwasserdruckfläche) erstellt. Die Abb. 3.3 zeigt die Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone in 5 Klassen.

Auf circa 30 Prozent der Landesfläche, vor allem in den großen Tälern, liegt die Grundwasseroberfläche beziehungsweise

die Grundwasserdruckfläche weniger als 2 m unter Gelände, auf circa 20 Prozent weniger als 1 m. Eine Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone zwischen 5 m und 15 m tritt zumeist in den Randbereichen der großen Platten und Hochflächen auf. Diese Gebiete machen zusammen etwa 30 Prozent der Landesfläche aus. Im Kernbereich der Hochflächen, in denen der obere wasserwirtschaftlich genutzte Grundwasserleiter unter mächtigen Grundwasserhemmern weitflächig gespannt ist, ergeben sich Mächtigkeiten der Grundwasserüberdeckung von mehr als

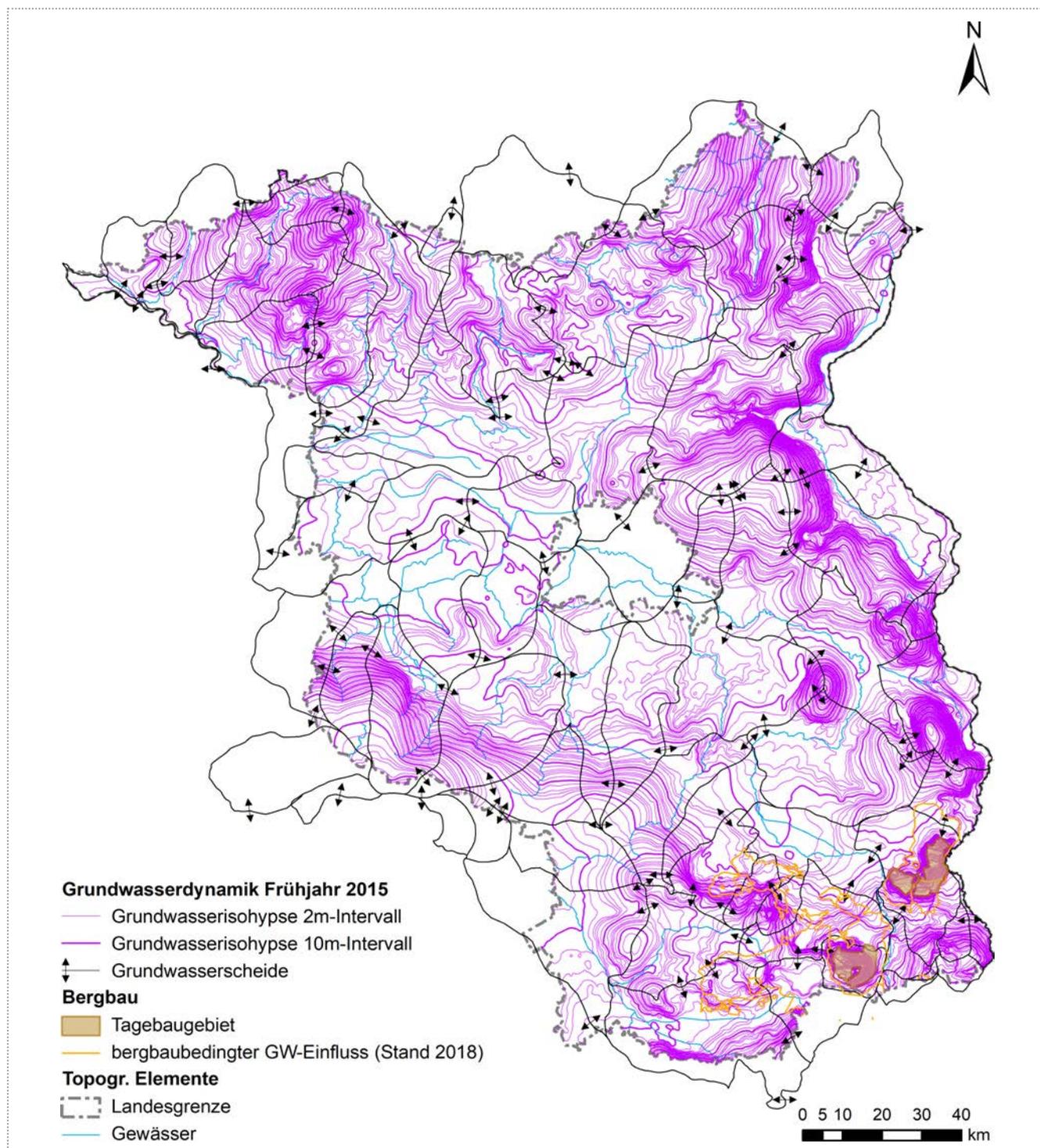


Abb. 3.2 Grundwassergleichenplan und Grundwasserscheiden Frühjahr 2015

15 m. Die Bereiche mit einer Überdeckung von mehr als 15 m betreffen ungefähr 22 Prozent der Landesfläche (Tab. 3.1). In Teilen der Uckermark und der Ostbrandenburgischen Platte (Barnim-Lebus) werden mehr als 50 m Grundwasserüberdeckung erreicht. In den ungespannten Moränen und Sandern der Eisrandlagen existieren Bereiche mit bis zu 50 m mächtigen, überwiegend sandig-kiesig aufgebauten, Versickerungszonen und ungespannter Grundwasseroberfläche. Im Fläming erreichen die Flurabstände sogar über 100 m.

Tab. 3.1 Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone, Frühjahr 2011 – Klassen, Flächen und Anteile an der Landesfläche Brandenburgs

Klasse	Fläche (km <sup>2</sup> )	Anteil der Landesfläche In Prozent (ohne Gewässer)
bis 2 m	9.021	31
> 2 – 5 m	5.467	19
> 5 – 7,5 m	2.741	9
> 7,5 – 15 m	5.414	19
> 15 m	6.459	22
<b>Summe</b>	<b>29.102</b>	<b>100</b>

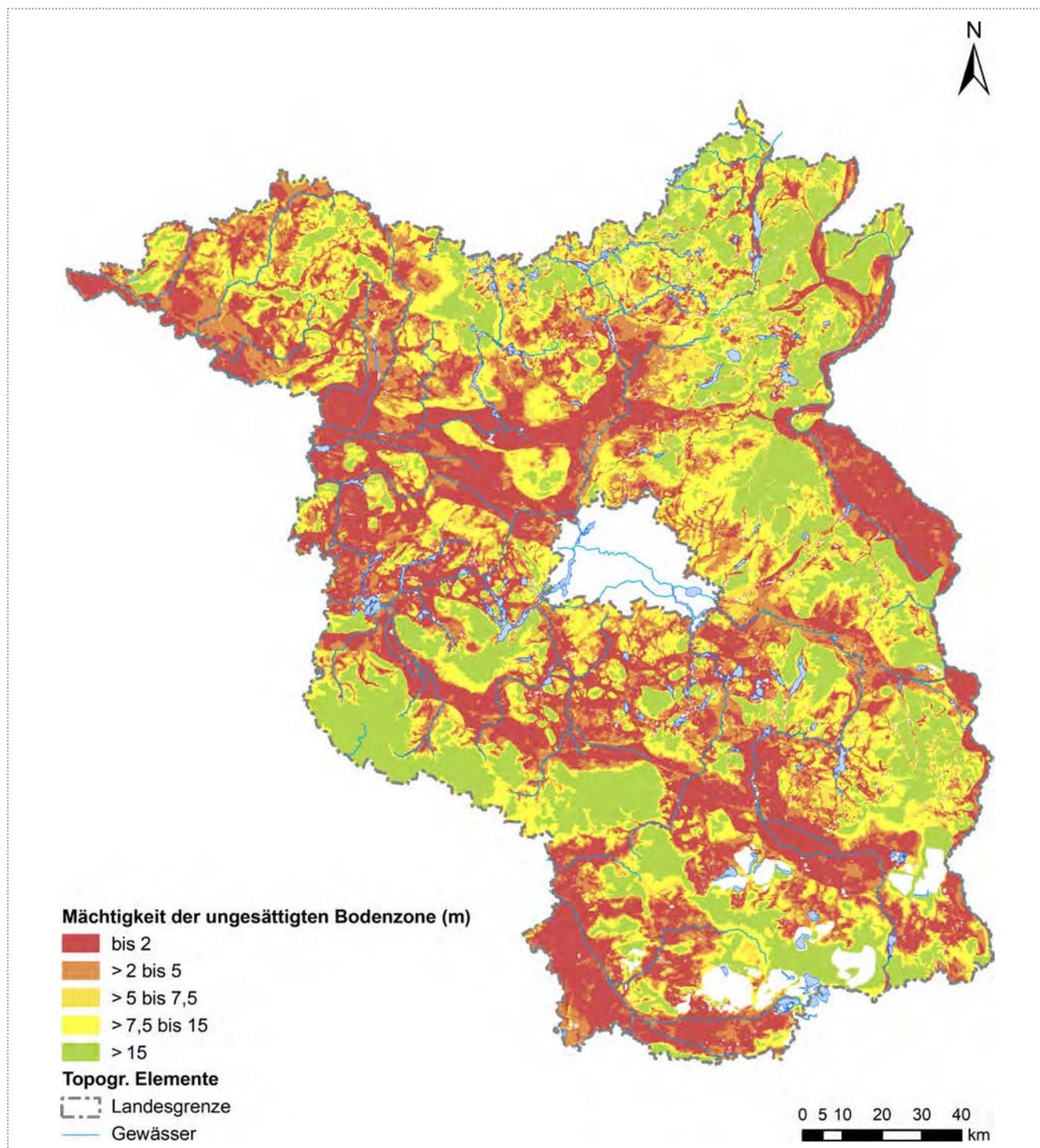


Abb. 3.3 Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone, Frühjahr 2013

### 3.4 Niederschlag

Die aus Daten des DWD berechnete mittlere jährliche Niederschlagshöhe des Zeitraums 1999–2018 betrug in Brandenburg 588 mm. Die Jahre 2002, 2007, 2010 und 2017 waren in Bezug auf den Mittelwert überdurchschnittlich niederschlagsreich und die Jahre 1999, 2003, 2006 und 2018 überdurchschnittlich niederschlagsarm (Abb. 3.4). Die Abweichung der Niederschlagshöhen dieser überdurchschnittlich niederschlagsreichen beziehungsweise niederschlagsarmen Jahre zum langjährigen Mittel der Reihe 1991–2010 lag über 10 Prozent. Das Jahr 2007 war mit einer Niederschlagshöhe von 772 mm das niederschlagsreichste

seit Beginn der Aufzeichnungen. Fast 30 Prozent der Jahressumme 2007 entfielen jedoch auf wenige Starkregenereignisse im Mai und Juni 2007, die nur in geringem Anteil grundwasserneubildend waren. Das Jahr 2018 war mit einer Niederschlagshöhe von 390 mm das niederschlagsärmste seit Beginn der Aufzeichnungen.

Der sechsjährige Berichtszeitraum 2013–2018 war im Vergleich zum langjährigen Mittel von unterdurchschnittlichen Niederschlägen gekennzeichnet. In vier der sechs Jahre lag die Jahressumme unter dem Mittelwert. Die Niederschläge im Jahr 2013 überschritten den Mittelwert nur geringfügig. Dagegen wies

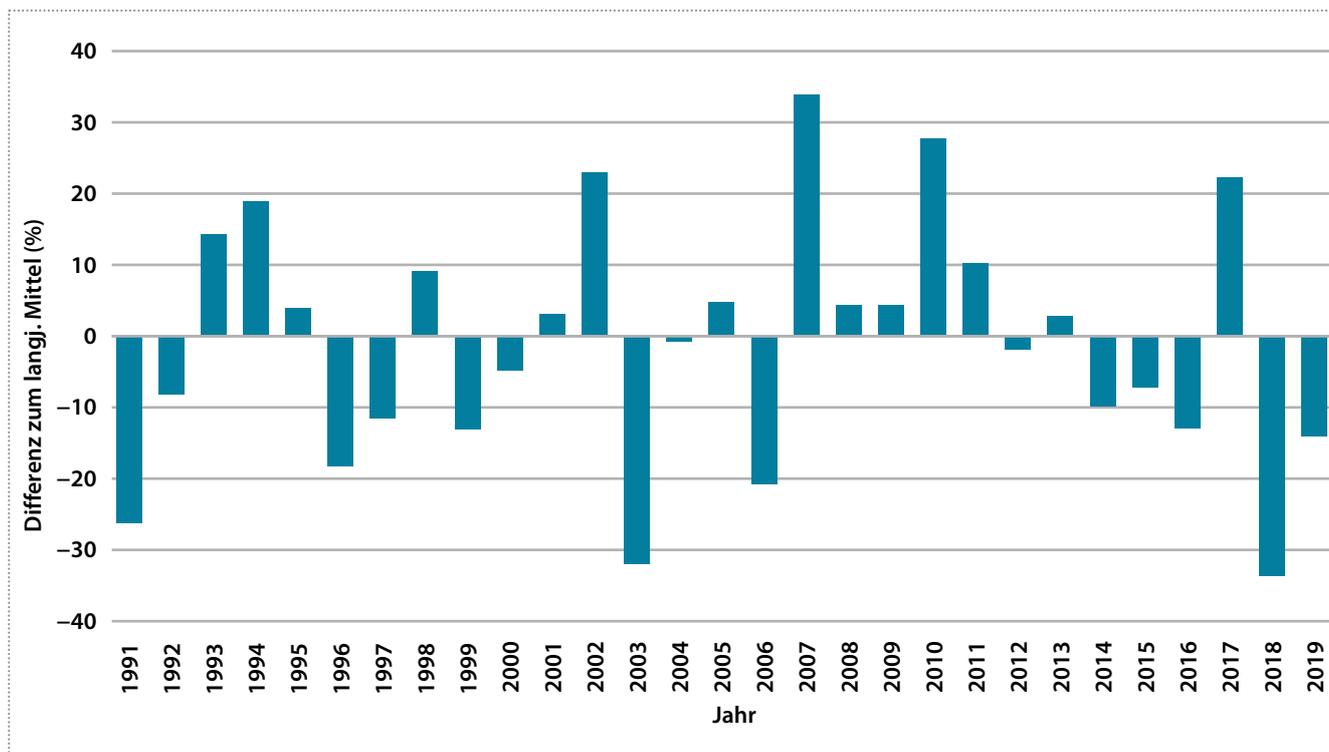


Abb. 3.4 Abweichungen der jährlichen Niederschlagshöhen für Brandenburg vom langjährigen Mittel der Reihe 1999–2018 (Prozent)

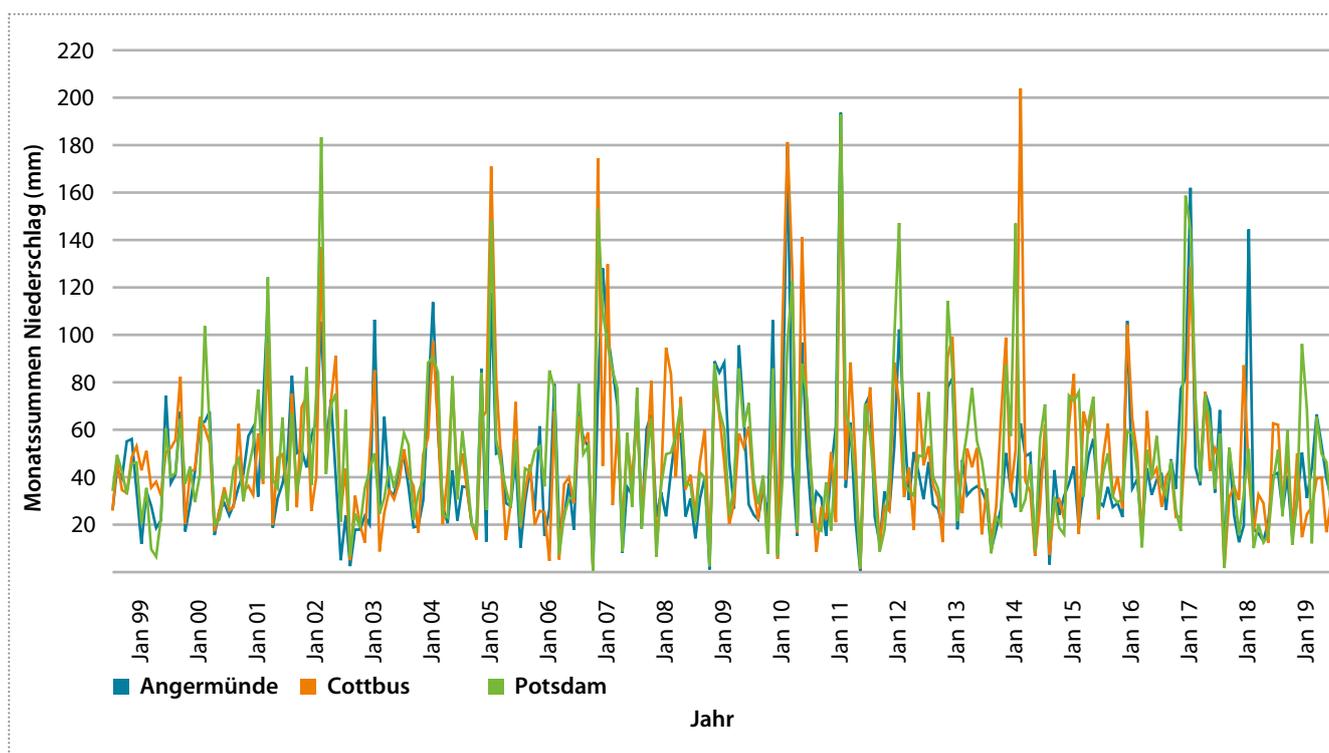


Abb. 3.5 Monatssummen der Niederschläge im Zeitraum 1999–2018 für drei Referenzstationen

der Berichtszeitraum des vorherigen Berichts zur Grundwasserbeschaffenheit (2006–2012) überdurchschnittliche Niederschläge auf.

Die Monatssummen der Niederschläge der drei Stationen Angermünde (Norden Brandenburgs), Potsdam (Mitte) und Cottbus (Süden) im Zeitraum 1999–2018 zeigen regionale Differenzierungen, vor allem bei sommerlichen Starkregenereignissen, zum Beispiel im Sommer 2014 (Abb. 3.5). Die Niederschlagsereignisse, die im Sommer 2013 zum Elbe- und Havelhochwasser führten, zeichnen sich in den Niederschlagshöhen der betrachteten Brandenburger Stationen nicht sehr deutlich ab.

### Räumliche Verteilung der Niederschläge

Die in der Abb. 3.6 dargestellte flächenhafte Verteilung der Jahresniederschläge basiert auf den vom LfU veröffentlichten Daten des Wasserhaushaltsverfahrens Bagluva für den Zeitraum 1986–2015 (Parameter P1), die wiederum auf Rasterdaten des DWD beruhen (LfU Brandenburg 2019).

Der überwiegende Teil der Landesfläche liegt in der Klasse 550–600 mm/a. Regionale Unterschiede zeigen sich mit Minima (< 550 mm) in der Uckermark und im Odertal sowie erhöhten Werten (> 650 mm) in Gebieten wie beispielsweise der Prignitz, der Schorfheide oder der südlichen Lausitz.

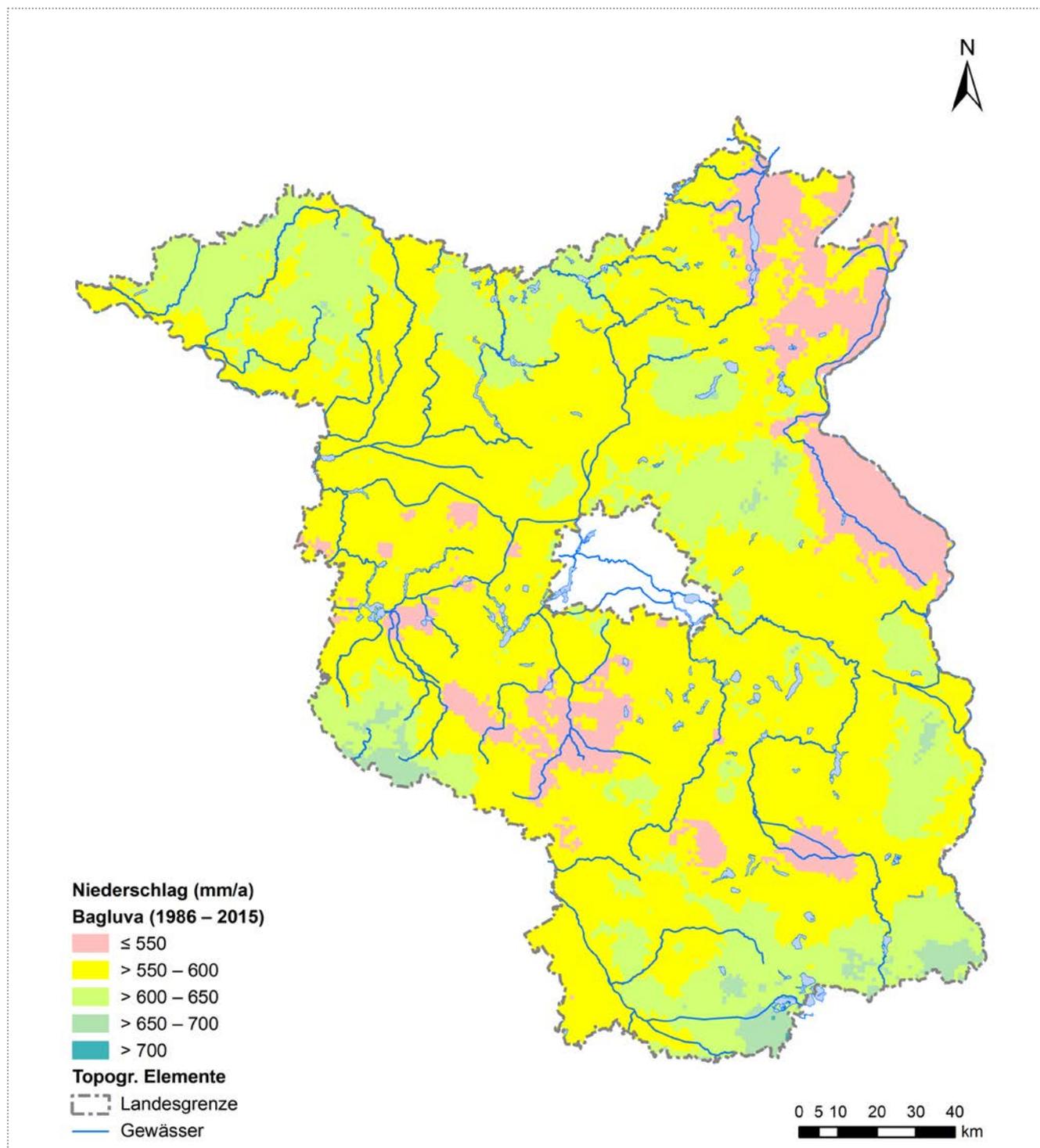


Abb. 3.6 Räumliche Verteilung des Niederschlags (mm/a), Mittelwert der Zeitreihe 1986–2015 (LfU Brandenburg 2019)

### 3.5 Grundwasserneubildung

Im Rahmen der landesweiten Modellierung der Wasserhaushaltsgrößen mit dem Modellsystem Bagluva (LfU Brandenburg 2019) wurden die mittleren unterirdischen Abflussspenden der Zeitreihe 1986–2015 berechnet (Abb. 3.7), die für den vorliegenden Bericht als mittlere Grundwasserneubildungsraten verwendet werden. In den Grundwasserneubildungsraten spiegeln sich neben der Niederschlagshöhe weitere, zum Teil einander beeinflussende Faktoren wie Verdunstung, Bodenart, Flächennutzung und Grundwasserflurabstand wider. Im Mittel beträgt die Grundwasserneubildung in Brandenburg 112 mm/a.

Etwa 8 Prozent der Landesfläche Brandenburgs weisen negative Grundwasserneubildungsraten mit bis zu  $-112$  mm/a, im Mittel  $-21$  mm/a, auf. Hier ist im langjährigen Durchschnitt die Zehrung aus dem Grundwasser durch Verdunstung und Exfiltration in die Gewässer größer als die Sickerwasserrate. Das gilt jedoch nur im Sinne der langjährigen wasserhaushaltlichen Bilanz. Auch in den Zehrgebieten versickern Niederschläge und treten zumindest saisonal in das Grundwasser ein. Somit ist auch in diesen Gebieten die Möglichkeit eines Stofftransportes mit Sickerwässern bis in das Grundwasser gegeben.

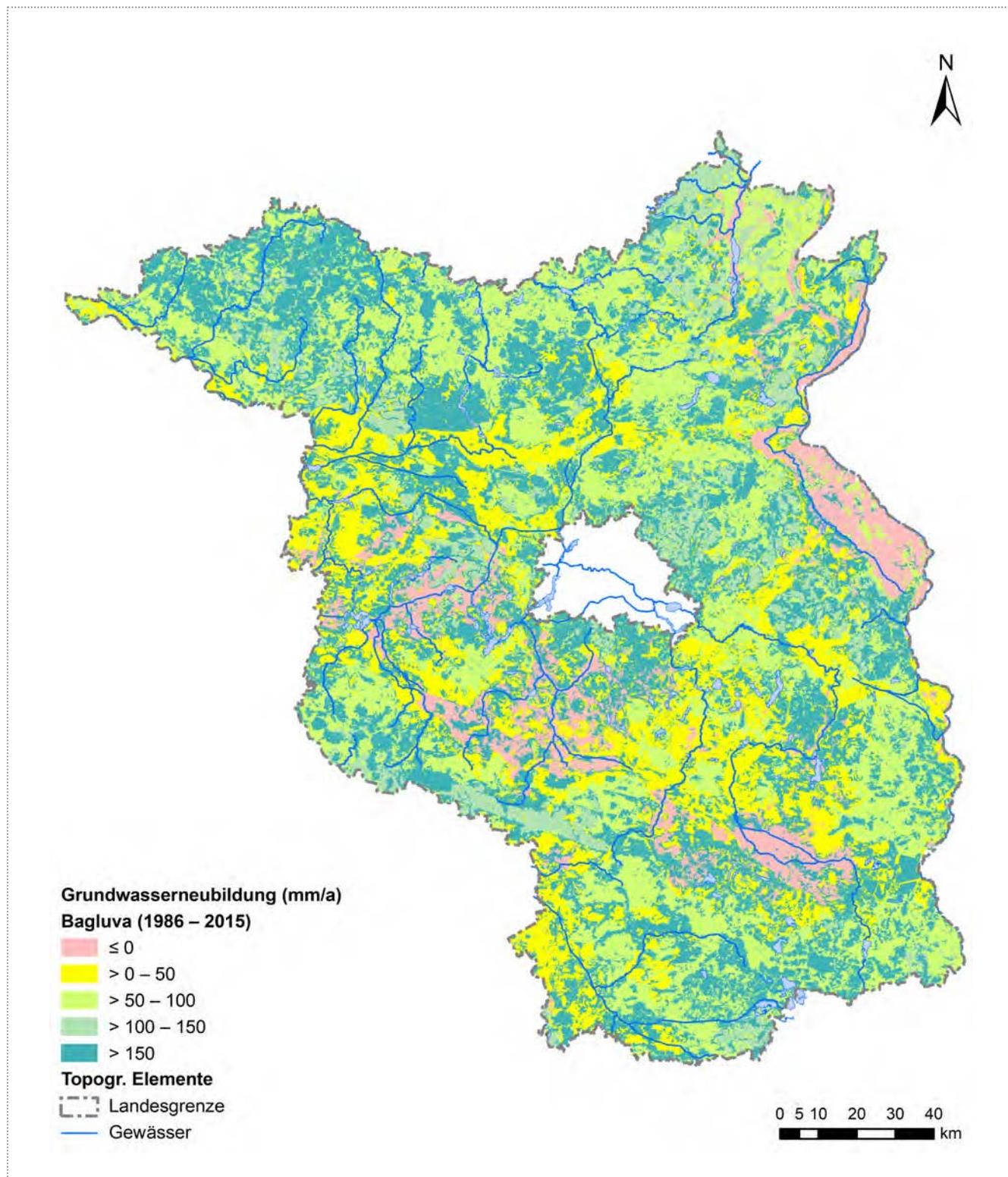


Abb. 3.7 Räumliche Verteilung der Grundwasserneubildung, Mittelwert der Zeitreihe 1986–2015 (LfU Brandenburg 2019)

Außerhalb der wasserhaushaltlichen Zehrflächen beträgt die mittlere Grundwasserneubildungsrate der Zeitreihe 1986–2015 im Landesdurchschnitt 128 mm/a, maximal 494 mm/a.

Aufgrund der unterschiedlichen Berechnungsverfahren lassen sich die im letzten (ArcEGMO Wasserhaushaltsmodell) und diesem Bericht dargestellten Grundwasserneubildungen nur eingeschränkt vergleichen.

Bereiche mit hohen Niederschlägen zeichnen sich in landwirtschaftlich genutzten Gebieten und bei Flurabständen von größer als 2 m auch durch erhöhte Grundwasserneubildung ab, so zum Beispiel in der Prignitz und dem Barnim. Daneben weisen Nadelwälder der Schorfheide trotz überdurchschnittlicher Niederschläge nur durchschnittliche bis geringe Grundwasserneubildungsraten auf. In der Uckermark werden trotz geringerer Niederschläge noch durchschnittliche Grundwasserneubildungsraten erreicht (vgl. Abb. 3.6 und Abb. 3.7). Überdurchschnittlich hohe Grundwasserneubildung wird auch auf den Kippenflächen der Niederlausitz ausgewiesen.

Ausgedehnte Zehrflächen befinden sich im Oderbruch, im Baruther Urstromtal (insbes. Spreewald) und an der Havel östlich von Brandenburg/Havel.

### 3.6 Grundwasserstände

Die Grundwasserdruckhöhen unterliegen zeitlichen Veränderungen, die an anthropogen unbeeinflussten Standorten charakteristische Verläufe v. a. in Abhängigkeit von der Grundwasserneubildungsrate und der Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung aufweisen. Exemplarisch sind nachfolgend die Ganglinien der Grundwasserdruckhöhen von zwei Messstellen aus dem Landesmessnetz dargestellt, die sich nur circa 12 km voneinander entfernt befinden, jedoch grundsätzlich differierende Standortbedingungen aufweisen. Eine Messstelle repräsentiert einen vorflutnahen Niederungsstandort und die andere einen unbedeckten Hochflächenstandort:

- Messstelle im Nuthe-Urstromtal (MKZ 39451179), Grundwasserleiter 1.2, unbedeckt, ungespannt, Flurabstand circa 1 m, Grundwasserneubildung 1986–2015: –28 mm/a
- Messstelle im Fläming-Hügelland (MKZ 40441090), Grundwasserleiter 2.1, unbedeckt, ungespannt, Flurabstand circa 9 m, Grundwasserneubildung 1986–2015: 230 mm/a

Die Ganglinie der Messstelle im Nuthe-Urstromtal (Abb. 3.8) zeigt ausgeprägte innerjährliche Schwankungen mit Maxima im Frühjahr und Minima im Herbst, bei einer innerjährlichen Spannbreite von durchschnittlich 0,6 m. Auf Grund des geringen Grundwasserflurabstandes wirken sich nasse und trockene Witterungsperioden unmittelbar auf die innerjährlichen Veränderungen der Grundwasserhöhen aus, wobei die Amplituden an diesem Standort durch die geringe Grundwasserneubildungsrate von –28 mm/a (d. h. im Durchschnitt leicht zehrende Verhältnisse) moderat ausfallen. In der Zeitreihe ist bis 2012 ein leichter Anstieg der Grundwasserstände zu beobachten, seitdem fallen die Grundwasserstände wieder. Die höchsten Grundwasserstände der 40-jährigen Reihe wurden im April 1994 und im Winter 2010/11 beobachtet, die tiefsten im Sommer 1976, 2003, 2006 und 2018.

In der Ganglinie der Messstelle im Fläming Hügelland (Abb. 3.9) beeinflusst der innerjährliche Gang der Grundwasserneubildung den Gang der Grundwasserstände nur sehr abgeschwächt. Der große Grundwasserflurabstand wirkt sich dämpfend auf kurzfristige Ereignisse aus. Die Messstelle, die sich weit entfernt von Vorflutern und Grundwasserentnahmen befindet, weist im mehrjährigen Abstand steigende und fallende Grundwasserstände auf: Prägnante Maxima sind 1974/75, 1982, 1988, 1995/96 und 2013/14 zu beobachten, auffallende Minima in den Jahren 1986, 1993, 2007 und 2009. Die erkennbare sieben- bis achtjährige Zyklizität weist bis 2006 einen fallenden Trend auf.

Ein Vergleich der Grundwasserganglinie der Messstelle im Fläming-Hügelland mit den prozentualen Abweichungen der jährlichen Niederschlagshöhe vom langjährigen Mittel (Abb. 3.9) zeigt, dass die Grundwasserstände mit etwa einjähriger Ver-

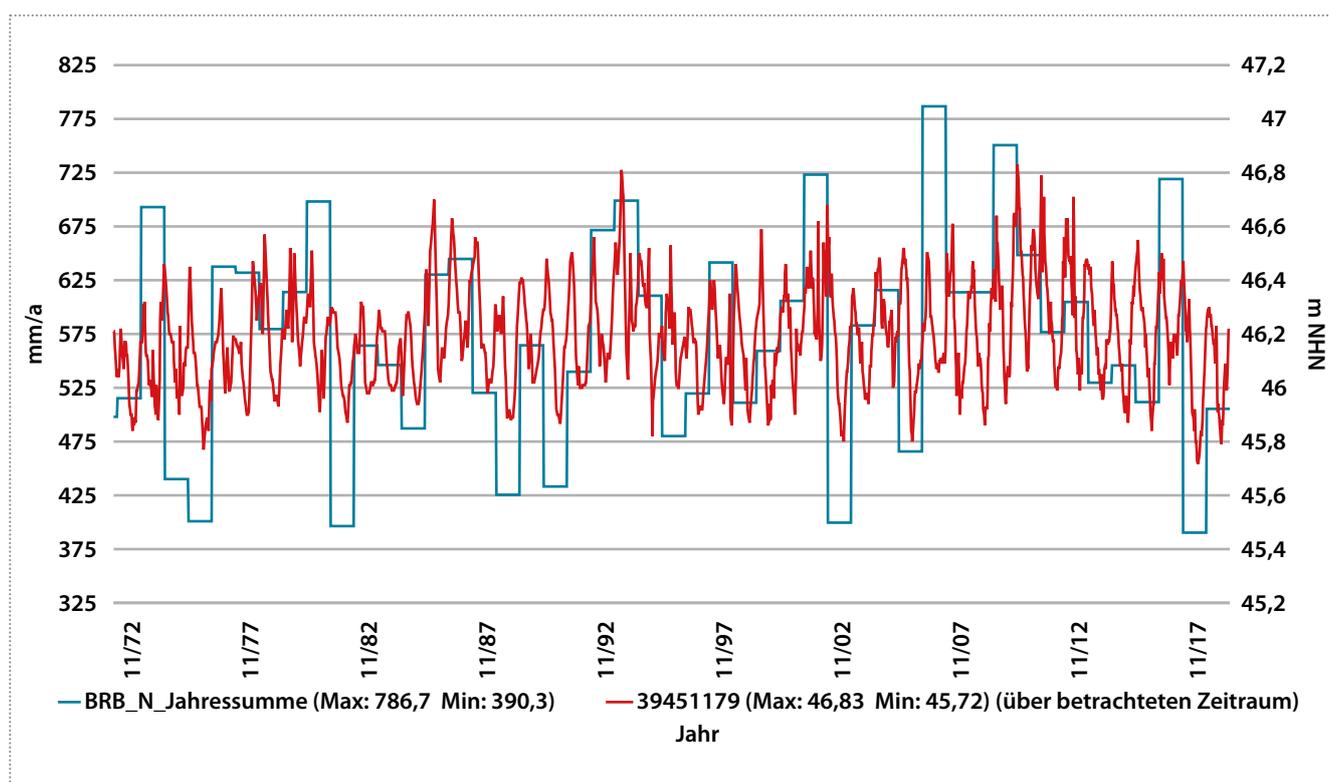


Abb. 3.8 Messstelle im Nuthe-Urstromtal (MKZ 39451179): Ganglinie der Grundwasserstände und Jahressummen des Niederschlags 1973–2018

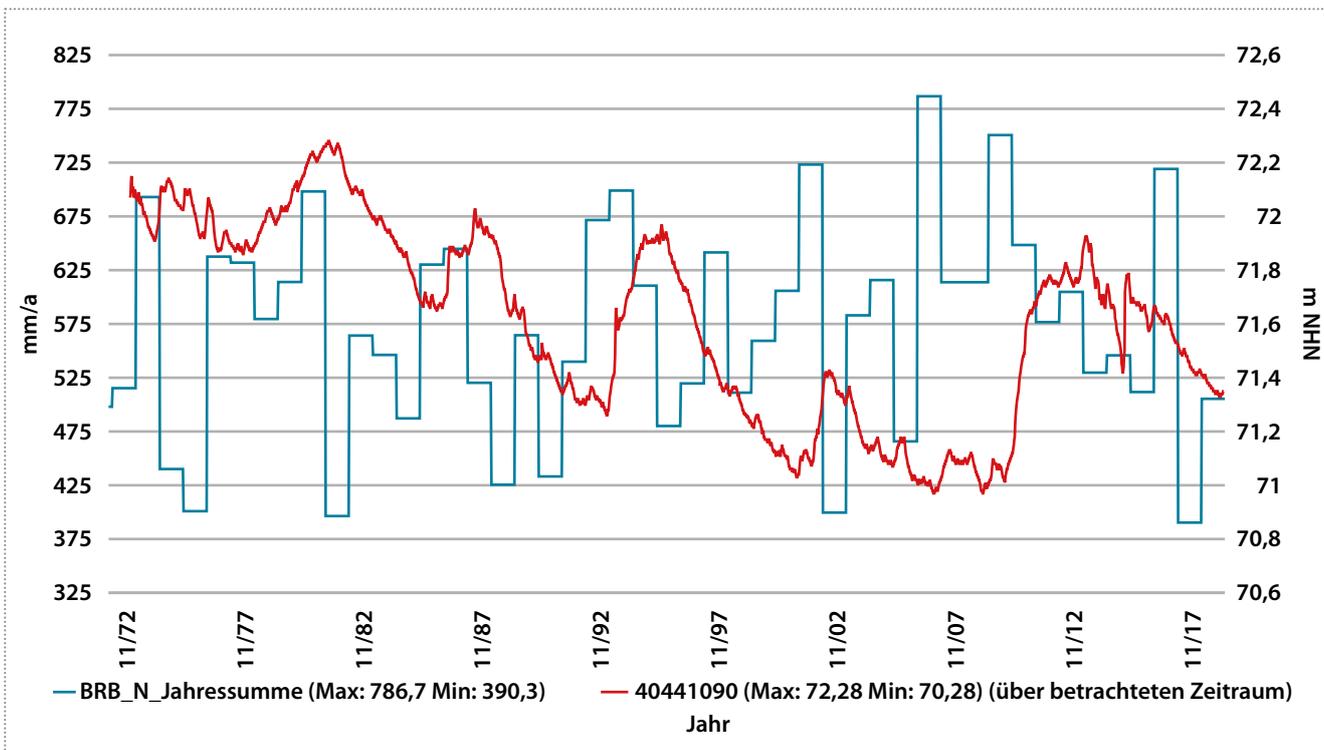


Abb. 3.9 Messstelle im Fläming-Hügelland (MKZ 40441090): Ganglinie der Grundwasserstände und Jahressummen des Niederschlags 1973 – 2018

zögerung auf Nass- und Trockenjahre reagieren. So begann nach dem niederschlagsreichen Jahr 2010 der Grundwasseranstieg erst mit Beginn des hydrologischen Jahres 2011 und setzte sich 2012 trotz unterdurchschnittlicher Niederschlagsmengen noch fort, während die Ganglinie der Messstelle im Nuthe-Urstromtal einen Abfall der Grundwasserstände um 0,8 m im Verlauf des Jahres 2012 zeigte. Auf das niederschlagsreichste Jahr im Berichtszeitraum, 2017, folgte in keiner der beiden Messstellen ein Anstieg des Grundwasserstands. Das extrem niederschlagsarme Jahr 2018 führte stattdessen zu weiter sinkenden Wasserständen.

### 3.7 Flächennutzung

Die durch die Landschaftsgenese geprägten Bodenarten und Grundwasserhältnisse waren bestimmend bei der Herausbildung der Kulturlandschaft und spiegeln sich mit gewissen Einschränkungen in den betrachteten Flächennutzungsarten Ackerland, Grünland, Wald und Siedlung wider.

In den Niederungs- und Auenlandschaften mit flurnahen Grundwasserständen dominiert Grünland. Mit zunehmenden Grundwasserflurabständen nimmt dort der Anteil ackerbaulich genutzter Flächen zu. Wald findet sich vorrangig als Auenwald in vermoorten Bereichen oder auf Sandflächen von Binnendünen.

Auf den Grundmoränenplatten mit fruchtbaren Lehmböden dominiert Ackerland. Die Waldnutzung kennzeichnet hier Bereiche mit mächtigeren Schichten aus Schmelzwassersanden oder Dünensanden.

Auf den Endmoränen und Sandern der Eisrandlagen ist vorwiegend Wald verbreitet, es finden sich jedoch auch landwirtschaftlich genutzte Flächen.

Etwa 38 Prozent der Landesfläche Brandenburgs werden als Ackerland bewirtschaftet und etwa 37 Prozent sind Waldgebiete (Abb. 3.10). Die restlichen Flächenanteile entfallen auf landwirtschaftlich genutztes Grünland, Siedlungen sowie die Kategorie „sonstige Nutzungen“, in der die Flächen zusammengefasst sind, die nicht den vier auszuwertenden Nutzungsformen zuzuordnen sind.

Neben der ackerbaulichen Nutzung können auch von weiteren, der Landwirtschaft zuzurechnenden Nutzungen wie Tierhaltungen und Biogasanlagen, Beeinflussungen auf die Grundwasserbeschaffenheit ausgehen. Diese wären unmittelbar im Umfeld von Tierhaltungen und Anlagen und indirekt auf Flächen, auf denen die Wirtschaftsdünger ausgebracht werden, zu erwarten.

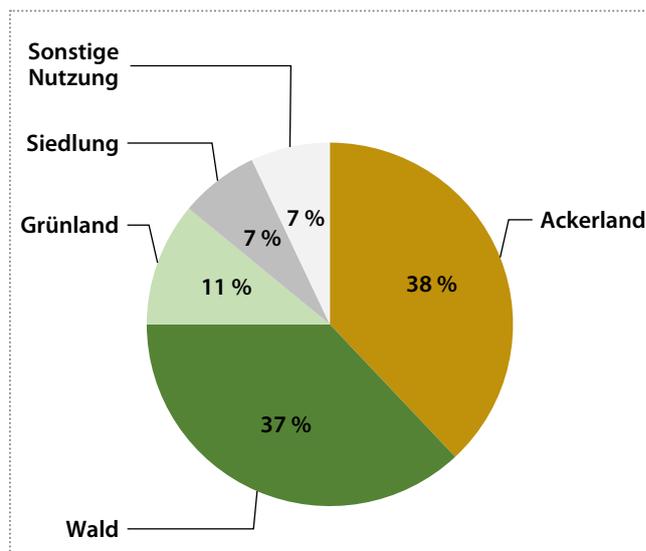


Abb. 3.10 Übersicht der Flächennutzung in Brandenburg in Prozent

# 4 Datengrundlagen, Datenbearbeitung und Prüfung der Analyseergebnisse

## 4.1 Datengrundlagen

### Anzahl Messstellen

Für die Auswertung des Berichtszeitraums 2013–2018 standen die Analysen der in Abschnitt 2.1.4 aufgeführten 921 Messstellen zur Verfügung.

Davon wurden 58 Messstellen nur im Kapitel 5 (Beeinflussungstypen) und 8.4 (Hydrochemischer Vergleich von Mehrfachmessstellen) ausgewertet. Dabei handelt es sich um zusätzliche Messstellen in Messstellengruppen.

Abzüglich dieser wurden für die landesweiten statistischen Auswertungen demnach 863 Messstellen verwendet.

Das Landesmessnetz B beinhaltet auch eine Auswahl von Entnahmestellen der Wasserversorgungsunternehmen (siehe auch Kapitel 2). Diese wurden jedoch nur einbezogen, wenn sie zusätzlich vom LfU beprobt wurden.

### Messstellendichte

Unter Berücksichtigung aller Messstellen liegt die Messstellendichte landesweit bei einer Messstelle je 34 Quadratkilometer.

Die Messstellendichte ist in den Grundwasserkörpern, die gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie im schlechten chemischen Zustand sind, durch die Messstellen des operativen Monitorings (Teil des Landesmessnetz B) beziehungsweise des Sondermessnetzes WRRRL-Bergbau höher als in anderen Gebieten.

### Filterlagen

Für die vorliegende Auswertung wurden die Messstellen in fünf Filterlagenklassen eingeteilt (Tab. 4.1). Die meisten Messstellen sind in Tiefen von 5 bis 10 Metern (26 Prozent) und 10 bis 25 Metern Tiefe (36 Prozent) verfiltert.

Tab. 4.1 Verteilung der ausgewerteten Messstellen in Filterlagenklassen

Filteroberkante in Meter unter GOK	< 5	5 – 10	10 – 25	25 – 50	> 50
Anzahl Messstellen	104	218	296	146	56
Anteil in Prozent	13	26	36	18	7

### Anzahl Analysen

Zu den 863 Messstellen, die für die landesweiten Auswertungen verwendet wurden, standen aus dem Berichtszeitraum 2013–2018 insgesamt 7.327 Grundwasseranalysen zur Verfügung. Die Messstellen wurden dabei überwiegend zweimal jährlich, im Frühjahr und Herbst, untersucht.

## Parameterspektrum

Das Parameterspektrum umfasst insgesamt 142 Stoffe von denen 27 standardmäßig in jeder Grundwasserprobe untersucht werden. Diese Parameter lassen sich zu folgenden Gruppen zusammenfassen:

- Vor-Ort-Parameter
- Hauptinhaltsstoffe (Hauptkationen und anionen)
- Halbmetalle Bor, Arsen
- Ausgewählte Metalle
- Trichlorethen und Tetrachlorethen

Zusätzlich erfolgt in festgelegten Zyklen eine Analyse ausgewählter Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe und deren Abbauprodukte sowie verschiedener LHKW, PAK, BTEX und Arzneimittel. Eine Übersicht der untersuchten Parameter enthält Anhang 1.

## 4.2 Datenbearbeitung

### Grundwasserleiterkomplexe

In Brandenburg werden drei Grundwasserleiterkomplexe unterschieden (Manhenke 2002):

Grundwasserleiterkomplex 1: weitgehend unbedeckter Grundwasserleiterkomplex (Weichsel-Sedimente, in der Mitte und im Süden Brandenburgs auch saale-/elsterkaltzeitliche Bildungen)

Grundwasserleiterkomplex 2: weitgehend von Geschiebemergel bedeckter Grundwasserleiterkomplex (durchlässige saalekaltzeitliche und/oder elsterkaltzeitliche Sedimente außerhalb von Rinnen)

Grundwasserleiterkomplex 3: tieferer, oberhalb des Rupeltons gelegener Grundwasserleiterkomplex (tiefere quartäre und tertiäre Schichten, zum Beispiel Schmelzwassersande der pleistozänen Rinnen, miozäner Quarzsandhorizont)

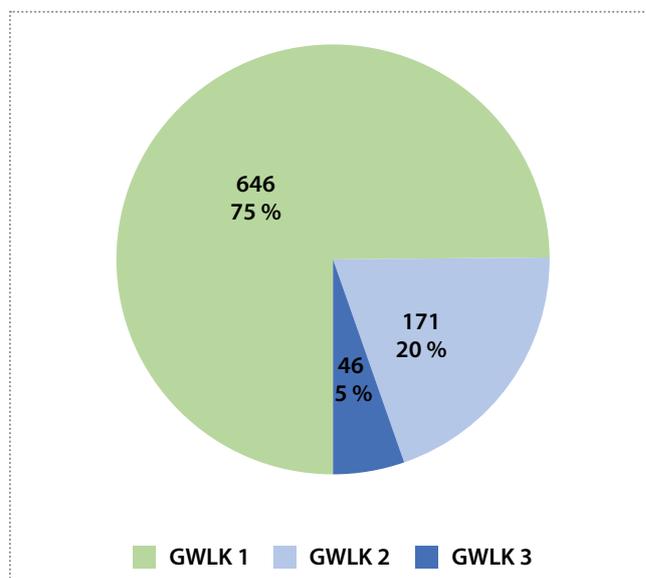


Abb. 4.1 Anzahl und Anteil der Messstellen in den Grundwasserleiterkomplexen (GWLK)

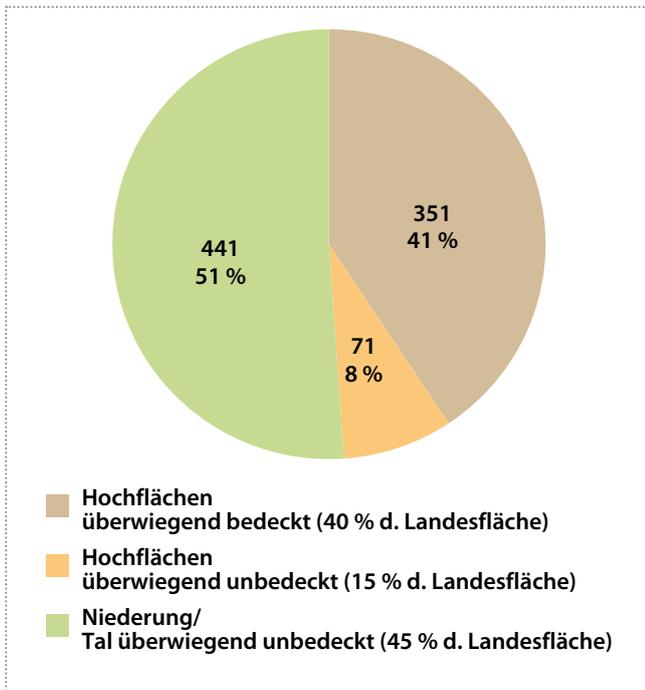


Abb. 4.2 Anzahl und Anteil der Messstellen in den generalisierten Landschaftsformen

Für die Messstellen des Sondermessnetzes WRRL-Bergbau lag die Grundwasserleiter-Zuordnung in der Bergbau-Nomenklatur vor, die jedoch keine Unterscheidung der quartären Grundwasserleiterkomplexe 1 und 2 ermöglicht. Für die Auswertung wurden diese Messstellen dem Grundwasserleiterkomplex 1 zugewiesen.

Die größte Anzahl der Messstellen ist im Grundwasserleiterkomplex 1 ausgebaut (Abb. 4.1), im Grundwasserleiterkomplex 3 liegen nur 46 Messstellen. Die Karte in Abb. 4.4 zeigt die Lage der Messstellen und deren Zuordnung zu den Grundwasserleiterkomplexen. Die Messstellen des Grundwasserleiterkomplex 3 decken die Landesfläche fragmentarisch ab.

### Landschaftsform und Flächennutzung

Mittels GIS-Verschnitt wurde die Flächennutzung und die generalisierte Landschaftsform am Standort der Messstellen bestimmt. Die Zuweisung der Flächennutzung erfolgte anhand des Digitalen Feldblockkatasters (DFBK) und außerhalb der DFBK-Flurstücke anhand des Corine Landcover (CLC) Datensatzes. Die detaillierten CLC-Kategorien wurden für die Auswertung im vorliegenden Bericht zu fünf Kategorien aggregiert:

- Wald
- Ackerland
- Grünland
- Siedlung
- Sonstige

In der Kategorie „Sonstige“ sind Flächennutzungen enthalten, die den anderen Kategorien nicht eindeutig zugeordnet werden konnten, vor allem Rekultivierungsflächen des Braunkohletagebaus (CLC „Heiden und Moorheiden“, „Strände, Dünen, Sandflächen“, „Wald-Strauch-Übergangsstadien“).

Abb. 4.2 zeigt die Verteilung der Messstellen auf die Landschaftsformen. Je eine Hälfte liegt in den Niederungen und die andere in den Hochflächen. Auf den Hochflächen dominieren Messstellen in überwiegend bedeckten Grundwasserleitern. Die prozentualen Anteile der Messstellen in den Landschaftsformen stimmen im

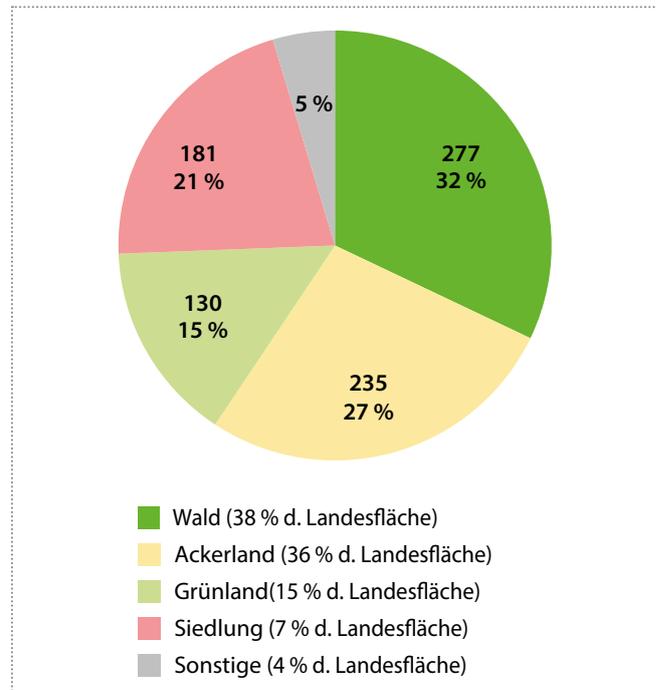


Abb. 4.3 Anzahl und Anteil der Messstellen in den aggregierten Flächennutzungen

Wesentlichen mit den Flächenanteilen der Landschaftsformen an der Landesfläche (45 Prozent Niederungen, 40 Prozent bedeckte, 15 Prozent unbedeckte Hochflächen) überein.

Die Verteilung der Messstellen auf die aggregierten Flächennutzungskategorien (Abb. 4.3) zeigt eine ähnliche Verteilung von Messstellen auf Ackerland und Wald und geringere Anteile auf Grünland und in Siedlungsgebieten. Im Verhältnis zum Anteil an Siedlungen an der Landesfläche gibt es sehr viele Messstellen in Siedlungsgebieten. Dies liegt an der deutlich besseren Erreichbarkeit von Messstellen, welche in Siedlungsgebieten errichtet wurden. Bei der Betrachtung der Flächennutzung am Standort der Messstelle muss berücksichtigt werden, dass diese nicht unbedingt auch die Flächennutzung darstellt, an der das Grundwasser gebildet wurde, das am Filter der jeweiligen Messstelle vorbeifließt.

### 4.3 Plausibilitätsprüfung

Die verwendeten Grundwasseranalysen wurden einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Diese Prüfung beinhaltet

- formale Kriterien (zum Beispiel die korrekte Angabe von Maßeinheiten und Bestimmungsgrenzen oder die rechtzeitige Übergabe der Probe an das Labor innerhalb von 36 Stunden)
- Vergleiche von Messwerten mit den bisherigen Messwerten der Messstelle (anhand von Mittelwert und Standardabweichung sowie anhand der 5. und 95. Perzentile)
- hydrochemisch begründete Plausibilitätskriterien (zum Beispiel Gelöst- und Gesamt-Konzentrationen, sich gegenseitig ausschließende redoxabhängige Spezies)
- die Berechnung des Ionenbilanzfehlers.

Diese Prüfungen wurden mit dem Tool „Plausibilitätsprüfung Grundwasserbeschaffenheit“ durchgeführt (MLUK Brandenburg 2022).

Offensichtlich unplausible Analysen beziehungsweise Messwerte, die nicht anhand der originalen Prüfberichte nach Abstimmung mit dem LfU korrigiert werden konnten, wurden für die weitere Auswertung nicht herangezogen.

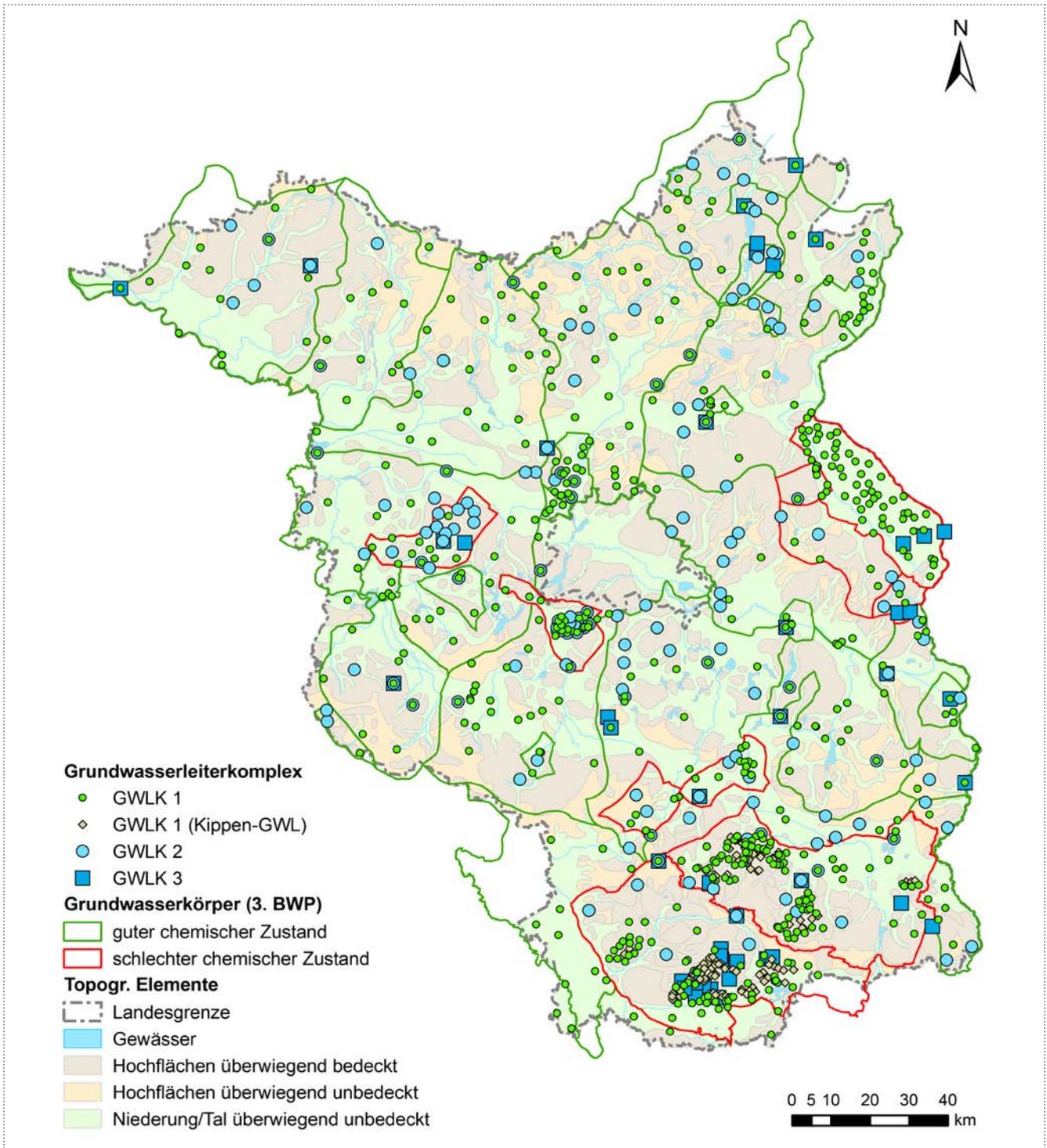


Abb. 4.4 Karte der Messstellen mit Angabe des Grundwasserleiterkomplexes

Anhand des Ionenbilanzfehlers werden die Analysen in fünf sogenannte Qualitätssicherungsklassen (QS-Klassen) eingeteilt:

1. Ionenbilanzfehler unter 2 Prozent
2. Ionenbilanzfehler zwischen 2 und 5 Prozent
3. Ionenbilanzfehler zwischen 5 und 10 Prozent
4. Ionenbilanzfehler über 10 Prozent
5. unvollständige Analyse

Eine Analyse ist unvollständig, wenn mindestens einer der Hauptinhaltsstoffe Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Chlorid, Sulfat oder Hydrogencarbonat fehlt.

Die meisten Analysen liegen in der QS-Klasse 1. Die Häufigkeitsverteilung der Ionenbilanzfehler (Abb. 4.5) zeigt, dass über 80 Prozent der Analysen in QS-Klasse 1 oder 2 liegen und damit Ionenbilanzfehler unter 5 Prozent aufweisen.

In die vorliegende Auswertung wurden nur vollständige (QS-Klasse < 5 Prozent) und gemäß der Plausibilitätsprüfung freigegebene Analysen beziehungsweise freigegebene Messwerte einbezogen.

#### 4.4 Behandlung der Bestimmungsgrenzen

Die Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze („< BG“) gingen in die Plausibilitätsprüfung und in die statistischen Auswertungen mit dem halben Wert der Bestimmungsgrenze ein (gemäß GWRL 2006).

#### 4.5 Berechnung von Summenparametern und Mittelwerten

Zur Vorbereitung der Typzuordnung in Kapitel 5 wurden zunächst für die Stoffgruppen

- LHKW (einschl. Vinylchlorid)

- PCE+TCE (Tetrachlorethen + Trichlorethen)
- PAK
- BTEX
- Pflanzenschutzmittel (Wirkstoffe und relevante Metaboliten)

Summen berechnet, wenn mindestens ein Einzelstoff vorhanden war. Ein Sonderfall ist dabei die LHKW-Summe, die nicht berechnet wurde, wenn nur die Werte der Einzelstoffe PCE und TCE vorlagen. Einzelstoff-Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze wurden bei der Summenbildung als Null gerechnet. Waren alle Einzelwerte unter der Bestimmungsgrenze, wurde als Summe „< max. BG in den Einzelstoffen“ angegeben.

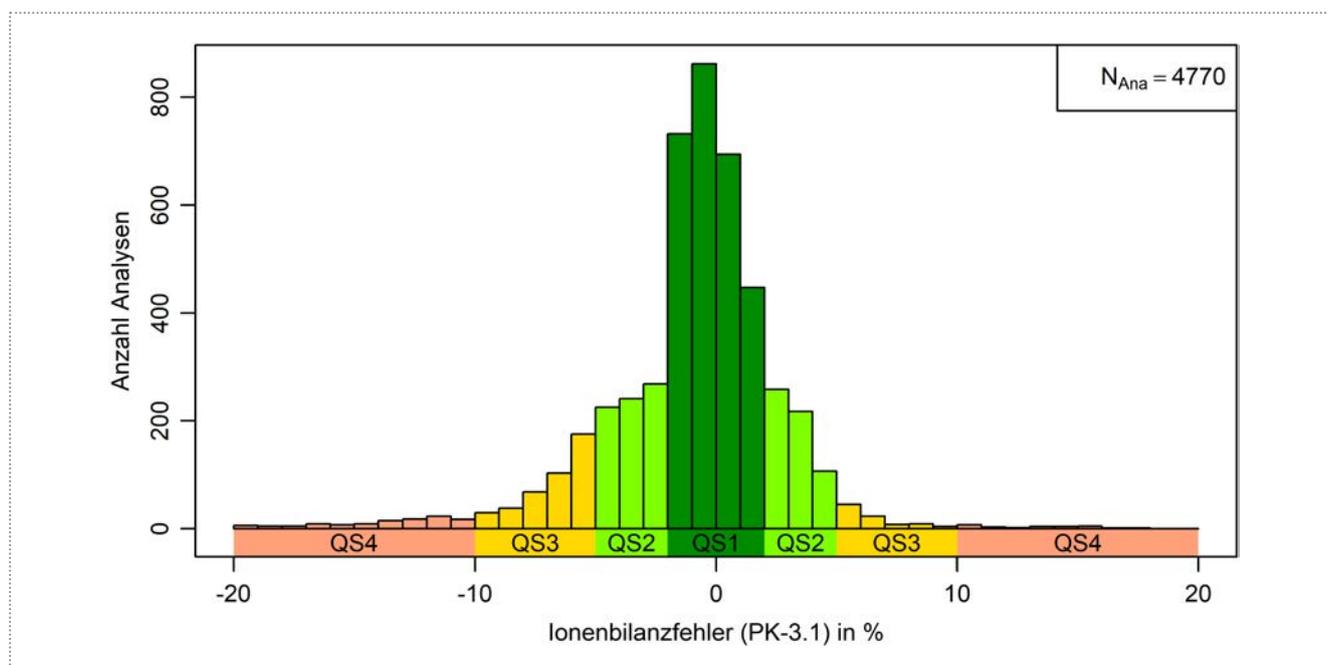


Abb. 4.5 Häufigkeitsverteilungen des Ionenbilanzfehlers aller im Rahmen des Projekts geprüften Analysen ( $N_{ana}$  = Anzahl Analysen); PK-3.1 bezeichnet die Plausibilitätskontrolle der Analyse

# 5 Beeinflussungstypen der Grundwasserbeschaffenheit

## 5.1 Einführung

Zur Bewertung des anthropogenen Einflusses auf die Grundwasserbeschaffenheit wird den Grundwassermessstellen in Brandenburg anhand der vorliegenden Grundwasseranalysen ein sogenannter hydrochemischer Beeinflussungstyp zugewiesen.

## 5.2 Methodik

Das Klassifikationsschema zur Zuordnung von hydrochemischen Beeinflussungstypen ist bereits 2012 entstanden und wurde stetig weiterentwickelt. Nach einer Überarbeitung in Schenke (2016) wurden für diesen Bericht noch weitere Anpassungen vorgenommen. Im Unterschied zur Klassifikation im letzten Bericht (LfU, 2015) können den Grundwassermessstellen nicht nur ein, sondern mehrere Beeinflussungstypen zugewiesen werden.

Die Zuordnung zu Beeinflussungstypen basiert auf dem in Abb. 5.1 dargestellten Klassifizierungsschema. Die Beeinflussungstypen gliedern sich in drei Gruppen:

- anthropogene Beeinflussung („Haupttypen“)
- Anzeichen anthropogener Beeinflussung („Anzeichtypen“)
- geogene Beeinflussung

In den Haupt- und Anzeichtypen werden jeweils vier Arten anthropogener Beeinflussungen anhand entsprechender Stoffgruppen unterschieden:

1. *Schadstoffe* (organische Schadstoffe außer Pflanzenschutzmittel, zum Beispiel LHKW)
2. *Pflanzenschutzmittel* (Wirkstoffe, relevante und nicht relevante Metaboliten)
3. *Versauerung*
4. *Nährstoffe*

Für jede Messstelle wurden die in Abb. 5.1 genannten Kriterien geprüft und die entsprechenden Beeinflussungstypen zugewiesen. Die Haupttypen 1–4 und die entsprechenden Anzeichtypen 5.1–5.4 schließen sich jedoch gegenseitig aus (Beispiel: eine Grundwassermessstelle mit Zuordnung zu Typ 1 *Schadstoffe* kann parallel nicht Typ 5.1 *Anzeichen Schadstoffe* zugeordnet sein). Fallen alle Prüfungen negativ aus, wird der Messstelle der Typ 7 „geogen/unbeeinflusst“ zugeordnet.

Bei den Prüfungen werden je nach Beeinflussungstyp unterschiedlich aggregierte Werte verwendet:

- Typen *Schadstoffe* und *Pflanzenschutzmittel* sowie Charakterisierung des Ammoniumgehalts der Messstelle nach Jahnke (BTU Cottbus 2011, 2013): Einzelanalysen des gesamten Berichtszeitraums (2013–2018)
- Typen *Nährstoffe*, *Versauerung*, *geogen salinärer Einfluss*: Mittelwert der aktuellsten 2 Analysen (überwiegend aus 2018)

Die Typzuweisung erfolgte für alle Messstellen. Im Folgenden werden die einzelnen Beeinflussungstypen charakterisiert.

### Typ Schadstoffe (Typen 1 und 5.1)

Für diese Beeinflussungstypen wurden jeweils alle Einzelanalysen des gesamten Datensatzes 2013–2018 herangezogen.

Es wurden für jede Messstelle zunächst die Kriterien für den Haupttyp 1 geprüft (mind. zweimalige Überschreitungen von Bor > 500 µg/l oder organischen Schadstoffen > GFS). Waren die Kriterien für den Haupttyp nicht erfüllt, wurde der entsprechende Anzeichtyp 5.1 geprüft (mind. zweimaliger Nachweis organischer Schadstoffe über der Bestimmungsgrenze beziehungsweise AOX > 20 µg/l).

Als „organische Schadstoffe“ im Sinne dieser Typen zählen die folgenden Stoffgruppen (Einzelstoffe und zugehörige Geringfügigkeitsschwellenwerte siehe Anhang 2):

- LHKW und Aromaten
- BTEX
- PAK

Für den Anzeichtyp 5.1 *Schadstoffe* wird zusätzlich AOX bewertet. Da es keinen Geringfügigkeitsschwellenwert gibt, erfolgt aber keine Prüfung im Haupttyp.

Pflanzenschutzmittel und ihre Metaboliten werden in den Schadstoff-Typen 1 und 5.1 nicht betrachtet, sondern in den separaten Typen 2 und 5.2.

### Typ Pflanzenschutzmittel (Typen 2 und 5.2)

Für diese Beeinflussungstypen wurden jeweils alle Einzelanalysen des gesamten Datensatzes 2013–2018 herangezogen.

Es wurden für jede Messstelle zunächst die Kriterien für den Haupttyp 2 geprüft. Dabei wurden die Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe und die relevanten Metaboliten und auf eine mindestens zweimalige Überschreitung des Schwellenwerts der GrwV (bei diesen Parametern identisch zum Geringfügigkeitsschwellenwert der LAWA und Grenzwert der TrinkwV) geprüft. Die Konzentrationen der nicht relevanten Metaboliten wurden mit dem gesundheitlichen Orientierungswert (GOW) des UBA verglichen (parameterabhängig 1 beziehungsweise 3 µg/l). Die einzelnen Stoffe und die zugehörigen Schwellenwerte beziehungsweise GOW sind in Anhang 2 zusammengestellt.

Waren die Kriterien für einen Haupttyp nicht erfüllt, wurde der entsprechende Anzeichtyp 5.2 geprüft (mindestens zweimaliger Nachweis von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen, relevanten oder nicht relevanten Metaboliten über der Bestimmungsgrenze).

### Typ Versauerung (Typen 3 und 5.3)

Für diese Beeinflussungstypen wurden die Mittelwerte der aktuellsten 2 Analysen herangezogen.

Zunächst wurden die Versauerungskriterien (Punktzahlen) nach Merten (2003) berechnet, dann anhand der Punktzahlen, Sulfat-Konzentration und pH-Wert die Einordnung in die Typen vorgenommen.

### Anthropogene Beeinflussung (Haupttypen):

#### Typ 1. Schadstoffe

in Einzelanalysen mind. 2 Nachweise von:

- Bor > 500 µg/l
- org. Schadstoffe > GFS

#### Typ 2. Pflanzenschutzmittel

in Einzelanalysen mind. 2 Nachweise von:

- PSM (Wirkstoffe, rM) Einzelstoff > 0,1 µg/l oder  $\Sigma$ PSM > 0,5 µg/l
- nrM > GOW

#### Typ 3. Versauerung

Mittelwert der 2 aktuellsten Analysen:

- Sulfat  $\geq$  250 mg/l und pH < 6,5 und Versauerungskriterien nach Merten > 3 Punkte

#### Typ 4. Nährstoffe

Mittelwert der 2 aktuellsten Analysen:

- Ammonium  $\geq$  1,5 mg/l und Mst. nach Jahnke (Mehrheit Einzelanalysen) „NH<sub>4</sub><sup>+</sup> anthr.“
- Nitrat  $\geq$  15 mg/l
- ortho-Phosphat > 0,5 mg/l
- Kalium  $\geq$  10 mg/l

### Anzeichen anthropogener Beeinflussung (Anzeichtypen):

#### Typ 5.1 Anzeichen Schadstoffe

in Einzelanalysen mind. 2 Nachweise von:

- org. Schadstoffe > BG
- AOX > 20 µg/l (Prüfwert LfU)

#### Typ 5.2 Anzeichen Pflanzenschutzmittel

in Einzelanalysen mind. 2 Nachweise von:

- PSM (Wirkstoffe, rM) > BG
- nrM > BG

#### Typ 5.3 Anzeichen Versauerung

Mittelwert der 2 aktuellsten Analysen:

- Sulfat  $\geq$  50 mg/l und pH < 6,5 und Versauerungskriterien nach Merten > 1 Punkt
- Sulfat  $\geq$  250 mg/l und  $6,5 \leq$  pH  $\leq$  7 und Versauerungskrit. nach Merten > 1,5 Punkte

#### Typ 5.4 Anzeichen Nährstoffe

Mittelwert der 2 aktuellsten Analysen:

- Mst. nach Jahnke (Mehrheit Einzelanalysen) „NH<sub>4</sub><sup>+</sup> anthropogen“
- Nitrat  $\geq$  2 mg/l
- Kalium  $\geq$  7 mg/l und Äquivalentkonz. K<sup>+</sup>/NH<sup>+</sup> > 0,1
- Chlorid  $\geq$  50 mg/l und Äquivalentkonz. K<sup>+</sup>/NH<sup>+</sup> > 0,1
- Bor (mg/l) > 0,150 mg/l + 0,0006 · Chlorid (in mg/l)
- ortho-Phosphat > 0,3 mg/l

### Geogene Beeinflussung:

#### Typ 6. Geogen salinärer Einfluss

• Mst. ist nicht in den Typen 1 – 5 → Prüfung mit GEBAH

- Mst. ist in den Typen 1 – 5 und Chlorid (Mittelwert der 2 aktuellsten Analysen) > 50 mg/l → Prüfung mit GEBAH
- Einzelfallprüfung bei Jahnke-Methode ergab geogen salinaren Einfluss

#### Typ 7. Geogen/ unbeeinflusst

Mst. ist nicht in den Typen 1 – 6

• Aufzählungspunkte sind „oder“-Bedingungen

Abb. 5.1 Klassifikationsschema der multiplen Beeinflussungstypen

Die geochemischen **Kriterien für Versauerung** wurden von Merten (2003) formuliert und im vorliegenden Bericht um eine Punktebewertung ergänzt. Die Versauerungskriterien sind in Anhang 3 zusammengestellt.

### Typ Nährstoffe (Typen 4 und 5.4)

Für diese Beeinflussungstypen wurden die Mittelwerte der aktuellsten 2 Analysen herangezogen. Die vorbereitende Bewertung der Ammoniumkonzentration der Messstellen (anthropogen/geogen) mit der statistisch begründeten Methode nach Jahnke (BTU Cottbus 2011, 2013) erfolgte jedoch anhand aller Einzelanalysen des gesamten Datensatzes 2013–2018. Die Messstellenbewertung nach Jahnke stellt ein unterstützendes Kriterium für die Typzuordnung mittels des Ammonium-Mittelwerts der aktuellsten 2 Analysen dar.

Die Methode zur Abschätzung der Herkunft von Ammonium wurde auf alle Messstellen angewendet. Die Ergebnisse der Methode werden hier als Fall 1 bis Fall 4 bezeichnet. Die Fälle 1 und 3 deuten auf eine „unspezifische“ Herkunft aus dem geogenen oder ubiquitär überprägten (das heißt keinen konkreten Belastungen zuzuordnen) Hintergrund hin. Die Fälle 2 und 4 weisen auf eine anthropogene Herkunft des Ammoniums hin.

Im ersten Schritt wurden für jede Analyse die *Indikatorparameter* auf anthropogenen Einfluss (Nitrat, Kalium, Chlorid, Bor) geprüft (Tab. 5.1).

Im zweiten Schritt erfolgt dann die Bewertung der Ammoniumkonzentration der Analyse anhand eines Vergleichswerts, der von der Indikation eines anthropogenen Einflusses abhängt. Die Analyse wurde entsprechend der Indikation und der Bewertung der  $\text{NH}_4^+$ -Konzentration in die Fälle 1 bis 4 eingeordnet (Tab. 5.2).

Die *Endaussage* „ $\text{NH}_4^+$  anthropogen“ oder „ $\text{NH}_4^+$  unspezifisch“ wurde anhand der Mehrheit der Einzelergebnisse der Analysen zugeordnet.

Tab. 5.1 Indikatorparameter und Kriterien für anthropogenen Einfluss nach Jahnke (BTU Cottbus 2013, 2011)

Indikatorparameter	Kriterium	zusätzlich zu erfüllende Bedingung (Äquivalentkonz.)
Nitrat	> 2 mg/l	–
Kalium	> 7 mg/l	$\text{K}^+/\text{Na}^+ > 0,1$
Chlorid	> 50 mg/l	$\text{K}^+/\text{Na}^+ > 0,1$
Bor	> 0,15 mg/l + $0,0006 \cdot \text{Cl}^-$ (in mg/l)	$\text{HCO}_3^- \leq \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$

Tab. 5.2 Einschätzung der Herkunft des Ammoniumgehalts (unspezifisch oder anthropogen) einer Messstelle nach Jahnke (BTU Cottbus 2013, 2011)

Indikation anthropogener Einfluss (Tab. 5.1)	$\text{NH}_4^+ \leq 0,5 \text{ mg/l}$	$0,5 \text{ mg/l} < \text{NH}_4^+ \leq 3 \text{ mg/l}$	$\text{NH}_4^+ > 3 \text{ mg/l}$
	ja	unspezifisch (Fall 1)	anthropogen (Fall 2)
nein	unspezifisch (Fall 3)		Einzelfallprüfung →
			• anthropogen (Fall 4)
			• geogen salinar (Fall 5)

### Typ Geogen salinärer Einfluss (Typ 6)

Mit diesem Typ wird ein geogen salinärer Einfluss („Grundwasser- versalzung“) charakterisiert, der auch zusätzlich zu den anthropogenen Beeinflussungstypen 1–5 aufgrund der in Brandenburg typischen Binnerversalzung auftreten kann. Diese Zuordnung erfolgte vorrangig durch die Auswertung der aktuellsten 2 Analysen mit GEBAH (Rechlin 2008; Brose 2017). Das hydrochemische Genesemodell GEBAH des LBGR ist in der Veröffentlichung zum letzten Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit beschrieben (LfU Brandenburg 2015b).

Das Klassifizierungsschema der Beeinflussungstypen sieht eine Prüfung mit GEBAH für alle „anthropogen unbeeinflussten“ Messstellen (d. h. in keinem der Typen 1–5) und für alle anthropogen beeinflussten Messstellen (mindestens eine Zuweisung zu den Typen 1–5) mit Chlorid über 50 mg/l vor.

Messstellen, für die bei der Einzelfallprüfung der Jahnke-Methode (Tab. 5.2) bereits ein geogen salinärer Einfluss festgestellt wurde, erhalten ebenfalls den Typ 6.

Bei insgesamt 18 anthropogen unbeeinflussten Messstellen wurde ein geogen salinärer Einfluss festgestellt.

Unter den Messstellen mit den Beeinflussungstypen 1–5 und Chlorid > 50 mg/l zeigen 7 Messstellen nach GEBAH einen geogen salinären Einfluss. Bei 17 weiteren Messstellen könnte möglicherweise ein geogen salinärer Einfluss vorliegen, die Indikationen in GEBAH sind aber nicht deutlich genug oder lassen sich nicht von anderen Einflüssen (Landwirtschaft, Rieselfelder, Altlasten) separieren. Dies betrifft vor allem Messstellen im Oderbruch und südlich Berlin/östlich Potsdam.

### Zusammenfassung der Beeinflussungstypen für die Kartendarstellung

Zur Darstellung in den Karten werden die Beeinflussungstypen zu drei Kategorien zusammengefasst:

- **anthropogener Einfluss** (Symbol: Quadrat): die Messstelle weist mindestens einen der anthropogenen Haupttypen 1–4 auf.
- **Anzeichen anthropogenen Einflusses** (Symbol: Dreieck): die Messstelle weist mindestens einen der anthropogenen

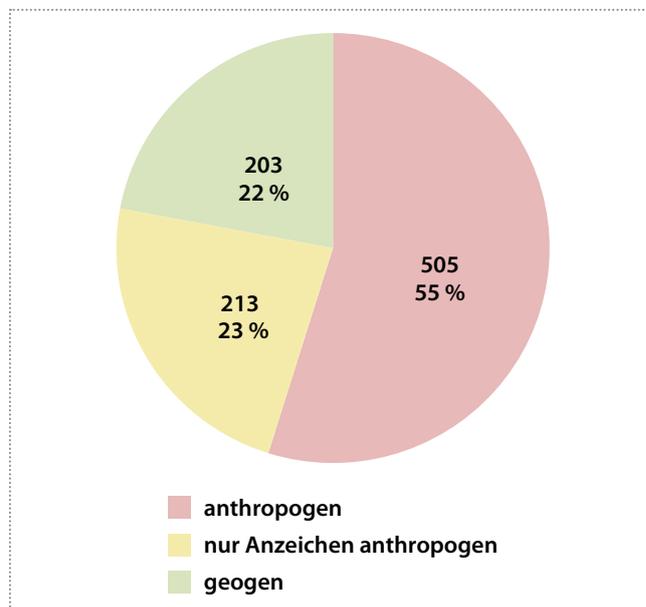


Abb. 5.2 Anzahl und Anteil der Typzuweisungen für jede Messstelle

Anzeichentypen 5.1 – 5.4, aber keinen der anthropogenen Haupttypen auf.

- **geogen** (Symbol: Kreis): die Messstelle weist keine anthropogenen Typen (1 – 5) auf, d. h. sie ist entweder im Typ 7 (unbeeinflusst) oder ausschließlich im Typ 6 (geogen salinärer Einfluss).

### Ergebnisse der Klassifikation

Die Klassifikation wurde für insgesamt 921 Messstellen durchgeführt. Dies umfasst die 863 Messstellen zur parameterbezogenen statistischen Auswertung sowie die zusätzlichen 58 Messstellen für den hydrochemischen Vergleich von Mehrfachmessstellen (siehe dazu Abschnitt 4.1).

Die Mehrheit der Messstellen erhielt nur eine einzelne Typzuordnung; weniger als 5 Prozent der Messstellen wurden 3 oder 4 Typen zugewiesen. Bei der Zuweisung von 2 Typen treten sowohl Kombinationen von zwei Haupttypen, als auch von einem Haupttyp und einem Anzeichentyp oder von zwei Anzeichentypen auf. Bei der Kombination von zwei Haupttypen sind die Typen Nährstoffe und Pflanzenschutzmittel am häufigsten.

Insgesamt zeigen 505 Messstellen (55 Prozent) einen anthropogenen Einfluss. 416 Messstellen (45 Prozent) zeigen keinen oder nur Anzeichen eines anthropogenen Einflusses (Typen 5, 6 oder 7).

Die Abb. 5.3 zeigt die Anteile der Messstellen an den einzelnen Haupt- und Anzeichentypen. Bei den Haupttypen dominiert der Typ 4 „Nährstoffe“. Bei den Anzeichentypen ist der zugehörige Typ 5.4 *Anzeichen Nährstoffe* ebenfalls relativ häufig. Erwartungsgemäß sind im Messnetz „Nährstoffe“ die Mehrheit der Messstellen (78 Prozent) dem Nährstofftyp zugeordnet.

Die Haupttypen *Schadstoffe* und *Pflanzenschutzmittel* treten insgesamt relativ selten auf, während die zugehörigen Anzeichentypen mehr verbreitet sind. Der Typ *Versauerung* ist erwartungsgemäß im Sondermessnetz WRRRL-Bergbau am verbreitetsten und tritt in den anderen Messnetzen kaum auf. Der Typ 5.3 *Anzeichen Versauerung* ist in allen Messnetzen selten (in jeweils  $\leq 3$  Prozent der Messstellen).

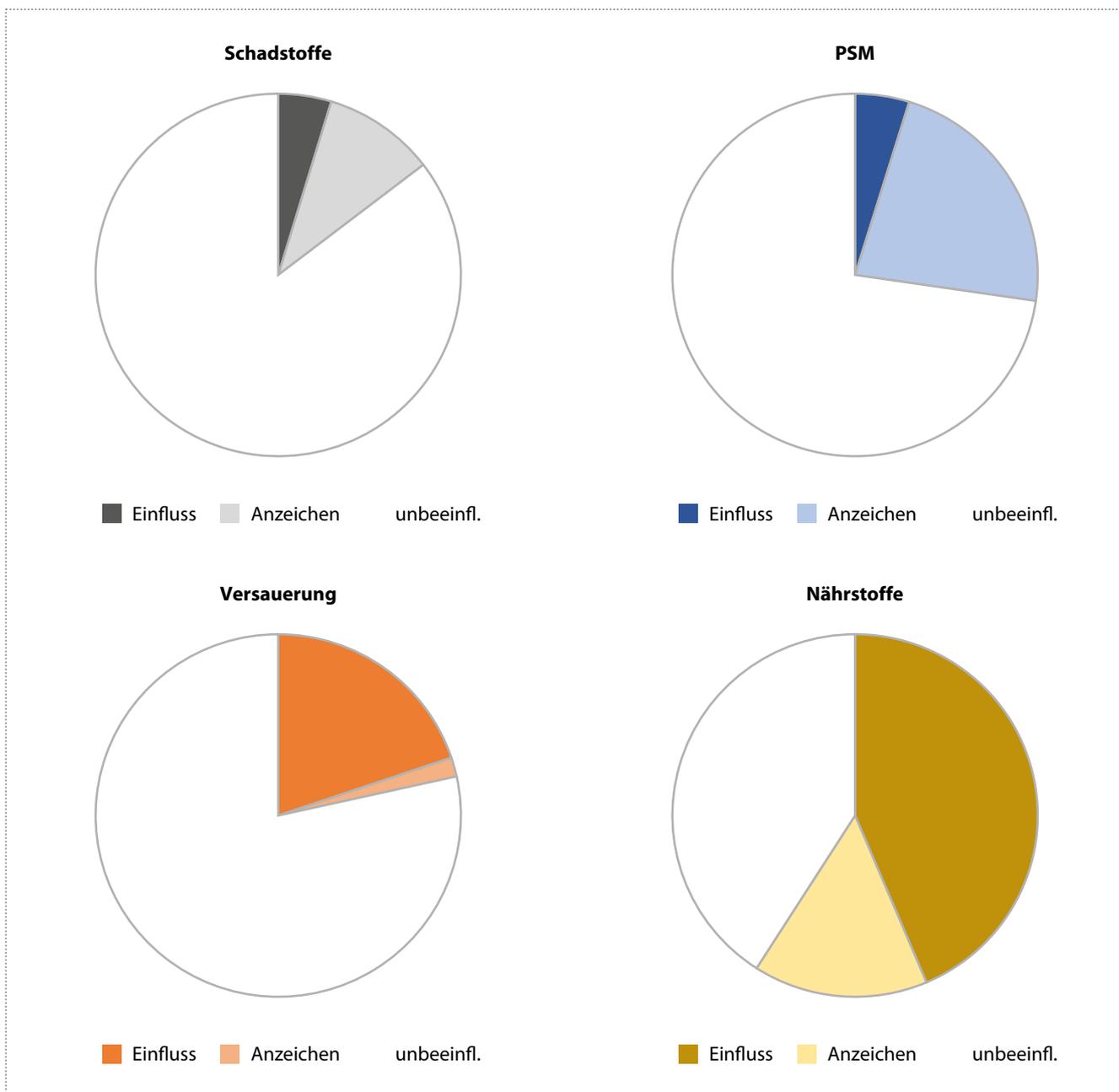


Abb. 5.3 Anteile der Messstellen in den einzelnen Beeinflussungstypen

# 6 Methodik der statistischen Auswertungen

Die Parameter der Grundwasseranalysen wurden mit mehreren statistischen Methoden ausgewertet, um einen umfassenden Überblick über die Grundwasserbeschaffenheit zu ermöglichen.

## 6.1 Statistische Kennwerte

Für 116 Parameter wurden für die Daten des Berichtszeitraums 2013 – 2018 statistische Kennwerte erstellt. Die Kennwerttabellen der Parameter elektrische Leitfähigkeit, Ammonium, Chlorid, Sulfat, Nitrat und Sauerstoff enthält Anhang 4. Weitere Kennwerttabellen sind beim LfU auf Anfrage erhältlich.

Zur Erstellung der landesweiten statistischen Kennwerte wurde das Messnetz Landesmessnetz Salz sowie das Sondermessnetz WRRRL-Bergbau nicht berücksichtigt.

Die statistischen Kennwerte gliedern sich in zwei Gruppen:

### *messstellenbezogene Kennwerte*

- Anzahl Messstellen
- Anzahl der auf diesen Parameter untersuchter Messstellen
- Anzahl und Anteil der Messstellen, bei denen alle Werte unter der Bestimmungsgrenze liegen
- Anzahl und Anteil der Messstellen mit mindestens einem Wert über der Bestimmungsgrenze

### *messwertbezogene Kennwerte*

- Anzahl Messwerte
- Anzahl und Anteil der Werte über Bestimmungsgrenze
- Minimum, Maximum
- arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung
- Perzentile: 5., 10., 25., 50. (Median), 75., 90., 95.
- Bestimmungsgrenzen, die mindestens 3 Prozent aller auftretenden Bestimmungsgrenzen ausmachen; solche Bestimmungsgrenzen, die zu mehr als 30 Prozent der Werte < BG ausmachen, sind fett gesetzt

Die Berechnung wurde für folgende Untergliederungen des Datenbestands durchgeführt:

- alle Messstellen
- Grundwasserleiterkomplex 1, 2, 3
- Filterlage  $\leq 5$ ,  $> 5 - \leq 10$ ,  $> 10 - \leq 25$ ,  $> 25 - \leq 50$ ,  $> 50$  m GOK
- Beeinflussungshaupttypen (1 – 4, 6, 7)

Liegen über 50 Prozent der Messwerte unter der Bestimmungsgrenze, wurden folgende Kennwerte nicht ermittelt: arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung, alle Perzentile (einschließlich Median).

## 6.2 Überschreitungen von Beurteilungswerten

Zur Einordnung der Messwerte wurden verschiedene (gesetzliche) Werte herangezogen. Jedem Parameter wird – soweit vorhanden – einer dieser als Beurteilungswert bezeichneten Werte gemäß der folgenden Rangfolge zugeordnet:

1. SW: Schwellenwert der Grundwasserverordnung (GrwV 2017)
2. GFS: Geringfügigkeitsschwellenwert der LAWA (2016)
3. GW: Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2020)
4. GOW: Gesundheitlicher Orientierungswert des Umweltbundesamts (2020)
5. PW: Prüfwert des LfU Brandenburg (2015a). Bei den Prüfwerten handelt es sich um statistisch für Brandenburg abgeleitete Werte für ausgewählte Parameter, die den Beginn einer anthropogenen Beeinflussung anzeigen.

Die Beurteilungswerte sowie Hintergrundwerte nach HÜK200 für die einzelnen Parameter sind in Anhang 2 zusammengestellt.

In den Häufigkeitsverteilungen (Abschnitt 6.3) und Spannweitendiagrammen (Abschnitt 6.4) wird der jeweils ranghöchste Beurteilungswert angegeben und grafisch gekennzeichnet.

Für 75 Parameter (davon 21 Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe, 3 relevante Metaboliten und 15 nicht relevante Metaboliten) wurden Überschreitungen des jeweils ranghöchsten Beurteilungswerts (BW) im Berichtszeitraum geprüft.

Die Ergebnisse wurden als Balkendiagramme für den Gesamtdatenbestand sowie getrennt nach Grundwasserleiterkomplexen aufbereitet.

## 6.3 Häufigkeitsverteilungen

Zur Ermittlung des typischen Konzentrationsbereiches eines Parameters sowie des Wertebereiches für ein definiertes Gebiet eignet sich die Darstellung der Messwerte als Häufigkeitsverteilung. Da die Messstellen im Salzmessnetz und dem Sondermessnetz WRRRL-Bergbau aufgrund ihrer besonderen hydrochemischen Eigenschaften zu einer Verzerrung der Häufigkeitsverteilungen geführt hätten, wurden diese separat ausgewertet.

Da Konzentrationen von Grundwasserinhaltsstoffen üblicherweise einer Lognormal-Verteilung folgen, wurden die Häufigkeitsverteilungen sämtlicher Parameter, die Konzentrationen darstellen, sowie die elektrische Leitfähigkeit, die wegen ihrer Abhängigkeit von der Summe der gelösten Ionen üblicherweise ebenfalls lognormal-verteilt ist, auf einer logarithmierten x-Achse dargestellt. Für den pH-Wert, der bereits ein logarithmisches Maß ist, und das Redoxpotential, das aufgrund negativer Werte nicht logarithmiert werden kann, wurde eine lineare x-Achse verwendet. Die Klassenteilung der diskreten Häufigkeitsverteilung (Histogramm) wurde am Beurteilungswert ausgerichtet und deckt den Wertebereich des Gesamtdatenbestandes weitgehend ab.

Abb. 6.1 zeigt als Beispiel eine Häufigkeitsverteilung von Uran. Auf der x-Achse sind die häufigsten Bestimmungsgrenzen als schwarzes Dreieck, die Hälfte dieser Bestimmungsgrenzen als graues Dreieck und der ranghöchste Beurteilungswert als rotes Dreieck gekennzeichnet. In der Legende sind alle Bestimmungsgrenzen, die mindestens 3 Prozent der Werte unter Bestimmungsgrenze ausmachen, aufgeführt. Die Bestimmungsgrenzen, die mehr als 30 Prozent der Werte unter der Bestimmungsgrenze ausmachen, sind fett gesetzt.

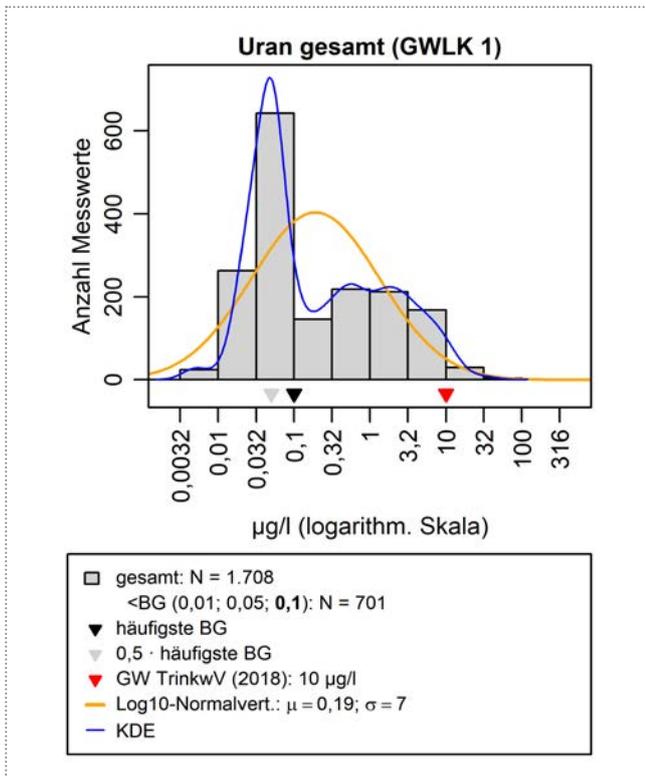


Abb. 6.1 Beispiel für eine Häufigkeitsverteilung

Zusätzlich zum Histogramm wurde eine Normalverteilung an die logarithmierten Daten angepasst und in orange eingezeichnet. Der Mittelwert  $\mu$  und die Standardabweichung  $\sigma$  dieser Normalverteilung sind in der Legende angegeben.

Wenn die Werte nicht näherungsweise lognormal verteilt sind, spiegelt die angepasste Lognormalverteilung die tatsächliche Verteilung nicht sehr gut wieder, wie im Beispiel zu erkennen ist. Darum wurde zusätzlich mittels des statistischen Verfahrens „Kerndichte-Schätzung“ (kernel density estimation, KDE) eine stetige Verteilungsfunktion ermittelt, die sich der zugrunde liegenden Verteilung der Messwerte annähert. Die mit KDE berechnete Verteilung ist in Blau eingezeichnet. Bei Parametern, bei denen Werte unter der Bestimmungsgrenze sehr häufig sind, wie im gezeigten Beispiel, zeigt die KDE deutliche Spitzen über den halben Bestimmungsgrenzen (graue Dreiecke). Diese Spitzen spiegeln somit nicht die Verteilung der tatsächlichen Werte wieder.

## 6.4 Spannweitendiagramme

Die in Abschnitt 6.2 ermittelten Perzentile können mithilfe von Spannweitendiagrammen (Boxplots) in eine übersichtliche Darstellung gebracht werden, die Zusammenhänge veranschaulicht.

Für jeden Teilbereich wurden zwei Diagramme erstellt:

- Messstellen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung am Standort und nach der Filterlage (Filteroberkante in Meter unter GOK)
- alle Messstellen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und nach Grundwasserleiterkomplex

Das Grundprinzip eines Boxplots ist in Abb. 6.2 dargestellt. Die Hälfte der Werte (25. bis 75. Perzentil) liegen in dem von der Box abgedeckten Bereich. Der Abstand von 25. und 75. Perzentil (Länge der Box) wird als Quartilsabstand (QA) bezeichnet.

Die sog. „Whisker“ („Schnurrhaare“) erstrecken sich bis zum Beginn der Extremwerte (bis zum äußersten Messwert innerhalb

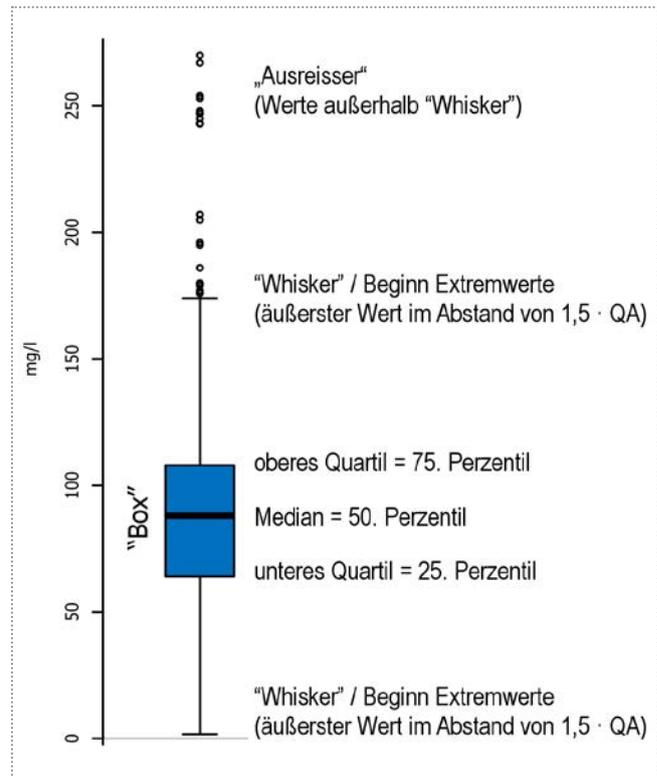


Abb. 6.2 Grundprinzip der Boxplot-Darstellung (QA= Quartilsabstand)

des 1,5-fachen Quartilsabstands). Außerhalb der Box und Whisker werden alle Einzelwerte als Punkte dargestellt.

Liegen Messwerte aus weniger als 20 Analysen oder von weniger als 10 Messstellen vor oder sind mehr als 50 Prozent der Werte unter der Bestimmungsgrenze, entfällt die Darstellung des Boxplots.

Befinden sich Einzelwerte außerhalb des Darstellungsbereichs der y-Achse, wird dies durch ein kleines graues Dreieck am oberen Rand des Diagramms gekennzeichnet.

Der ranghöchste Beurteilungswert ist als rote Linie eingezeichnet.

## 6.5 Statistische Trendanalyse

Für 18 Parameter wurden statistische Trend- und Trendumkehranalysen für alle Messstellen mit dem Modul „GCI WRRL-Trend“ durchgeführt.

Mit diesem Modul können parameterbezogene Trendermittlungen gemäß den Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie durchgeführt werden. Das Modul ist von GCI GmbH in Zusammenarbeit mit dem LfU Brandenburg und dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie entwickelt worden.

Die Trendberechnung erfolgte mit folgenden Einstellungen:

- Zeitraum 20 Jahre (1999 – 2018)
- Ausreißertest nach Dixon, wenn  $< 30$  Messwerte, ansonsten Grubbs; Signifikanzniveau 95 Prozent, 2 Wiederholungen. Falls der Test Ausreißer identifiziert, werden diese in der Trendanalyse nicht berücksichtigt.
- Trendtest nach Mann-Kendall, Signifikanzniveau 95 Prozent
- Bestimmung Trendumkehr nach Grundwasserverordnung (2017), Signifikanzniveau der Trends in gleitenden 6-Jahres-Intervallen 95 Prozent (t-Test)

Eine Trendberechnung wurde nur durchgeführt, wenn die folgenden Kriterien erfüllt waren. („Vorselektion“):

- mindestens 10 Messwerte größer Bestimmungsgrenze
- mindestens 50 Prozent der Messwerte größer Bestimmungsgrenze
- Messstelle ist aktiv, das heißt mindestens zwei Messwerte in den letzten 6 Jahren (Berichtszeitraum)

Andernfalls erhält die Messstelle für diesen Parameter das Trendergebnis „keine Berechnung möglich“.

Zur Ausweisung eines aktuellen Trends („sichere Trendaussage“) nach Abschluss der Trendberechnung müssen folgende Kriterien erfüllt sein („Nachselektion“):

- statistischer Trendtest (Mann-Kendall) liefert Aussage, dass ein Trend vorhanden ist
- nach den Ausreißertests bleiben noch mindestens 5 Werte in den letzten 10 Jahren übrig, davon mindestens einer in den letzten sechs Jahren (Berichtszeitraum)

Sind diese Kriterien erfüllt, wird das Trendergebnis in der Ergebnistabelle als „steigend“, „fallend“ oder „ohne“ angegeben, ansonsten als „keine Aussage möglich“. In den Ergebnisdarstellungen dieses Berichts werden die Trendergebnisse „ohne Trend“ und „keine Aussage möglich“ zu „kein Trend“ zusammengefasst.

## 6.6 Darstellung der Beschaffenheitsprofile

Zum Vergleich der Hydrochemie von Mehrfachmessstellen, Messstellen mit unterschiedlicher Filtertiefe an einem Standort, wurden die Auswertungen zusammengebracht und für jeden dieser Standorte in einer Abbildung komprimiert dargestellt.

Insgesamt wurden 39 Mehrfachmessstellen-Standorte betrachtet. Dort wurden insgesamt 58 verschiedene Filterlagen ausgewertet (vgl. Kapitel 4.1).

Es wird immer die jeweils jüngste Analyse im Berichtszeitraum 2013–2018 dargestellt. Für diese Analysen wurden Beschaffenheitsprofile erstellt, deren Aufbau im Folgenden erläutert wird. Als Beispiel zu den Erläuterungen kann die Abb. 8.8 dienen, die Symbole sind in Abb. 6.3 dargestellt.

Am linken Rand jedes Profils ist ein schematisches Schichtenverzeichnis dargestellt, in dem Grundwasserleiter (beige), Grundwasserhemmer (violett) und die Filter eingezeichnet sind.

Die Äquivalentkonzentrationen der Hauptionen werden mit Stiff-Diagrammen (Appelo und Postma 2005) dargestellt (Abb. 6.3). Die Ionen werden auf drei Achsen gruppiert, von oben nach unten:

1. Natrium, Kalium, Chlorid („Salzwasser“)
2. Calcium, Hydrogenkarbonat („Süßwasser/Auflösung von Kalk“)
3. Magnesium, Sulfat

Die von den Punkten auf den Konzentrationsachsen aufgespannte Fläche nimmt mit der Gesamtmineralisierung zu. Die Form charakterisiert die relative Zusammensetzung der Ionen.

In natürlichen Grundwässern in Brandenburg dominieren Calcium und Hydrogenkarbonat, so dass die Stiff-Diagramme auf der mittleren Achse am breitesten sind und die Form eines gestreckten Sechsecks annehmen, wie das Beispiel in Abb. 6.3 zeigt.

Die Stiff-Diagramme werden auf Höhe der Filterlage in das Beschaffenheitsprofil eingezeichnet und entsprechend des Grundwasserleiterkomplexes gefärbt (Grundwasserleiterkomplex 1 hellgrün, 2 hellblau, 3 dunkelblau).

Rechts davon schließen sich das Kreisdiagramm für die Beeinflussungstypen und ein vereinfachtes GEBAH-Genesediagramm an. Im Genesediagramm ist nur der Lagepunkt eingezeichnet, der die chemische Zusammensetzung bezüglich der GEBAH-Berechnungssalze symbolisiert. Entsprechend der Bewertung der Analysenqualität durch GEBAH wird der Lagepunkt durch einen ausgefüllten Kreis (gute Analyse), einen dicken Ring (mäßig) oder einen dünnen Ring (schlechte Analyse) markiert.

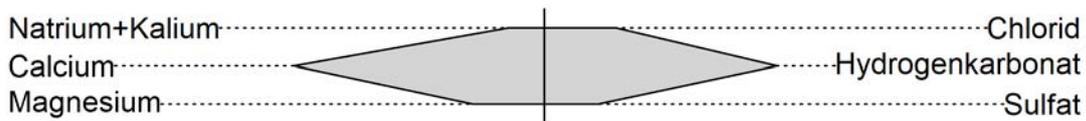
Die rechte Hälfte der Grafik wird von Teufenprofilen einzelner Parameter eingenommen. Die erste Gruppe enthält die vier Vor-Ort-Parameter pH, Leitfähigkeit, Redoxpotential und Sauerstoffkonzentration. Die zweite Gruppe stellt Nitrat, Ammonium, ortho-Phosphat und Eisen gelöst dar. Die Punkte werden nur durch Linien verbunden, wenn sich die entsprechenden Filter im gleichen Grundwasserleiterkomplex befinden.

## Erläuterung

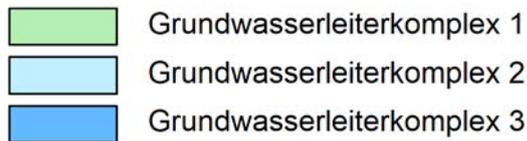
Am linken Rand jedes Profils ist ein schematisches Schichtenverzeichnis dargestellt:



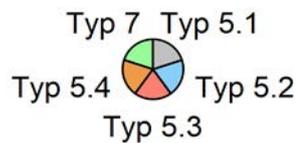
Die Stiff-Diagramme zeigen die Äquivalentkonzentrationen der Hauptionen:



Die Farbe der Stiff-Diagramme gibt den Grundwasserleiterkomplex an:



Die multiplen Beeinflussungstypen werden mit einem Kreisdiagramm dargestellt, dessen Sektoren für die unterschiedlichen Typen stehen. Jeder Sektor kann dabei mit kräftiger Farbe (Haupttypen), mit heller Farbe (Anzeichtypen bzw. geogener Typ 7) oder weiß (keine Beeinflussung) dargestellt werden:



Nr.	Bezeichnung
1	Schadstoffe
2	PSM
3	Nährstoffe
4	Versauerung
6	geogen salinärer Einfluss

Nr.	Bezeichnung
5.1	Anzeichen Schadstoffe
5.2	Anzeichen PSM
5.3	Anzeichen Nährstoffe
5.4	Anzeichen Versauerung
7	unbeeinflusst

Der Lagepunkt der GEBAH-Näherungsberechnung wird in ein schematisches Genesediagramm eingezeichnet. Die Bewertung der Analyse wird durch das Symbol (ausgefüllt, dicker Ring, dünner Ring) angegeben.



Abb. 6.3 Erläuterung der einzelnen Diagramminhalte der Abbildungen zur Auswertung von Mehrfachmessstellen

# 7 Ergebnisse je Parameter

## 7.1 Vor-Ort-Parameter

### 7.1.1 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit charakterisiert den Gesamtgehalt an gelösten Ionen (Gesamtmineralisation). Hohe elektrische Leitfähigkeiten bedeuten eine hohe Gesamtmineralisation. Bei der Messung während der Probennahme wird die elektrische Leitfähigkeit bezogen auf die Referenztemperatur 25°C verwendet.

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für Brandenburg im Bereich von 224 bis 549 µS/cm. Der Prüfwert des LfU liegt bei 800 µS/cm.

Die elektrischen Leitfähigkeiten im Grundwasser Brandenburgs liegen außerhalb der durch den Aufstieg salinärer Tiefenwässer oder den Bergbau beeinflussten Gebiete im Mittel zwischen 518 und 783 µS/cm (Tab. 7.1 und Anhang 4).

Im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.1) und 2 folgen die Werte näherungsweise einer Lognormalverteilung, während es im Grundwasserleiterkomplex 3 zu stärkeren Abweichungen von der Lognormal-Verteilung kommt. Hier sind Leitfähigkeiten von 200 µS/cm ähnlich häufig wie 2000 µS/cm was aber auf die vergleichsweise geringe Messstellenanzahl zurückzuführen ist. Die hohen Konzentrationen für das 95-Perzentil im GWLK 2 könnten durch einzelne salinar beeinflusste Messstellen bedingt sein.

Tab. 7.1 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für die elektrische Leitfähigkeit je Grundwasserleiterkomplex (ohne Salz-messnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau)

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3610	1407	212
5. Perzentil (µS/cm)	300	244	231
Median (µS/cm)	738	668	493
Mittelw. (µS/cm)	783	761	518
95. Perzentil (µS/cm)	1395	1533	944

Im Salzmessnetz, welches Messstellen in Regionen beinhaltet, die durch den Aufstieg salinärer Tiefenwässer geprägt sind, werden vereinzelt Konzentrationen bis zu 20.000 µS/cm erreicht. Das Sondermessnetz Bergbau weist ebenfalls höhere elektrischen Leitfähigkeiten auf, wenn auch nicht ganz so hoch wie die des Salzmessnetzes. Hier liegen die Werte häufig über 3.000 µS/cm.

Die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeiten bezogen auf die Flächennutzung zeigt die geringste Mineralisation für Messstellen unter Waldgebieten (Abb. 7.2). Dies liegt vor allem an den gering mineralisierten Podsolen, die sich aus den Sandflächen gebildet haben, auf denen die Wälder Brandenburgs hauptsächlich stehen. Die höchsten elektrischen Leitfähigkeiten treten in

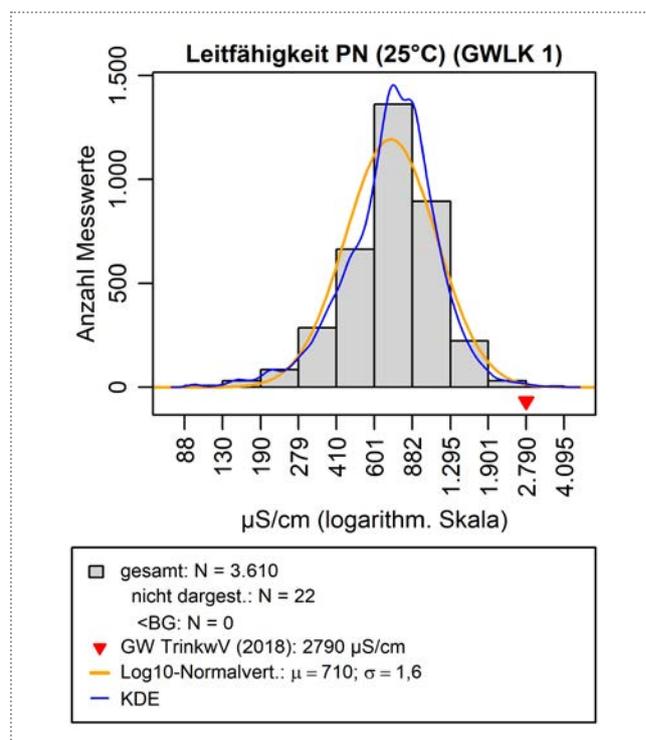


Abb. 7.1 Häufigkeitsverteilung der elektrischen Leitfähigkeiten im Grundwasserleiterkomplex 1 (ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau)

Filtertiefen zwischen fünf und zehn Metern unter Ackerland auf. Ein vergleichbares Bild zeigt Abb. 7.3. Hier werden die elektrischen Leitfähigkeiten in Bezug auf die hydrochemischen Beeinflussungstypen abgebildet. Die höchsten Werte sind bei den Beeinflussungstypen *Anzeichen Pflanzenschutzmittel (Anz. PSM)*, *Nährstoffe* und *Anzeichen Nährstoffe (Anz. Nährst.)* zu beobachten.

Die niedrigsten elektrischen Leitfähigkeiten werden in den tiefsten Grundwassermessstellen im Grundwasserleiterkomplex 3 festgestellt, die dem Beeinflussungstyp *unbeeinflusst* angehören. Im Grundwasserleiterkomplex 3 treten auch vereinzelt Beeinflussungen auf, die aber aufgrund der geringen Messstellenanzahl nicht als Spannwertendiagramm dargestellt werden (siehe Abschnitt 6.4).

Die räumliche Verteilung im Grundwasserleiterkomplex 1 über alle Messnetze (Abb. 7.4) zeigt Häufungen von hohen und sehr hohen elektrischen Leitfähigkeiten (größer 1.000 µS/cm) in den bergbaubeeinflussten Gebieten im Süden, die unter anderem auf die hohen Sulfatkonzentrationen zurückzuführen sind. Lokal treten hohe elektrische Leitfähigkeiten außerdem in den Grundwasserkörpern auf, die nach EG-Wasserrahmenrichtlinie im schlechten chemischen Zustand sind (rot umrandet in Abb. 7.4). Dies sind zum Beispiel das Oderbruch oder das Gebiet der ehemaligen Rieselfelder im Süden Berlins.

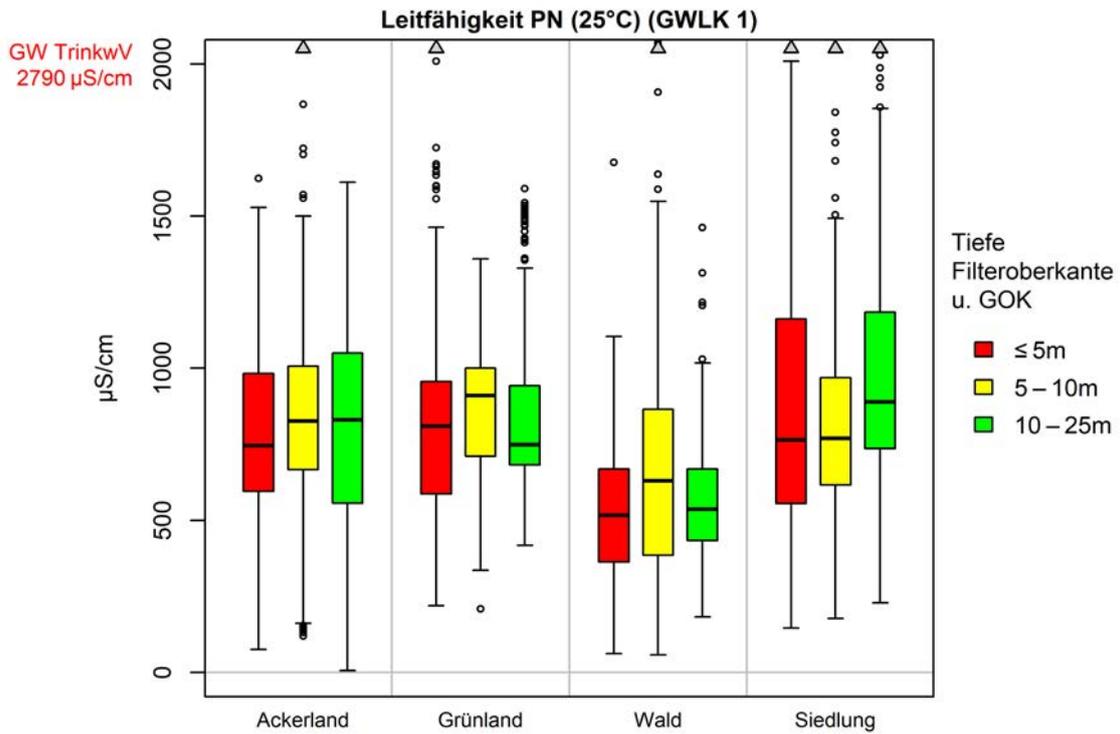


Abb. 7.2 Spannweitendiagramme der elektrischen Leitfähigkeiten im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage (ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau)

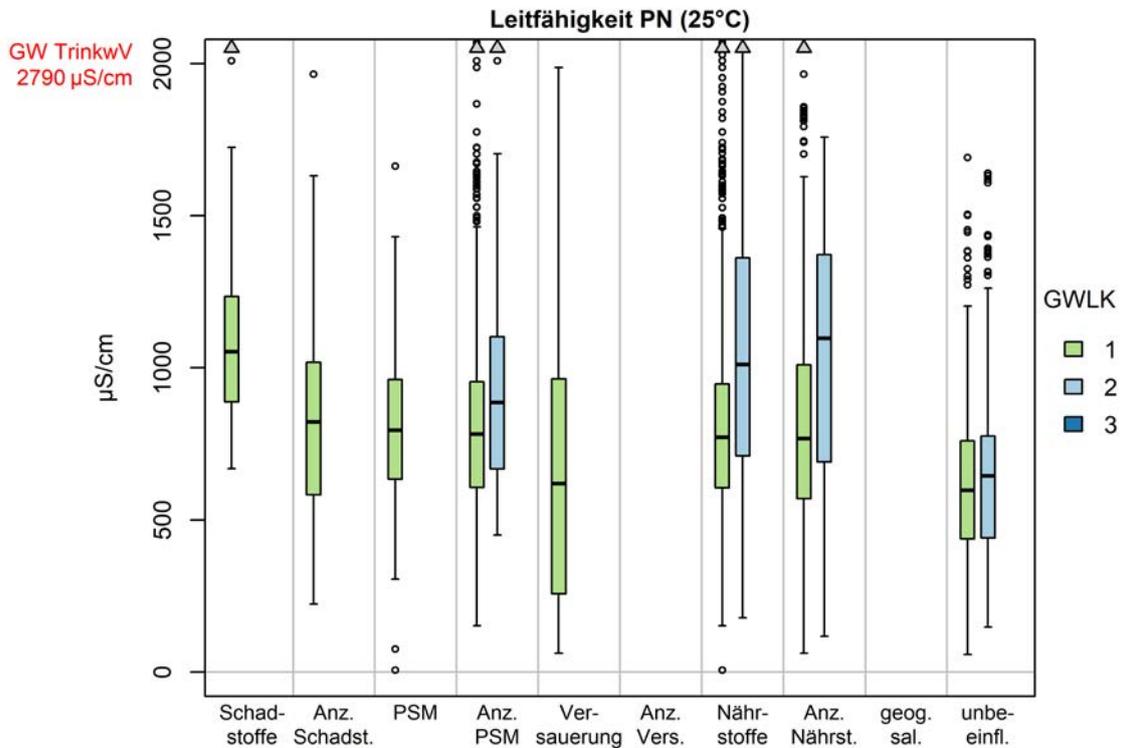


Abb. 7.3 Spannweitendiagramme der elektrischen Leitfähigkeiten, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK) (ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau)

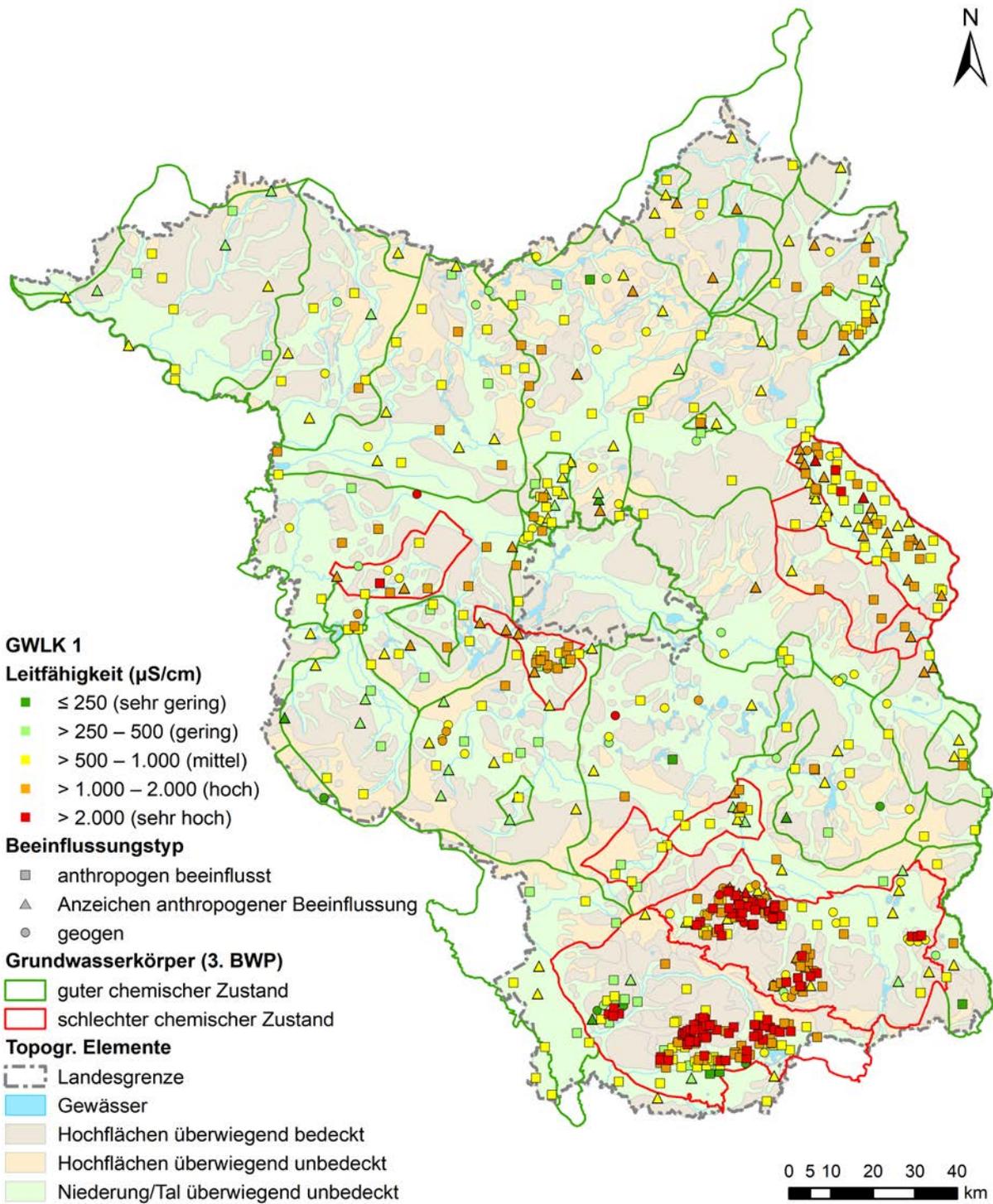


Abb. 7.4 Übersichtskarte der elektrischen Leitfähigkeiten im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

### 7.1.2 pH-Wert

Der pH-Wert einer wässrigen Lösung drückt die Stärke der sauren beziehungsweise basischen Wirkung aus. Der pH-Wert des Grundwassers wird geprägt durch das Puffervermögen der Sickerwasserstrecke beziehungsweise des Grundwasserleiters, das ein Mehrphasensystem aus Feststoff, Wasser und Gas darstellt. Vor allem das Kalk-Kohlensäuregleichgewicht beziehungsweise die Verfügbarkeit von Kohlendioxid und Karbonaten bestimmt den pH-Wert im Grundwasser. Auf der Infiltrationsstrecke wird das saure Niederschlagswasser, das pH-Werte kleiner 5,6 aufweist, gepuffert. PH-Werte unter 6,5 sind bereits ein deutliches Versauerungsanzeichen.

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für Brandenburg im Bereich von 6,6 bis 7,5 (Anhang 2).

In Brandenburg betragen die mittleren pH-Werte je Grundwasserleiterkomplex zwischen 7,05 und 7,29 (Tab. 7.2).

Tab. 7.2 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für den pH-Wert je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3610	1408	212
5. Perzentil (-)	5,80	6,21	6,31
Median (-)	7,16	7,32	7,30
Mittelw. (-)	7,05	7,29	7,29
95. Perzentil (-)	7,85	7,97	7,90

Die Häufigkeitsverteilung im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.5) ist näherungsweise lognormal verteilt, jedoch etwas rechtssteil. Die Verteilung für die Grundwasserleiterkomplexe 2 und 3 ist ähnlich.

Nur sehr vereinzelt werden außerhalb des Salzmessnetzes und des Sondermessnetzes WRRL-Bergbau pH-Werte unter 5 und über 8 gemessen.

Niedrige pH-Werte treten insbesondere in geringen Tiefen unter Waldstandorten auf, an denen auch die Spannbreite der pH-Werte (Abb. 7.6) größer ist als unter den anderen Flächennutzungen. An oberflächennahen Waldstandorten ist das Puffervermögen

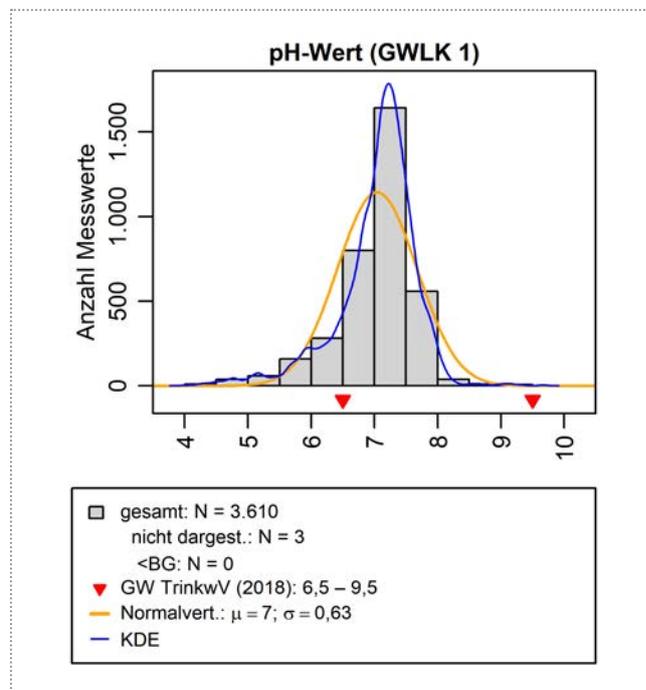


Abb. 7.5 Häufigkeitsverteilung der pH-Werte im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

meist aufgebraucht. Mit zunehmender Tiefe steigen die pH-Werte durch die puffernde Wirkung des Untergrundes wieder an.

Die Messstellen mit den Beeinflussungstypen *Versauerung* und *Anzeichen Versauerung* zeigen definitionsgemäß ebenfalls niedrige pH-Werte (Abb. 7.7). Hierbei handelt es sich überwiegend um Messstellen im Süden Brandenburgs, die nicht zum Sondermessnetz WRRL-Bergbau gehören, aber dennoch bergbaulich beeinflusst sein können. In den Beeinflussungstypen *Nährstoffe* und *Pflanzenschutzmittel* und den zugehörigen Anzeigentypen liegen die pH-Werte etwas niedriger als in den unbeeinflussten Messstellen. Dies könnte auf landwirtschaftliche Nutzung ohne ausreichende Kalkung hindeuten.

In der räumlichen Verteilung (Abb. 7.8) treten pH-Werte < 7 außerhalb des Bergbaugesbiets vor allem im Südtteil Brandenburgs (Altmoränengebiet, stärker entkalkt) auf. Im Norden (Jungmoränengebiet, weniger entkalkt) sind pH-Werte über 7,5 häufiger zu finden.

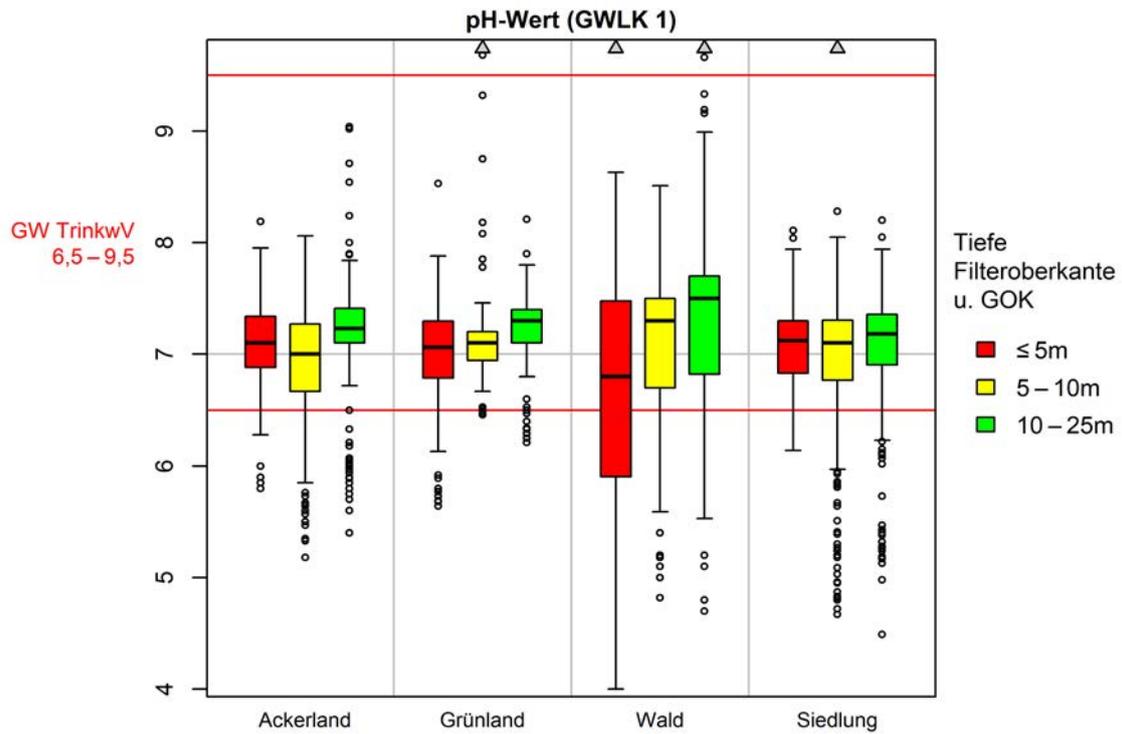


Abb. 7.6 Spannweitendiagramme der pH-Werte im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

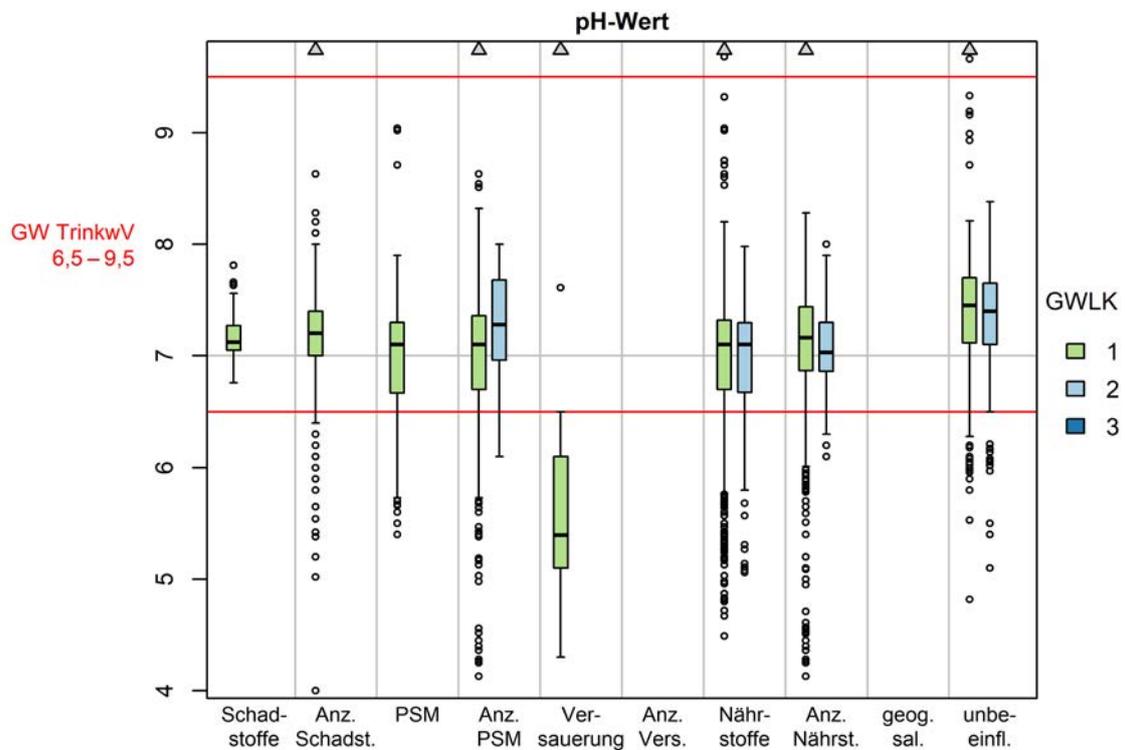


Abb. 7.7 Spannweitendiagramme der pH-Werte, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

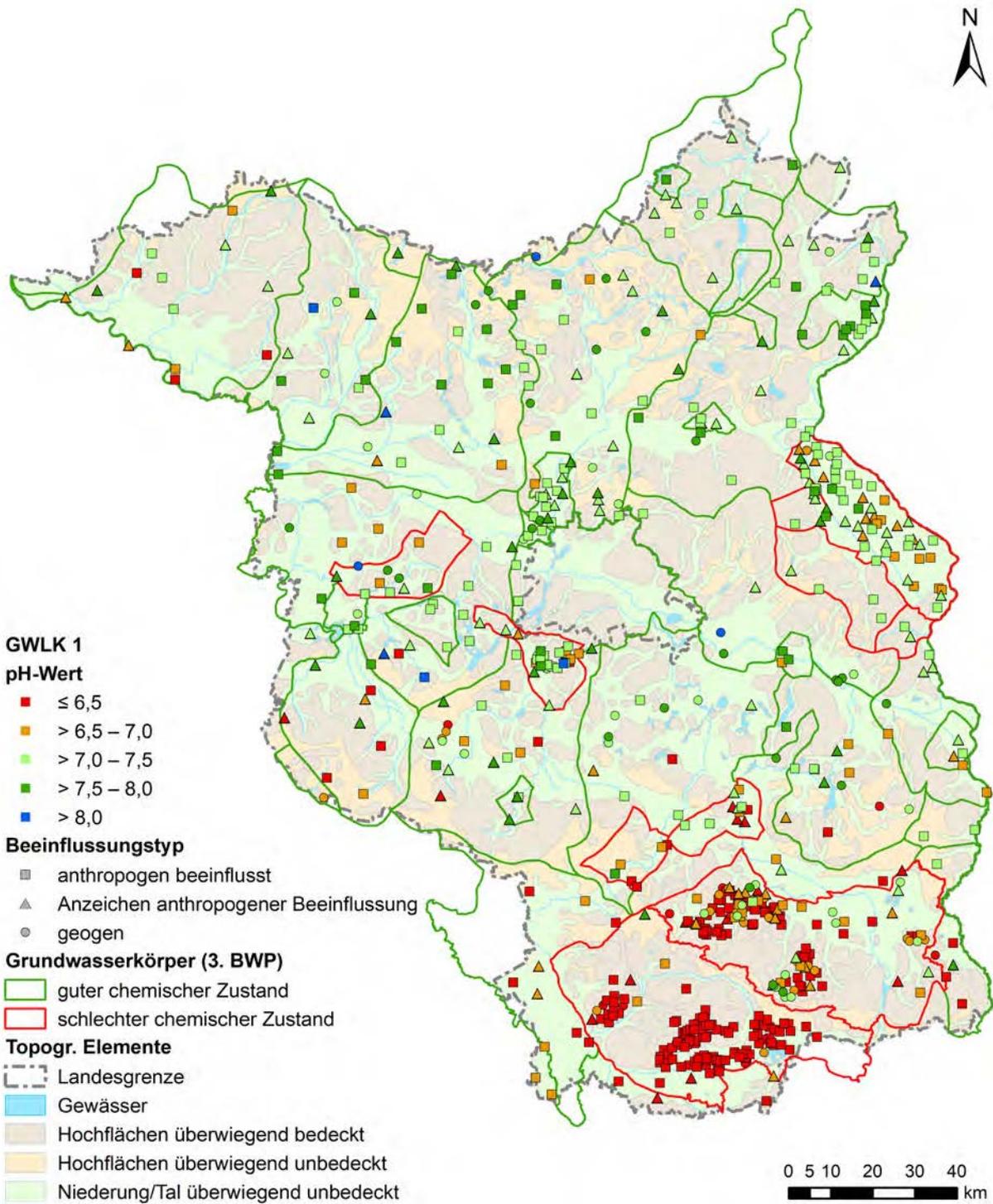


Abb. 7.8 Übersichtskarte der pH-Werte im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

### 7.1.3 Sauerstoff und Redoxpotential

Die Konzentration an gelöstem Sauerstoff gibt Hinweise auf oxidierende beziehungsweise reduzierende Verhältnisse. Sauerstoff wird über den Niederschlag in gelöster Form in das Grundwasser eingetragen und kann durch sauerstoffzehrende Prozesse (Atmung, Reduktionsreaktionen) im Untergrund verbraucht werden. Die Sauerstoffkonzentration steht darum im Zusammenhang mit dem Redoxpotential. Das auf die Standardwasserstoffelektrode bezogene Redoxpotential (Eh, in mV) bewertet die Gesamtheit der in einer Lösung möglichen Redoxprozesse. Damit ist das Redoxpotential auch an zahlreiche redoxsensitive Spezies (zum Beispiel Ammonium, Nitrat, Eisen, Mangan) geknüpft. Hohe Redoxpotentiale bedeuten oxidierende Zustände (ab 300 mV leicht oxidierend, ab 600 mV stark oxidierend). Ab mehr als 2 mg/l (circa 20 Prozent Sauerstoffsättigung bei mittlerer Grundwassertemperatur) spricht man von oxischen Bedingungen. Niedrige Redoxpotentiale (unter 150 mV) zeigen reduzierende Zustände und damit sauerstoffarme Bedingungen an.

Die mittleren Sauerstoffkonzentrationen liegen in Brandenburg im Grundwasserleiterkomplex 1 bei 1,09 mg/l und im Grundwasserleiterkomplex 2 bei 0,54 mg/l (Tab. 7.3). In den tieferen Grundwasserleiterkomplexen ist die Sauerstoffkonzentration tendenziell niedriger als im Grundwasserleiterkomplex 1. Im Grundwasserleiterkomplex 3 ist in 53 Prozent der Analysen kein Sauerstoff mehr nachweisbar.

Tab. 7.3 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Sauerstoff je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3603	1408	212
5. Perzentil (mg/l)	0,03	0,05	–
Median (mg/l)	0,12	0,10	–
Mittelw. (mg/l)	1,09	0,54	–
95. Perzentil (mg/l)	7,0	3,1	–

Abb. 7.9 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Sauerstoffkonzentration im Grundwasserleiterkomplex 1 mit einem relativ breiten Gipfel bei Werten um 0,1 mg/l (sauerstofffrei beziehungsweise -arm) und einem zweiten, niedrigeren Gipfel um 5–10 mg/l. Trotz der im Mittel gegenüber den tieferen Grundwasserleiterkomplexen höheren Sauerstoffkonzentrationen wird in der Abbildung deutlich, dass auch im oberflächennahen Grundwasser überwiegend sehr geringe Sauerstoffkonzentrationen vorherrschen.

Die gemessenen Redoxpotentiale spiegeln die überwiegend sauerstoffarmen Verhältnisse in Brandenburg wider. Im Mittel liegen die Werte in den drei Grundwasserleiterkomplexen bei 158 bis 211 mV. Das 95. Perzentil beträgt im Grundwasserleiterkomplex 3 371 mV wohingegen in den oberflächennaheren Grundwasserleiterkomplexen 1 und 2 teilweise höhere Redoxpotentiale gemessen werden, so dass die 95. Perzentile bei 426 und 436 mV liegen.

In den nach Flächennutzungen aufgeteilten Spannweitendiagrammen des Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.10) ist ebenfalls erkennbar, dass Sauerstoff mit der Tiefe üblicherweise abnimmt. Die Konzentrationen unter Acker- und Grünland sind etwas niedriger als unter Wald und Siedlung. Dies könnte einerseits auf stärkere Sauerstoffzehrung (erhöhte mikrobiologische Aktivität infolge Düngung) in Böden und Grundwasser unter Landwirtschaft hindeuten, andererseits daran liegen, dass ins-

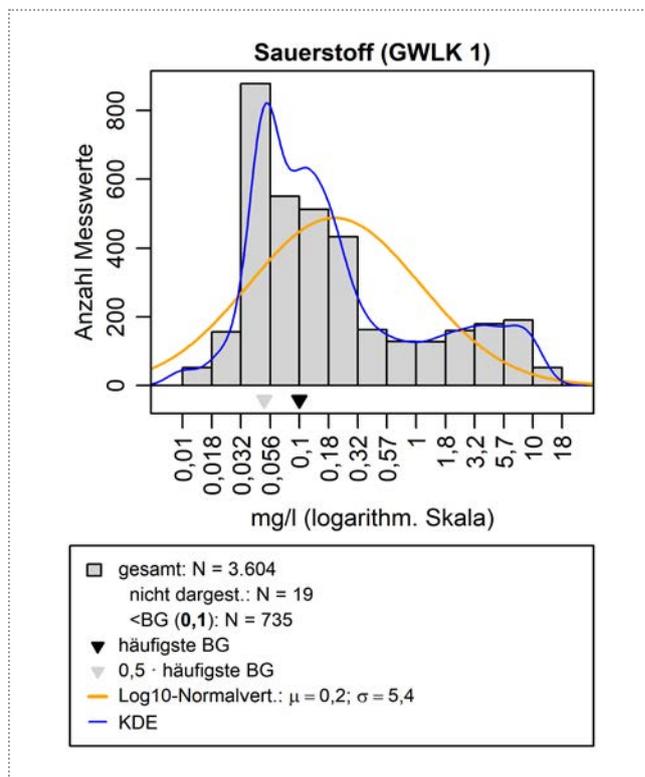


Abb. 7.9 Häufigkeitsverteilung der Sauerstoffkonzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRRL-Bergbau

besondere Grünlandflächen häufig in Niederungsgebieten liegen, die niedrigere Sauerstoffkonzentrationen aufweisen. Auffällig ist die große Spannweite unter Ackerland für die Filtertiefe 10–25 m GOK. Dies geht hauptsächlich auf einige Messstellen zurück, in denen regelmäßig mehr als 7 mg/l Sauerstoff gemessen werden.

Bei Betrachtung des Redoxpotentials mit der Filtertiefe über alle Grundwasserleiterkomplexe zeigt sich überwiegend ein Trend von mit der Tiefe abnehmenden mittleren Redoxpotentialen analog zur Sauerstoffkonzentration (Abb. 7.11). Eine Ausnahme stellen die Spannweiten in der Flächennutzung Ackerland dar. Dort liegen die Redoxpotentiale der Messstellen mit Filtern in 10–25 m Tiefe etwas höher, was wie oben beschrieben auf einzelne Messstellen zurückzuführen ist. Analog zur Sauerstoffkonzentration, fallen die Redoxpotentiale unter Acker- und vor allem Grünland etwas niedriger aus als unter Wald und Siedlung.

Die hohen bis sehr hohen Sauerstoffkonzentrationen und Redoxpotentiale, die hauptsächlich unter Ackerland, aber auch teilweise unter anderen Flächennutzungen auftreten, sind überwiegend für die Beeinflussungstypen *Nährstoffe* und *Pflanzenschutzmittel* und den zugehörigen Anzeichentypen (Abb. 7.12) zu beobachten. Sie treten im Bereich der Hochflächen auf, die großflächig landwirtschaftlich genutzt werden.

Die räumliche Verteilung im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.13) zeigt diese hohen Sauerstoffkonzentrationen im Bereich der Hochflächen, die durch große Flurabstände und Grundwasserneubildung (das heißt sauerstoffreicheres Wasser) geprägt sind. Sauerstoffzehrende Prozesse haben hier noch nicht in dem Umfang wie in tieferen Grundwasserbereichen stattgefunden. Dagegen herrschen in den Niederungen (geprägt durch die Entlastung älterer, das heißt sauerstoffärmerer Grundwässer) und im Bergbaufolgegebiet der Lausitz niedrige Sauerstoffkonzentrationen vor. Die Verteilung der Redoxpotentiale verhält sich ähnlich.

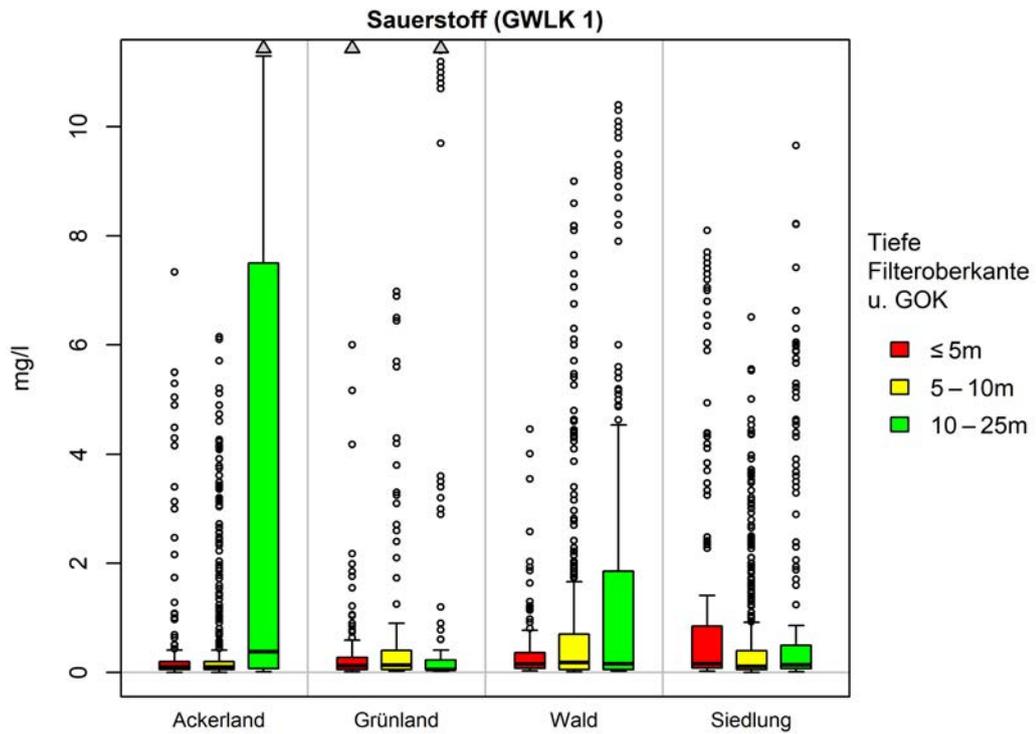


Abb. 7.10 Spannweitendiagramme der Sauerstoff-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

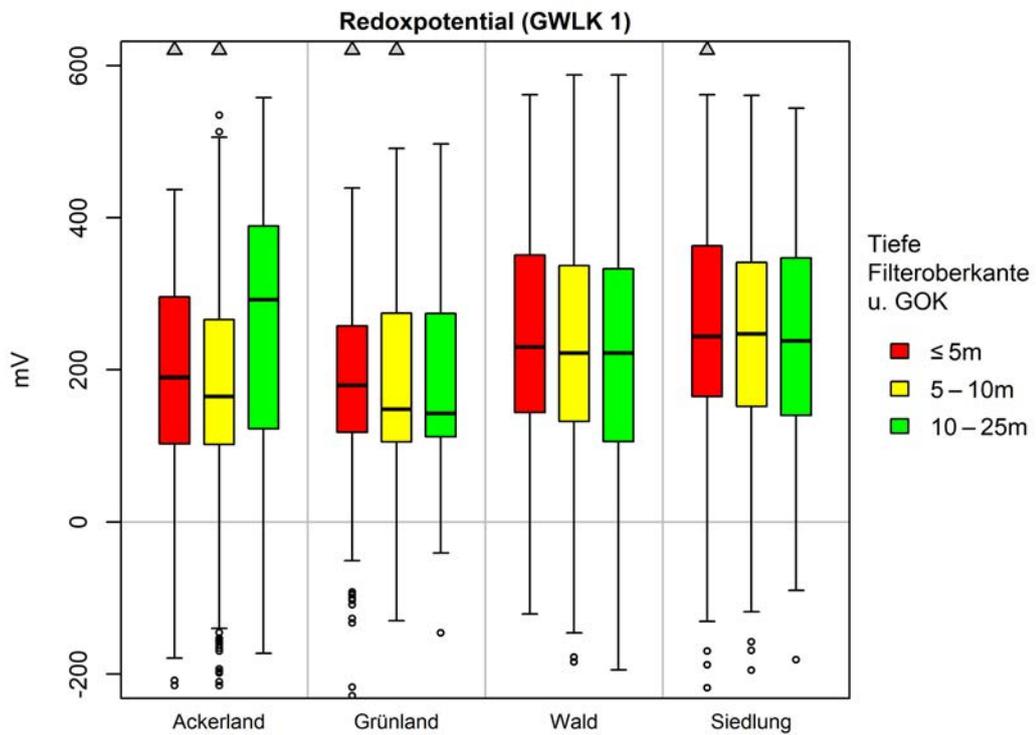


Abb. 7.11 Spannweitendiagramme der Redoxpotentiale im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

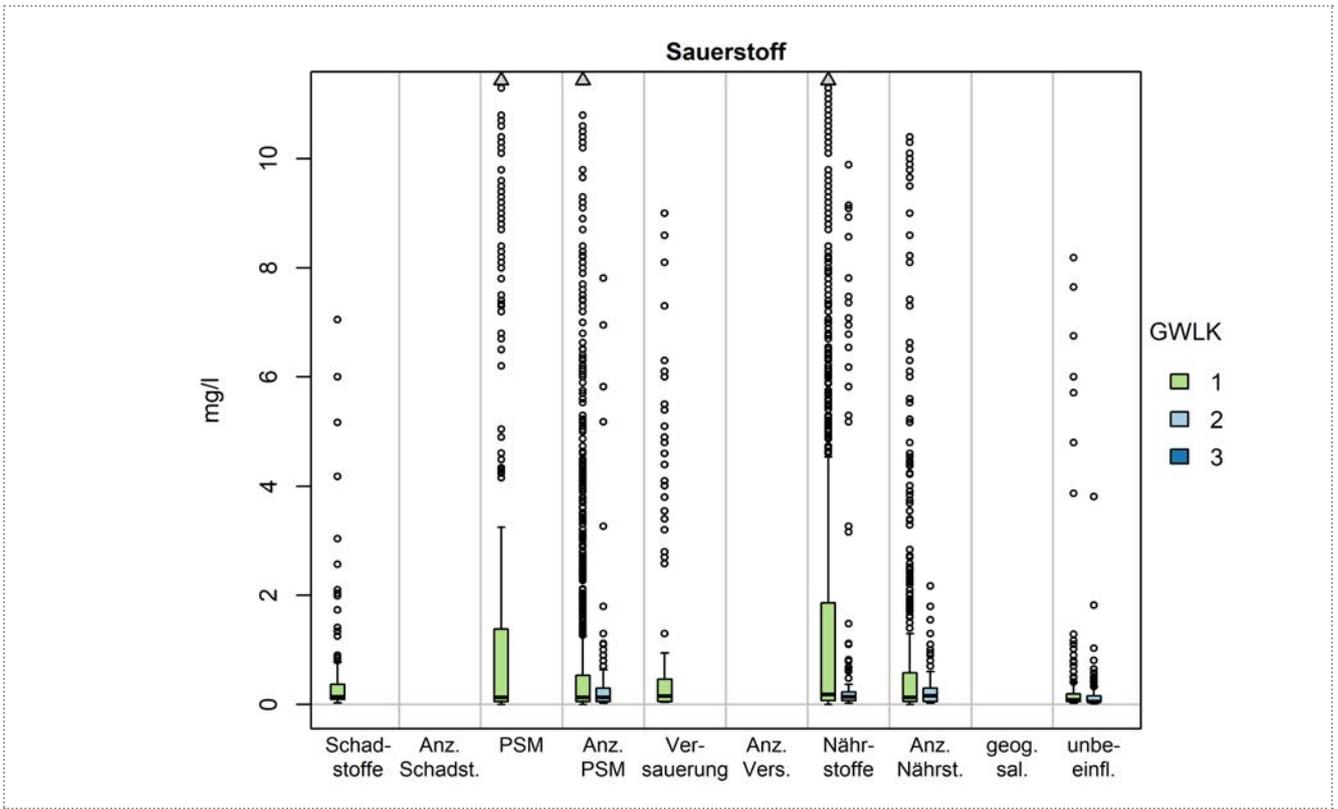


Abb. 7.12 Spannweitendiagramme der Sauerstoff-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

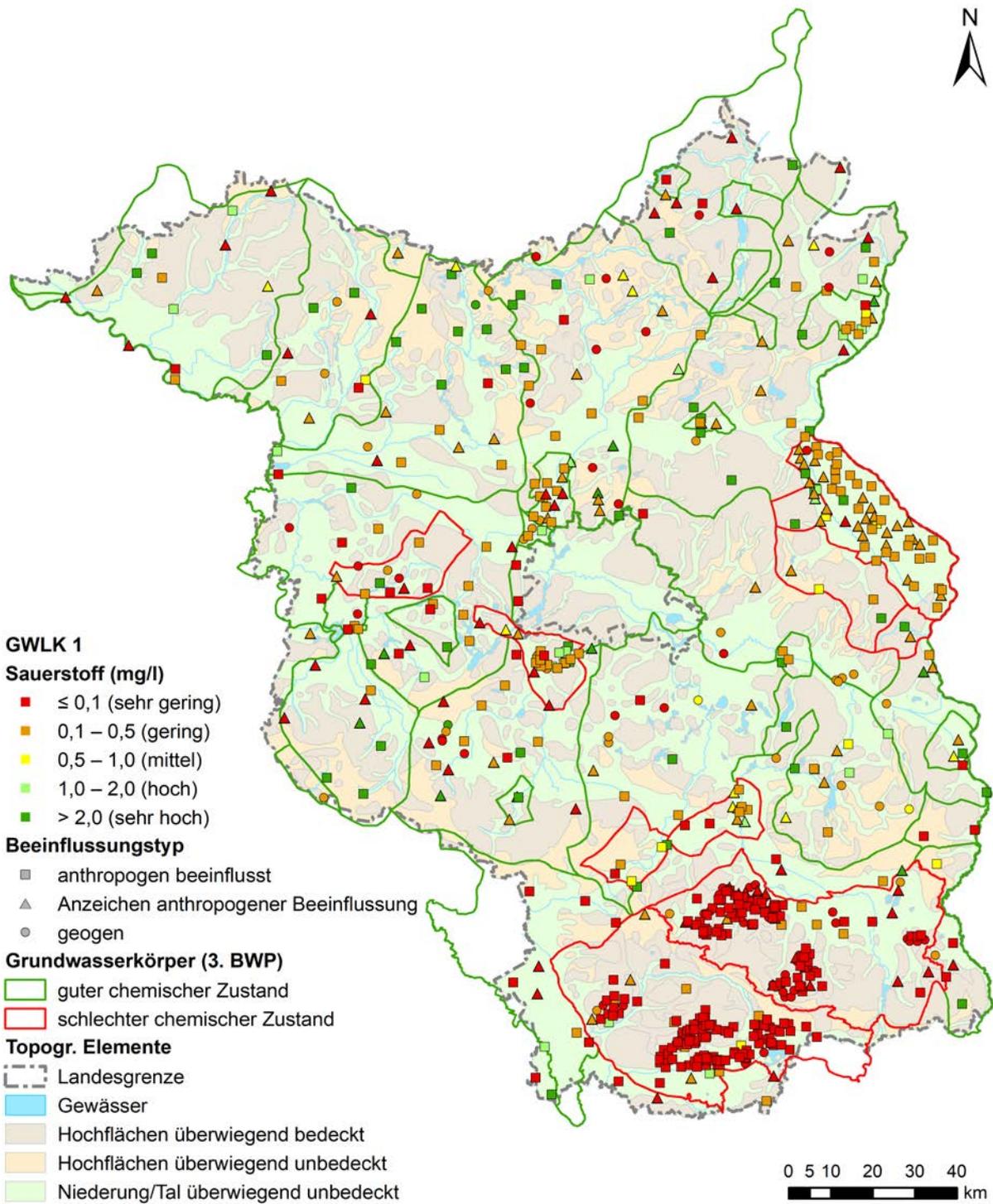


Abb. 7.13 Übersichtskarte der Sauerstoff-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

## 7.2 Hauptinhaltsstoffe

### 7.2.1 Chlorid

Chlorid wird natürlicherweise mit dem Niederschlag über das Sickerwasser in das Grundwasser eingetragen. Eine anthropogene Beeinflussung des Grundwassers kann flächenhaft über Pflanzenbehandlung und Düngung sowie beim Auftrag von Abwasser auf Rieselfeldern, punktuell mit der Aufsalzung durch Kläranlagen, Deponien oder Altlasten/Altablagerungen sowie linienhaft entlang von Straßen/Bahngleisen durch Tausalze oder Pflanzenschutzmittel einhergehen. Außerdem können belastete oberirdische Gewässer das Grundwasser über Infiltration aufsalzen. Chlorid nimmt kaum an Reaktionen teil und wird nicht am Sediment sorbiert, so dass es sich unverändert mit der Grundwasserströmung ausbreitet (sogenannter idealer Tracer). Das in den Entlastungsgebieten und an Fehlstellen des Rupeltons aufsteigende Tiefenwasser trägt stellenweise auch erhöhte Chlorid-Gehalte geogen salinaren Ursprungs in flache Grundwasserleiter ein.

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für Brandenburg zwischen 18 und 35 mg/l.

Die Chloridkonzentrationen liegen in den Grundwasserleiterkomplexen 1, 2 und 3 im Mittel bei 50 mg/l, 43 mg/l und 22 mg/l (Tab. 7.4). Auch die Mediane zeigen eine Abnahme mit zunehmender Tiefe. Die 95. Perzentile sind in den Grundwasserleiterkomplexen 1 und 2 deutlich höher. Die Maximalkonzentration liegt im Grundwasserleiterkomplex 1 bei 1.035 mg/l. Diese hohen Chloridkonzentrationen über den Hintergrundwerten der HÜK200 belegen in diesen beiden Grundwasserleiterkomplexen einen deutlichen anthropogenen Einfluss.

Tab. 7.4 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Chlorid je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3613	1408	212
5. Perzentil (mg/l)	6,9	5,5	3,9
Median (mg/l)	35,4	26,3	11,1
Mittelw. (mg/l)	49,9	43,0	22,2
95. Perzentil (mg/l)	131	129	54,7

Die Häufigkeitsverteilung außerhalb des Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau im Grundwasserleiterkomplex 1 ist lognormal (Abb. 7.14), während sie sich in den tieferen Grundwasserleiterkomplexen zunehmend in zwei Komponenten um 5–10 mg/l und 30–80 mg/l aufspaltet.

In den Spannweitendiagrammen des Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.15) ist zu erkennen, dass die Flächenutzungen Siedlung und Ackerland etwas höhere, unter Wald

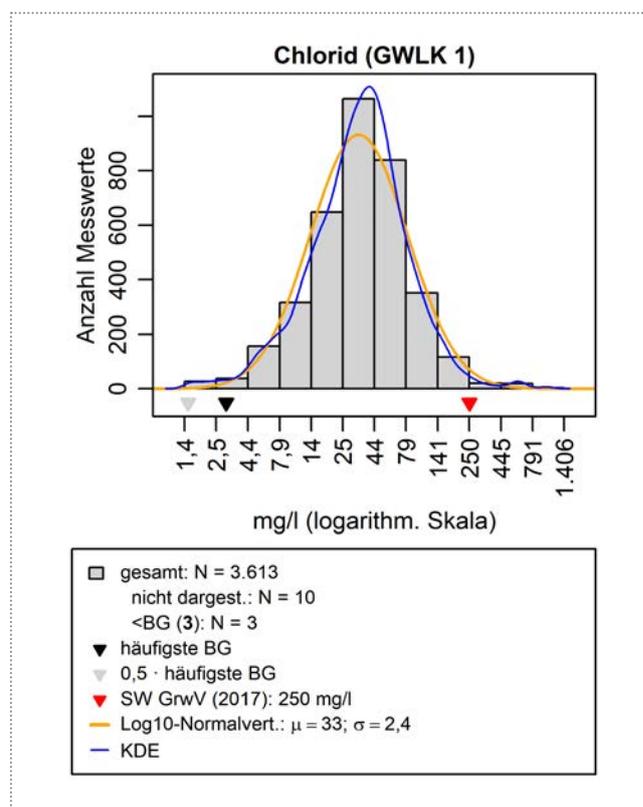


Abb. 7.14 Häufigkeitsverteilung der Chlorid-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

aber etwas niedrigere Konzentrationen aufweisen. Die teilweise hohen Konzentrationen unter Siedlung und Ackerland weisen auf abwasserbürtige und landwirtschaftliche Einflüsse oder den Einsatz von Streusalzen hin.

Noch deutlicher wird der anthropogene Einfluss auf die Chloridkonzentration im Grundwasser im Spannweitendiagramm der Beeinflussungstypen (Abb. 7.16). Die höchsten Konzentrationen, die auch zum Teil den Schwellenwert der Grundwasserverordnung überschreiten und außerhalb des darstellbaren Bereichs liegen, sind in den Beeinflussungstypen *Nährstoffe* sowie *Anzeichen Nährstoffe* und *Anzeichen PSM* in den Grundwasserkomplexen 1 und 2 zu finden. Die Spannweitendiagramme des Grundwasserleiterkomplex 3 können aufgrund der zu geringen Messwertdichte hier nicht dargestellt werden.

In den Grundwassermessstellen des Salzmessnetzes liegen die Konzentrationen erwartungsgemäß höher, wobei sich hier bereits im Grundwasserleiterkomplex 1 eine zweite Komponente um 500 mg/l herausbildet, die die salinar beeinflussten Messstellen charakterisiert.

Die räumliche Verteilung (Abb. 7.17) zeigt, abgesehen von leichten Häufungen in den nach WRRL als chemisch schlecht eingestuften Grundwasserkörpern, keine deutlichen Muster.

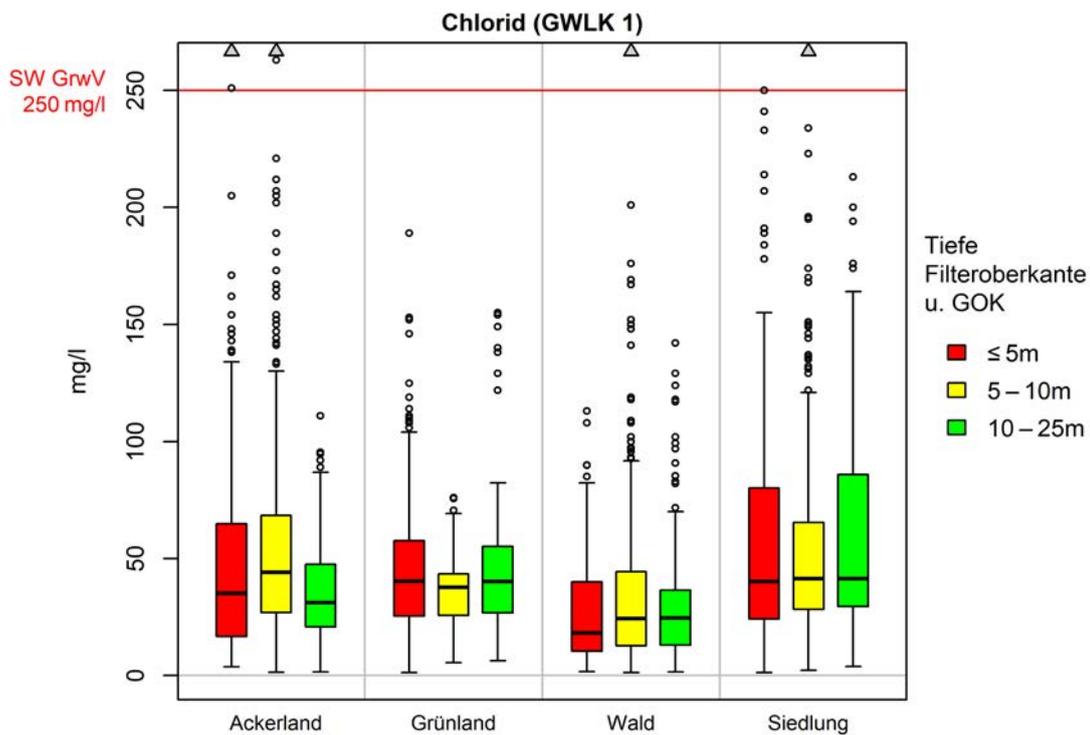


Abb. 7.15 Spannweitendiagramme der Chlorid-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

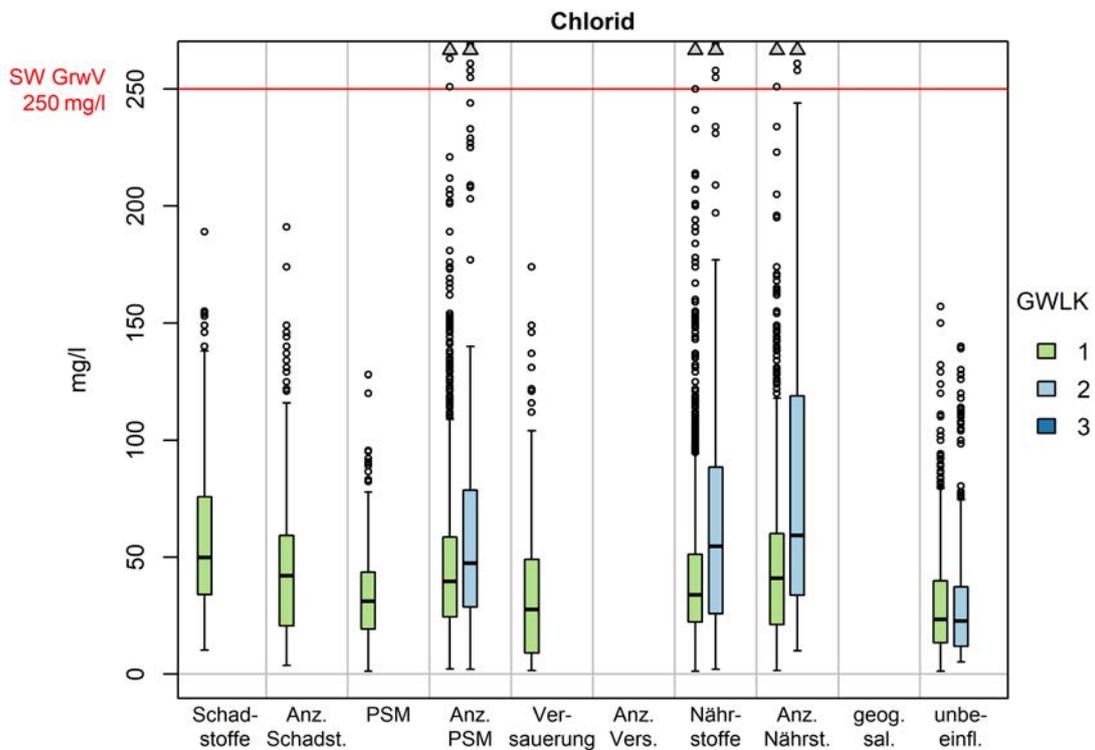


Abb. 7.16 Spannweitendiagramme der Chlorid-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

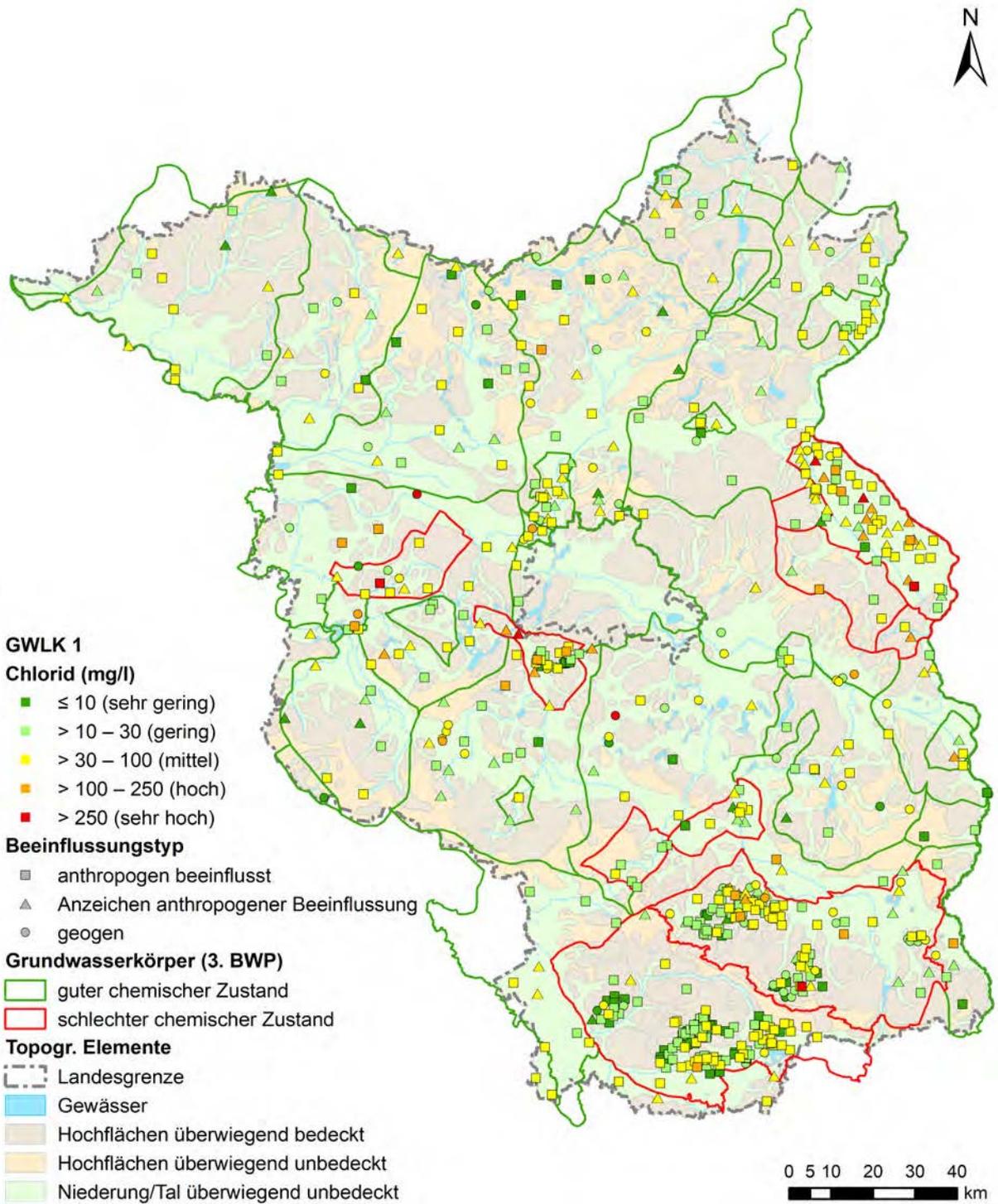


Abb. 7.17 Übersichtskarte der Chlorid-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

## 7.2.2 Sulfat

Sulfat ist im Gegensatz zu Chlorid nicht als idealer Tracer anzusehen, da es im hohen Maße von den Redoxprozessen im Untergrund abhängt. Calciumsulfat kann bei der Oxidation von Sulfiden (zum Beispiel Pyrit  $\text{FeS}_2$ ) in organischen Niederschlags-sedimenten in Verbindung mit Calciumcarbonat-Lösungen unter natürlichen Verhältnissen gebildet werden (BTU Cottbus 2011). Direkte anthropogene Eintragsquellen von Sulfat in Form des gelösten Calciumsulfats sind unter anderem Dünger und Tausalze sowie Abwasser oder Deponiewasser (Altablagerungen von Bau-schutt). Dies geht meist mit stark schwankenden Grundwasser-ständen einher. Auch im Boden vorhandenes Pyrit kann durch hohe Einträge von Oxidationsmitteln (zum Beispiel Nitrat, Sauer-stoff) beispielweise in landwirtschaftlich genutzten Gebieten oder ehemaligen Rieselfeldgebieten oxidiert werden. In den ent-sprechend beeinflussten Messstellen werden dann hohe Sulfat-Gehalte und teilweise auch hohe Eisen-Gehalte nachgewiesen. Bei der Pyritoxidation wird Nitrat zu molekularem Stickstoff re-duziert, der inert ist und gegebenenfalls ausgast. Dieser Prozess gehört zur Denitrifikation.

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für Brandenburg zwi-schen 40 und 130 mg/l.

Die mittleren Sulfat-Konzentrationen liegen in den Grundwasser-leiterkomplexen 1 und 2 bei 128,2 beziehungsweise 118,8 mg/l. Im Grundwasserleiterkomplex 3 liegt der Mittelwert mit 51 mg/l deutlich niedriger.

Tab. 7.5 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Sulfat je Grundwasser-leiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiter-komplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3612	1408	212
5. Perzentil (mg/l)	25,7	3,5	0,5
Median (mg/l)	109,0	100,5	11,4
Mittelw. (mg/l)	128,2	118,8	51,4
95. Perzentil (mg/l)	291	296	180

Die Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1 sind nahe-zu lognormal verteilt mit einem erkennbaren Anteil an Konzen-trationen über dem Schwellenwert von 250 mg/l (Abb. 7.18). Im Grundwasserleiterkomplex 2 tritt eine Komponente mit niedrigen Konzentrationen um 4–10 mg/l hinzu. Im Grundwasserleiter-komplex 3 trennen sich diese beiden Komponenten deutlich. Diese Entwicklung ist auf die Zunahme sulfatreduzierter Wässer in tieferen beziehungsweise älteren Grundwässern zu erklären.

Die Spannweitendiagramme im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.19) zeigen unter Wald ein etwas niedrigeres Konzentrations-niveau als in den anderen Flächennutzungsklassen. Unter Sied-lung ist eine Zunahme mit der Tiefe zu beobachten. Unter Grün-und vor allem Ackerland sind die Mediane in den 5–10 m tiefen Messstellen höher als in den flacheren und tieferen Messstellen. Dies könnte darauf hindeuten, dass in diesem Tiefenbereich im Landesdurchschnitt die Denitrifikation intensiver abläuft.

In den Spannweitendiagrammen der Beeinflussungstypen sticht die lange Box für den Typ *Versauerung* im Grundwasserleiter-

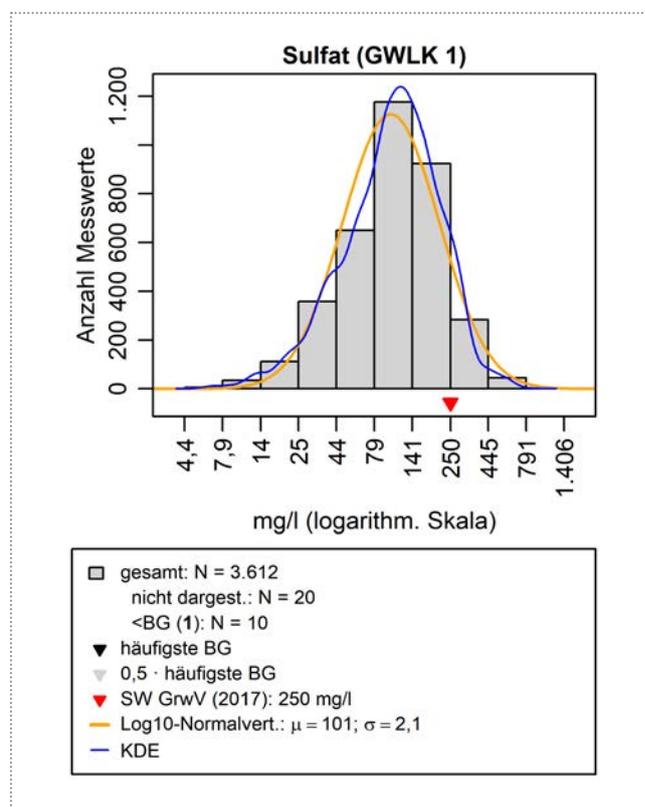


Abb. 7.18 Häufigkeitsverteilung der Sulfat-Konzentrationen im Grundwasserleiter-komplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

komplex 1 hervor. Die hohen Konzentrationen resultieren aus dem Einfluss des Bergbaus im Süden Brandenburgs, der auch in den dortigen Messstellen außerhalb des Sondermessnetzes WRRL-Bergbau sichtbar wird. Der Anstieg der Sulfatkonzentration ist ein Ergebnis der Pyritverwitterung aufgrund der bergbau-lichen Grundwasserabsenkung. Innerhalb des Sondermess-netzes WRRL-Bergbau sind die Sulfat-Gehalte noch viel höher, wie die Karte in Abb. 7.21 zeigt. Hier werden Konzentrationen über 5.000 mg/l erreicht.

Sehr hohe Sulfat-Konzentrationen treten daneben auch bei Messstellen mit den Beeinflussungstypen *Nährstoffe*, *Pflanzenschutzmittel*, *Anzeichen Nährstoffe* und *Anzeichen PSM* auf. Als Ursache sind Denitrifikationsprozesse naheliegend.

Hohe Sulfat-Gehalte werden auch im unbeeinflussten Typ beobachtet, der ansonsten mit unter 100 mg/l durch die geringsten Medianwerte gekennzeichnet ist (Abb. 7.20).

Die räumliche Verteilung in Abb. 7.21 zeigt neben den sehr hohen Konzentrationen in den bergbaulich beeinflussten Gebieten, ebenfalls hohe Sulfat-Gehalte im Gebiet der ehemalige Rieselfelder im Südosten von Berlin und im Oderbruch (landwirtschaftliche Beeinflussung). Das Auftreten von sulfatreduzierten Wässern (bis 50 mg/l Sulfat) in flachen Messstellen weist entweder auf stark stagnierende oder/und anmoorige Bedingungen. An flurnahen Niederungsstandorten werden in unbedeckten Grundwasserleitern in der Regel höhere Konzentrationen angetroffen als in der Tiefe und als an bedeckten Grundwasserleiter-Standorten. Die Sulfat-Gehalte können hier natürlicherweise erhöht sein, wenn organische Sedimente anstehen.

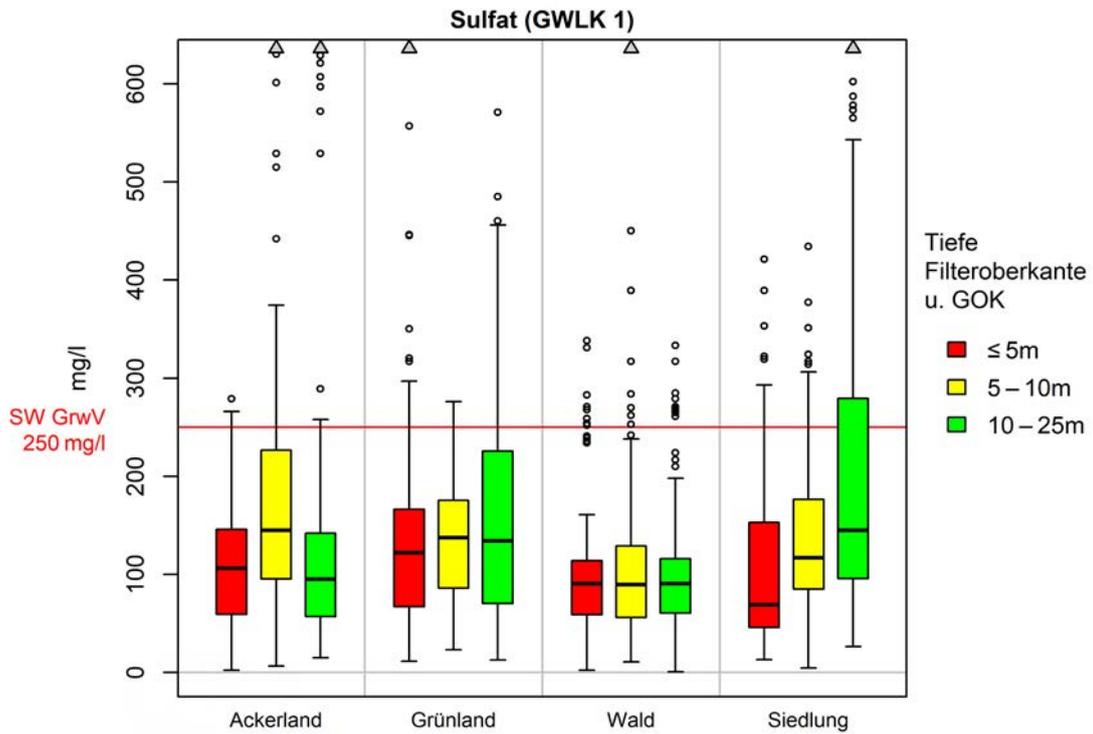


Abb. 7.19 Spannweitendiagramme der Sulfat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

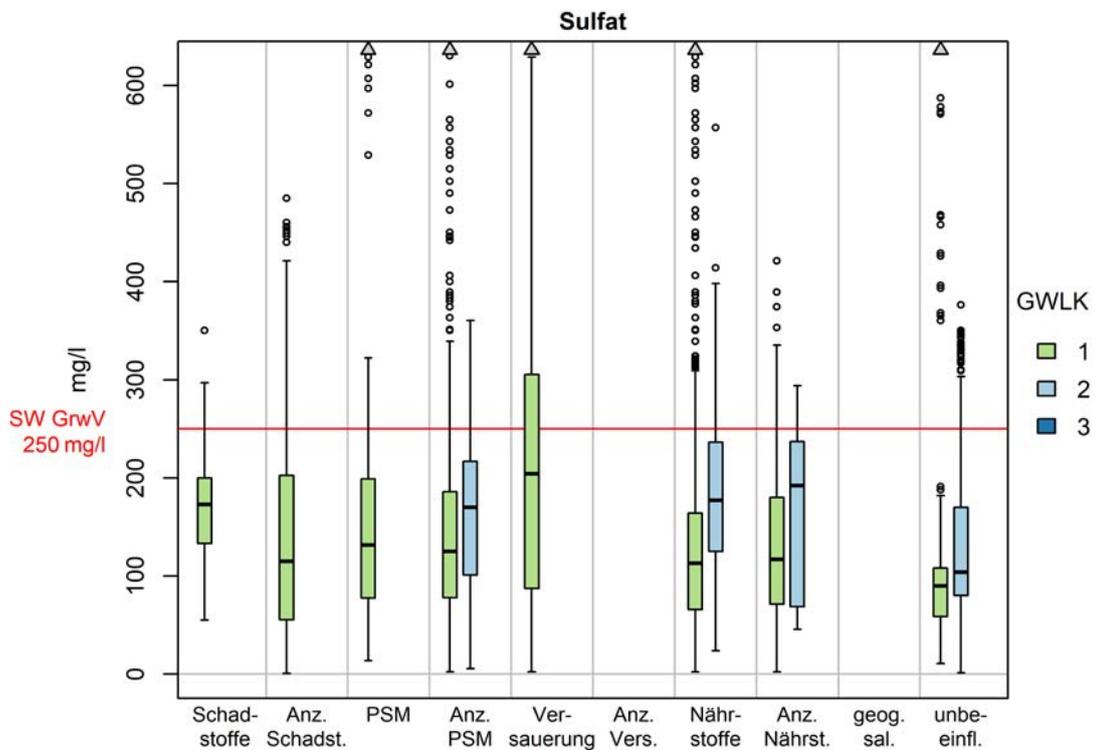


Abb. 7.20 Spannweitendiagramme der Sulfat-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

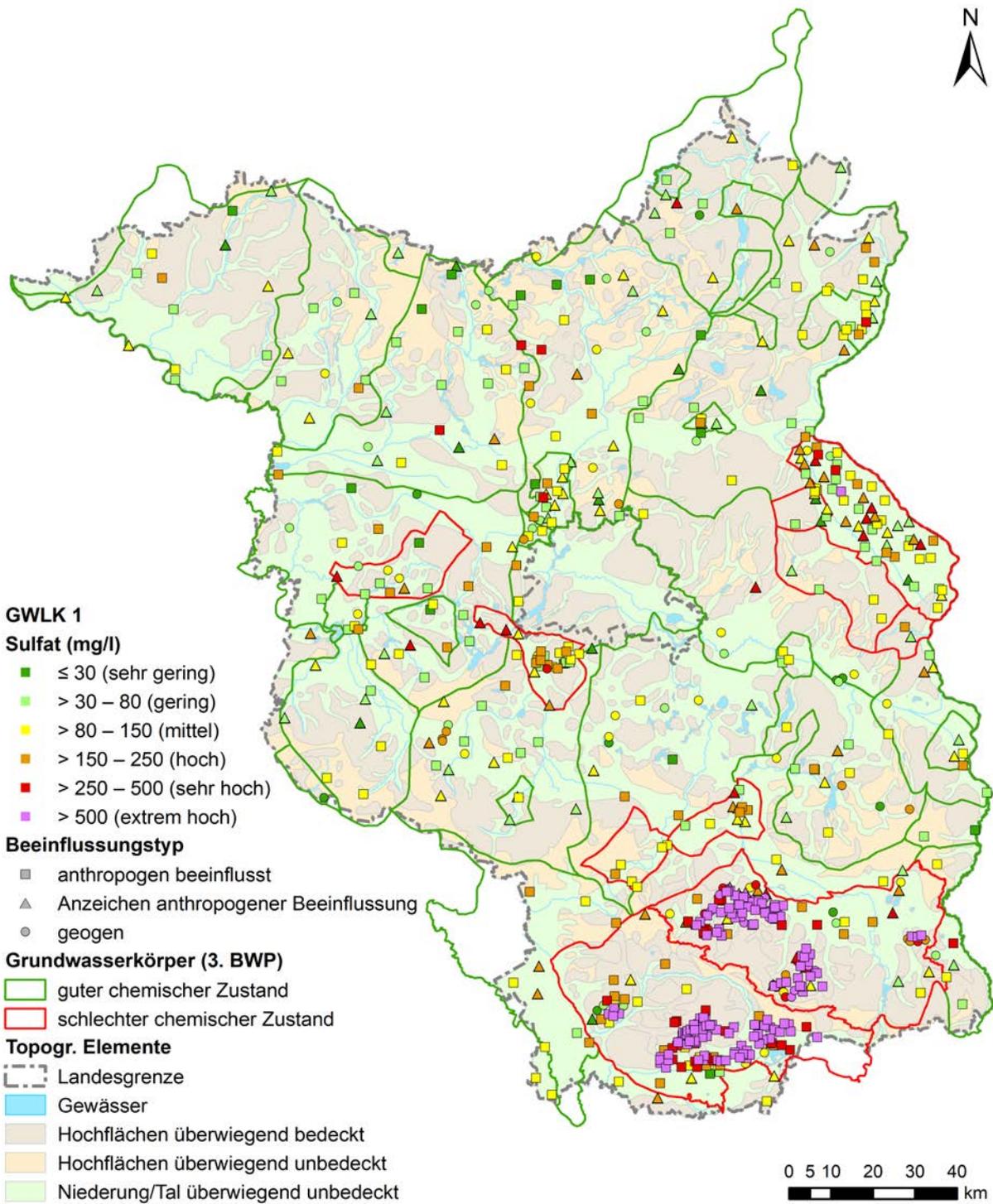


Abb. 7.21 Übersichtskarte der Sulfat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

### 7.2.3 Stickstoff (Ammonium, Nitrat, Nitrit)

Ammonium, Nitrat und Nitrit sind wesentliche Bestandteile des Stickstoffkreislaufes. Ammonium ist die reduzierte Form von anorganischem Stickstoff. Ammonium kann durch Ammonifikation aus organischem Stickstoff gebildet werden. Biologische Prozesse setzen auch unmittelbar Ammonium beziehungsweise Ammoniak frei. Ammonium weist ein spezifisches hydrochemisches Verhalten auf, das durch Stabilität unter reduzierenden Milieubedingungen und eine starke Adsorptionstendenz als Kation charakterisiert ist (BTU Cottbus 2013).

Nitrat ist die häufigste oxidierte Form von anorganischem Stickstoff und kann sich lediglich im oxidierenden Milieu halten. Im reduzierenden Milieu wird Nitrat zu elementarem Stickstoff (N<sub>2</sub>) abgebaut (Denitrifikation), welcher inert ist und gegebenenfalls ausgast. Reduktionsmittel bei der Denitrifikation sind zum Beispiel organischer Kohlenstoff und im Sediment vorhandene Sulfide (vor allem Pyrit). Bei der Reaktion von Nitrat mit Sulfiden gehen Sulfat, Eisen und Mangan in Lösung. Hohe Sulfat- und gegebenenfalls Eisengehalte können deshalb Folge von Nitratbelastungen sein, bei denen das Nitrat selber nicht mehr oder nur in geringen Konzentrationen nachgewiesen wird.

Nitrit ist ein Zwischenprodukt im Stickstoffkreislauf, das sich üblicherweise nicht in größeren Konzentrationen anreichert. In Lockergesteinsgrundwasserleitern können Konzentrationen bis zu 0,03 mg/l als geogen eingestuft werden, während Konzentrationen über 0,065 mg/l den Beginn einer anthropogenen Beeinflussung anzeigen können (Merkel und Sperling 1996).

Die potentielle Quelle für Ammonium und Nitrat stellt der in der Biosphäre gespeicherte Stickstoff dar. Bei einem überschüssigen Eintrag, wie er beispielsweise flächenhaft durch die landwirtschaftliche Düngung und die Intensivtierhaltung stattfinden kann, wird der natürliche Stickstoffkreislauf überlastet und folglich gelangt Nitrat oder Ammonium in das Grundwasser.

Stickstoff wird in verschiedenen Formen (natürliche und synthetische Dünger) und unterschiedlichen Spezies auf die Böden aufgebracht. Neben diesem direkten Eintrag findet auch ein indirekter landwirtschaftlicher Eintrag statt, nämlich über die atmosphärische Deposition des Ammoniaks (NH<sub>3</sub>), das durch Tierhaltung emittiert wird. In Gebieten mit intensiver Tierhaltung werden im Vergleich zur Umgebungsluft erhöhte Ammoniak- oder Ammonium-Konzentrationen festgestellt, die ein Vielfaches der Normalgehalte betragen können.

Über die atmosphärische Deposition gelangt Ammoniak/Ammonium folglich auch in die Wälder. Auf Waldböden wurden atmosphärische Einträge im Bereich von 15 bis 50 kg N/(ha · a) beobachtet (LfU Bayern 2012), was zu einem merklichen Stickstoffeintrag in das Grundwasser führen kann.

Die Ammoniumkonzentration im Grundwasser kann aber auch geogen bedingt Werte annehmen, die über dem Schwellenwert der GrwV beziehungsweise dem LfU-Prüfwert (PW) von 0,5 mg/l liegen, was die Beurteilung von hohen Nachweisen erschwert.

Nebst diesen Quellen können auch der Umbruch von Grünland und Trockenlegung von organogenen Niederungsböden aufgrund des Abbaus der organischen Substanz zu erhöhten Ammoniumgehalten im Grundwasser führen.

Da auf 31 Prozent der Landesfläche, vor allem in den großen Tälern, der Grundwasserflurabstand bei weniger als 2 m unter Gelände und auf weiteren 19 Prozent der Landesfläche zwischen

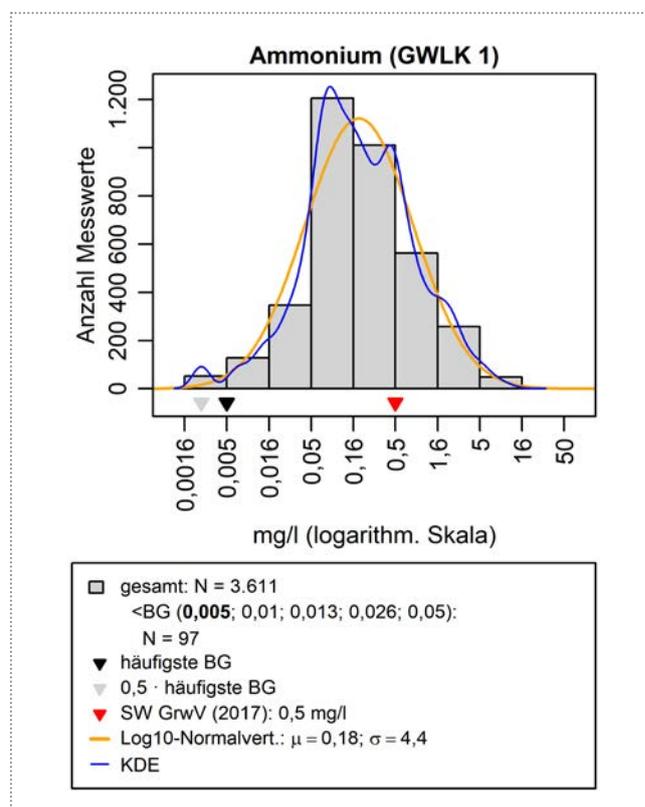


Abb. 7.22 Häufigkeitsverteilung der Ammonium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

2 und 5 m unter Gelände liegt, herrschen in weiten Gebieten Brandenburgs schwach reduzierende, sauerstoffarme bis -freie Bedingungen. Die hier entwickelten Böden weisen ein starkes Sorptionsvermögen auf, da sie hohe organische oder tonige Anteile besitzen. In BTU Cottbus (2011) ist ausgewiesen, dass die an der Festphase adsorbierten Ammonium-Gehalte, wie auch im Fall des Kations Kalium (Abschnitt 7.2.9), die gelösten Konzentrationen deutlich übersteigen. Es kann mit bis zu 10-fach erhöhten Werten gerechnet werden,.

Die HÜK200 gibt für Brandenburg Hintergrundwerte für Ammonium im Bereich von 0,11 bis 0,3 mg/l an. Für Nitrat gibt es in der HÜK200 keinen Hintergrundwert.

Die Medianwerte der Ammoniumkonzentrationen liegen in Brandenburg in den Grundwasserleiterkomplexen 1 bis 3 bei 0,17 bis 0,23 mg/l. Die Mittelwerte sind aufgrund einzelner extremer hoher Werte deutlich darüber. Diese hohen Konzentrationen gehen auch aus der Häufigkeitsverteilung für den Grundwasserleiterkomplex 1 hervor (Abb. 7.22). Der Gipfel der Verteilung liegt jedoch bei Konzentrationen zwischen 0,05 und 0,16 mg/l und damit deutlich unter dem Schwellenwert der Grundwasserverordnung. Insgesamt ist die Häufigkeitsverteilung näherungsweise lognormal, mit einer leichten Rechtsschiefe.

Tab. 7.6 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Ammonium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3611	1408	212
5. Perzentil (mg/l)	0,016	0,031	0,052
Median (mg/l)	0,17	0,16	0,23
Mittelw. (mg/l)	0,52	1,30	0,65
95. Perzentil (mg/l)	2,30	1,41	2,16

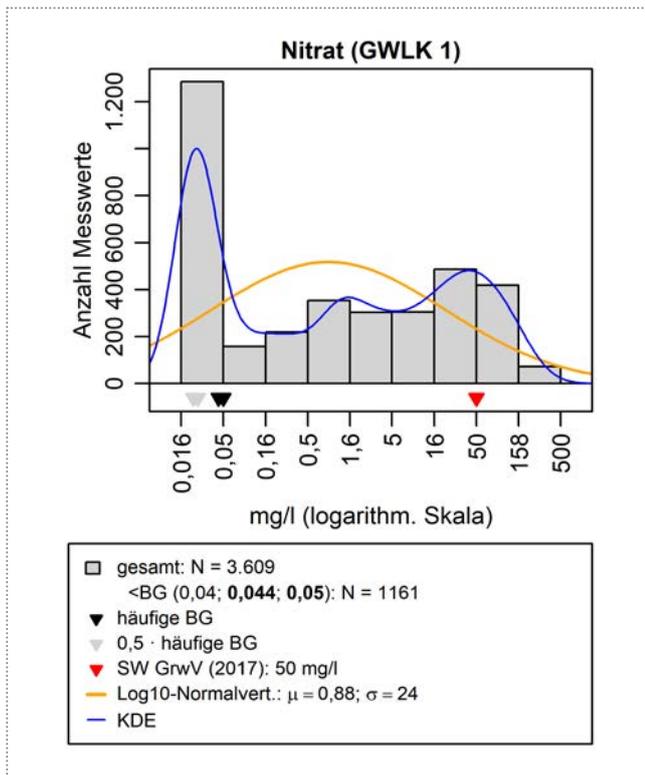


Abb. 7.23 Häufigkeitsverteilung der Nitrat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Für Nitrat liegt der Medianwert in den Grundwasserleiterkomplexen 1 und 2 bei 1,1 und 0,09 mg/l. Für den Grundwasserleiterkomplex 3 war die Ermittlung der Kennwerte aufgrund der geringen Messwertdichte nicht möglich. Der Unterschied zwischen Medianwerten und den deutlich höheren Mittelwerten weist bereits auf die große Spannweite an Messwerten hin. Während ein Großteil der Messstellen Nitrat-Gehalte unter oder nahe der Bestimmungsgrenze zeigen, betragen die Maximalkonzentrationen in den oberen Grundwasserleiterkomplexen 301 und 280 mg/l. Dies verdeutlicht auch die Häufigkeitsverteilung von Nitrat im Grundwasserleiterkomplex 1 in Abb. 7.23, mit einer hohen Spitze für Werte kleiner Bestimmungsgrenze und einem relativ flachen Verlauf nach rechts. In den Grundwasserleiterkomplexen 2 und 3 sind Konzentrationen über 50 mg/l seltener.

Tab. 7.7 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Nitrat je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3609	1407	212
5. Perzentil (mg/l)	0,02	0,02	–
Median (mg/l)	1,1	0,09	–
Mittelw. (mg/l)	20,0	8,9	–
95. Perzentil (mg/l)	110	62,5	–

Bei Nitrit sind Nachweise über der Bestimmungsgrenze selten. Statistische Kennwerte konnten nicht ermittelt werden. Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze treten sehr lokal auf und deuten auf stattfindende Redoxprozesse hin.

In den Spannweitendiagrammen des Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.24) lassen sich unter Grün- und Ackerland höhere Ammonium-Konzentrationen in den flachen Messstellen beobachten, wobei zwischen 5 und 10 m unter GOK die höchsten Konzentrationen und Spannweiten auftreten. Unter Wald ist Ammonium nur geringfügig höher als unter Siedlung. Im Bereich 10–25 m unter GOK unterscheiden sich die Konzentrationen unter den Flächennutzungen kaum noch. Die höheren Konzentrationen in flachen Messstellen deuten auf noch nicht nitrifizierte Stoffeinträge hin, während die höheren Konzentrationen in den tiefen Messstellen durch das zunehmend reduzierende Milieu (siehe auch Redoxpotential) erklärt werden können.

Nitrat zeigt im Grundwasserleiterkomplex 1 unter Ackerland und Siedlungsgebieten höhere Konzentrationen als unter Grünland und Wald (Abb. 7.25). Die sehr hohen Werte unter Ackerland für die Filtertiefe 10–25 m GOK gehen hauptsächlich auf wenige Messstellen zurück, die regelmäßig über 100 mg/l Nitrat aufweisen.

Bei der Betrachtung nach Beeinflussungstypen sind im Beeinflussungstyp 4 *Nährstoffe* quasi definitionsgemäß erhöhte Ammonium- und vor allem Nitratkonzentrationen zu verzeichnen (Abb. 7.26, Abb. 7.27). Darüber aber auch bei den Pflanzenschutzmittel-Typen 2 und 5.2, die mit landwirtschaftlichen Einflüssen und damit Stickstoffeinträgen in Zusammenhang stehen. Zum Teil deutet sich eine höhere Ammonium- und niedrigere Nitratkonzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 2 an.

Die räumliche Verteilung von Ammonium (Abb. 7.28) zeigt hohe Konzentrationen über 0,5 mg/l vor allem in Gebieten mit Vernässungserscheinungen. Die hohen Ammoniumkonzentrationen in der Bergbaufolgelandschaft der Niederlausitz (Grundwasserkörper HAV\_MS\_2 und SE 4–1) können aus der organischen Substanz der umgelagerten tertiären Sedimente freigesetzt worden sein. Unter den stark sauren Milieubedingungen ist Ammonium sehr stabil. Die Adsorptionsfähigkeit der Feststoffmatrix nimmt mit sinkendem pH-Wert ab, weshalb dort auch in großen Tiefen sehr hohe Ammoniumgehalte in Lösung nachgewiesen werden.

Wegen der landesweit vorherrschend reduzierenden Milieubedingungen in Brandenburgs Lockergesteinsgrundwasserleitern (siehe Sauerstoff und Redoxpotential) treten nachteilige Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit mit Nitrat meist nur lokal oder in begrenzten Gebieten auf (Abb. 7.29). Einzelne Werte über dem Schwellenwert finden sich im Grundwasserleiterkomplex 1 vor allem in flachen Messstellen in Hochflächenbereichen und im Umfeld der Rieselfelder südlich Berlins. Im Bergbauggebiet wird Nitrat nicht nachgewiesen, was im Einklang mit den dort niedrigen Sauerstoffkonzentrationen (Abschnitt 7.1.3) steht.

Erhöhte Konzentrationen von Nitrit treten vereinzelt in der Landesfläche und leicht gehäuft entlang der Oder, nördlich von Berlin, um Brandenburg/Havel und vor allem unter den ehemaligen Rieselfeldern südlich Berlins auf. Diese Bereiche sind auch bei Nitrat und zum Teil Ammonium auffällig. Es ist somit wahrscheinlich, dass Nitrit hier kontinuierlich als Zwischenprodukt der Stickstoffumwandlungsprozesse gebildet wird. Bei hohen Ausgangskonzentrationen (Nitrat beziehungsweise Ammonium) und hohen Reaktionsraten sind auch hohe Konzentrationen des Zwischenprodukts Nitrit zu erwarten. In den Hochflächenbereichen im nördlichen Brandenburg, die teilweise erhöhte Nitratkonzentrationen zeigen, tritt Nitrit jedoch seltener auf. Hier scheint die Reaktionsrate des Nitratabbaus niedriger zu sein, so dass sich Nitrit nicht anreichern kann.

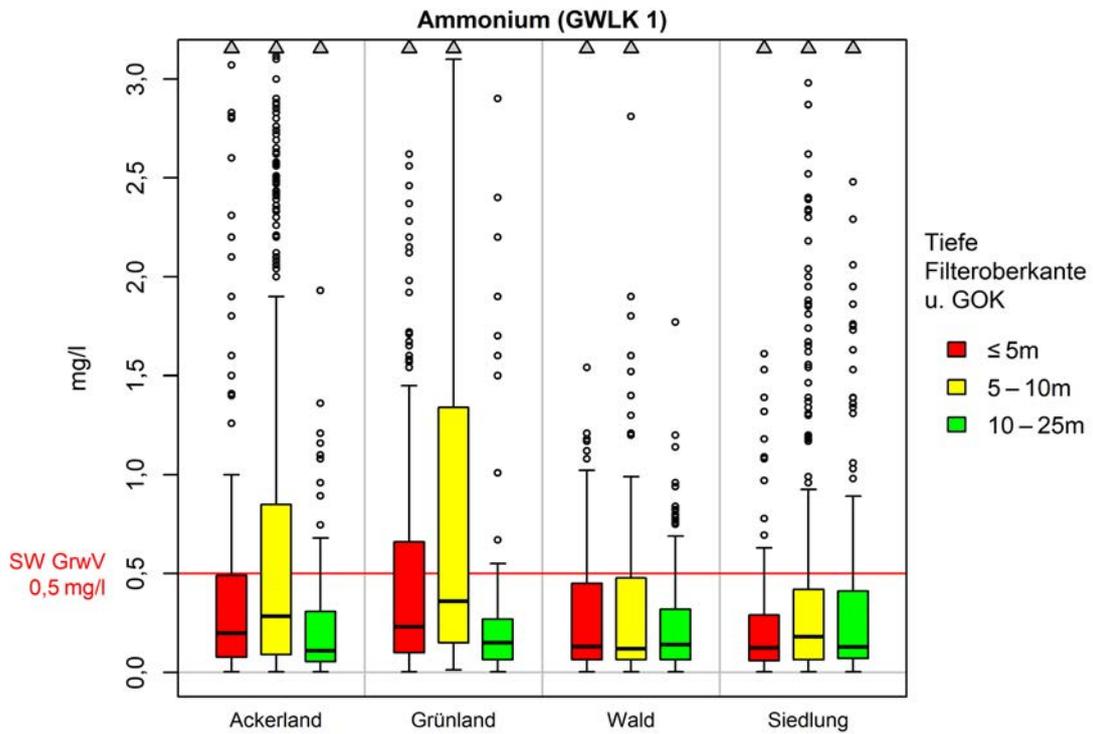


Abb. 7.24 Spannweitendiagramme der Ammonium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

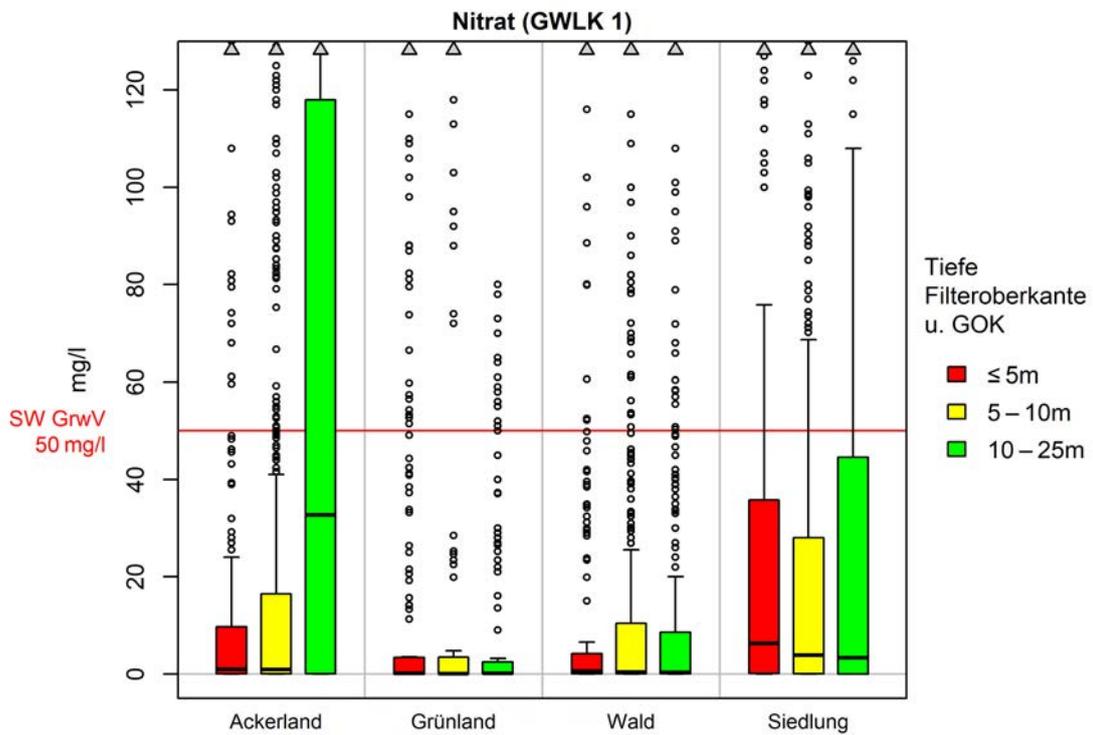


Abb. 7.25 Spannweitendiagramme der Nitrat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

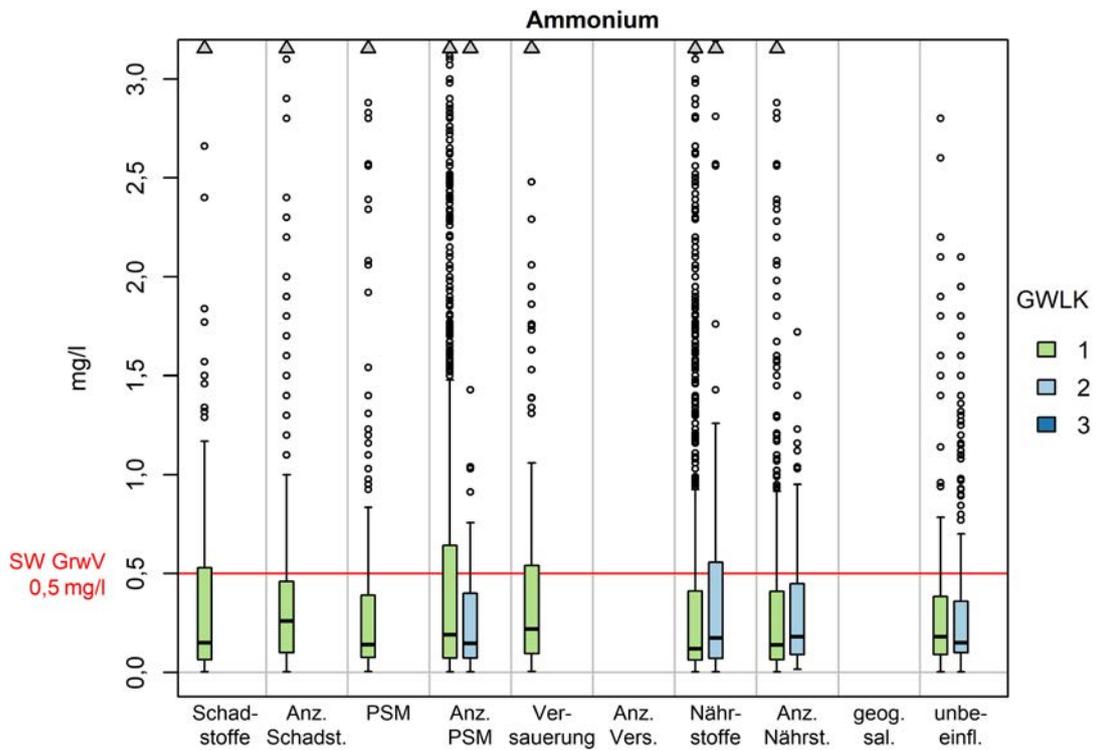


Abb. 7.26 Spannweitendiagramme der Ammonium-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

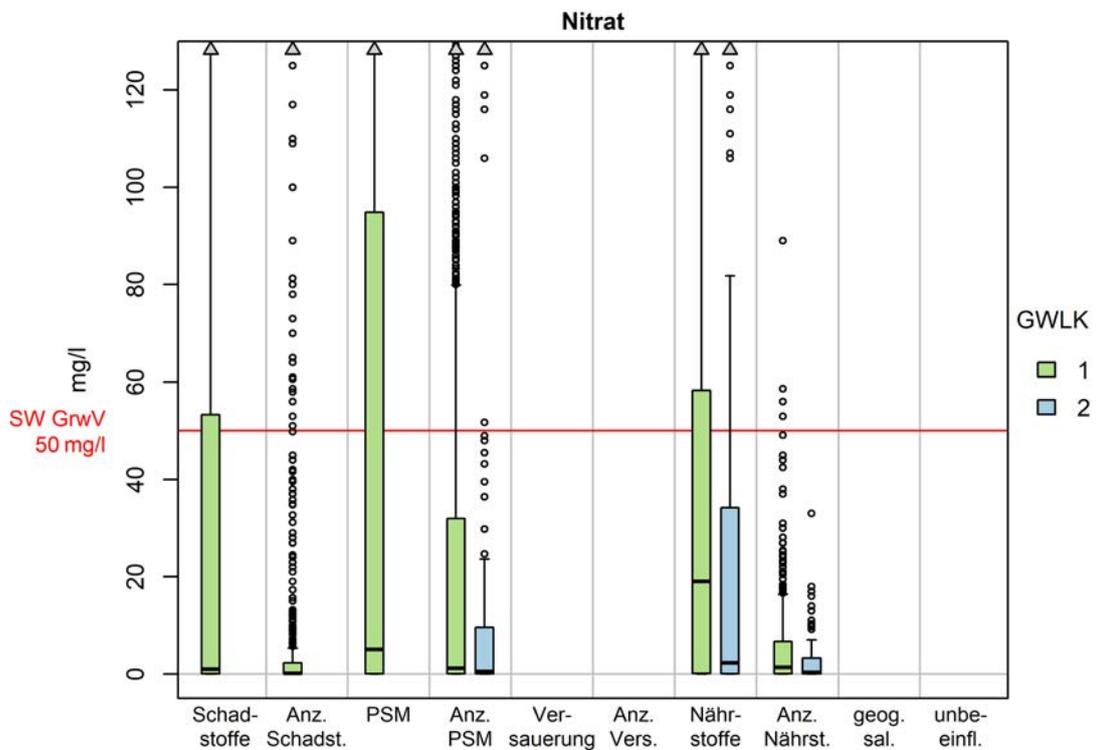


Abb. 7.27 Spannweitendiagramme der Nitrat-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

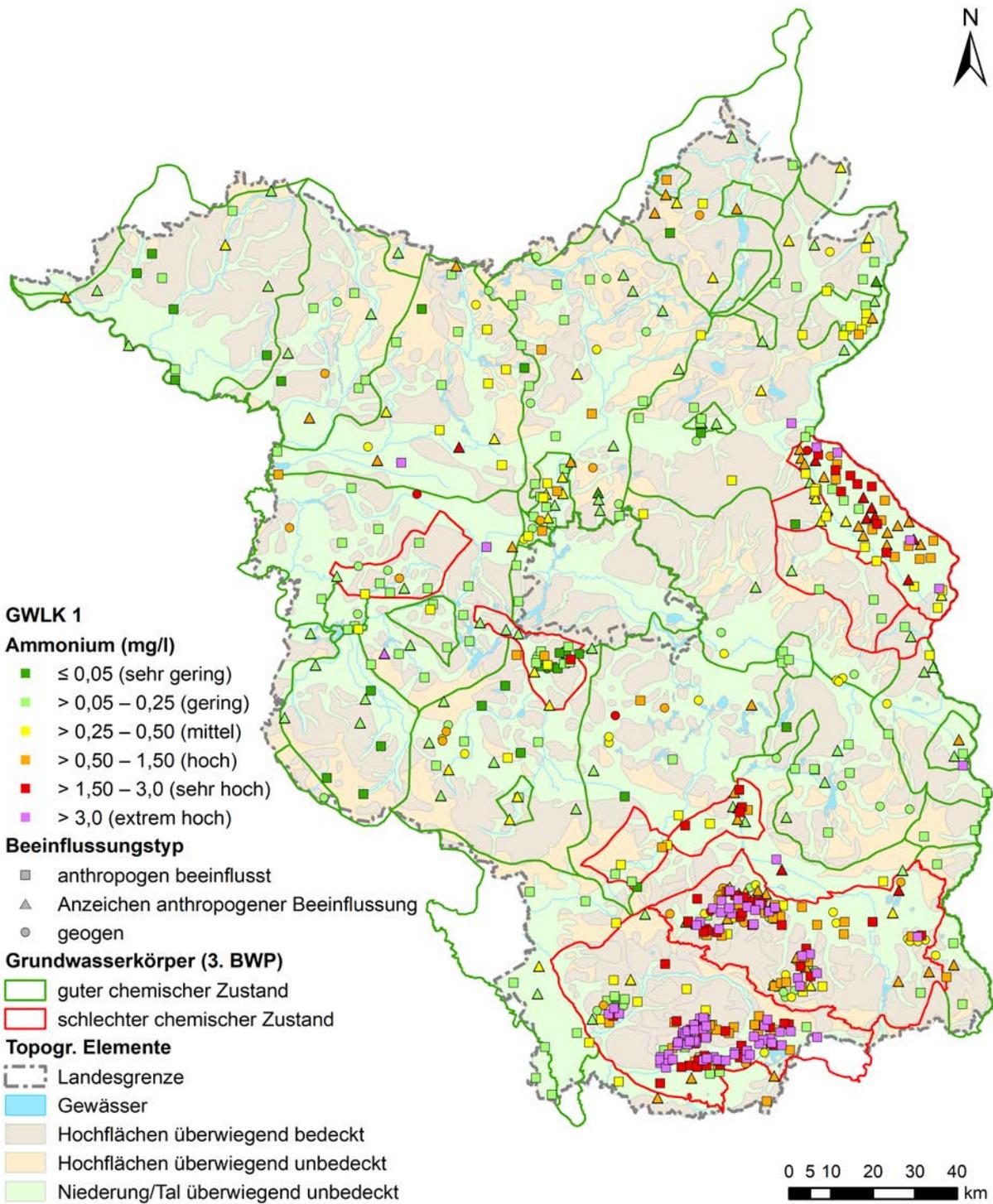


Abb. 7.28 Übersichtskarte der Ammonium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

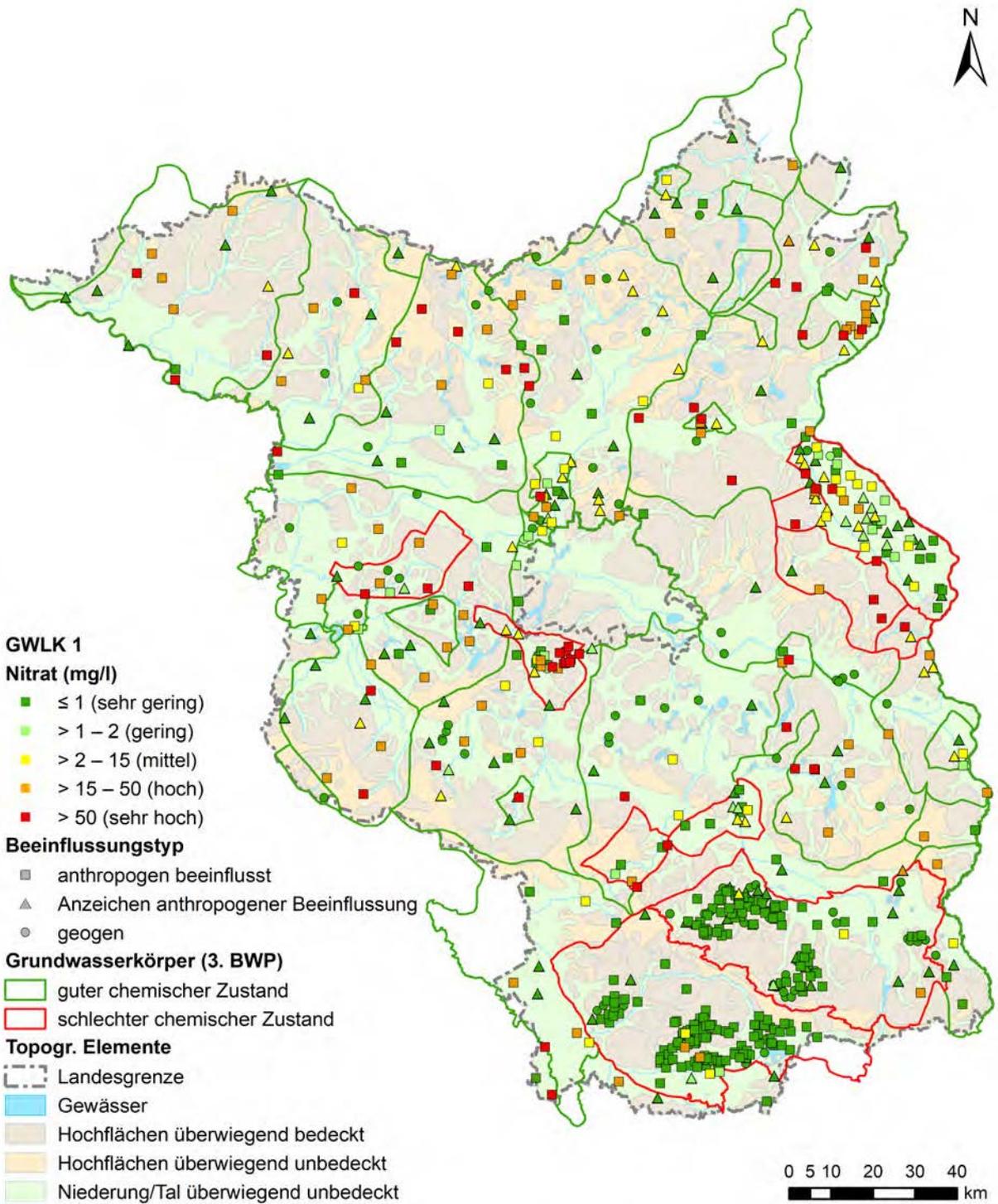


Abb. 7.29 Übersichtskarte der Nitrat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

## 7.2.4 Gesamtphosphor und ortho-Phosphat

Viele Phosphorverbindungen sind im Wasser nur schwer löslich. In gelöster Form liegen diese zumeist als ortho-Phosphat vor, welches natürlicherweise nur in geringen Konzentrationen auftritt (unter 0,2 mg/l). Das Anion ortho-Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) repräsentiert die im Grundwasser gelösten Salze der Orthophosphorsäure ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Phosphor stellt wie Kalium und Magnesium einen Hauptnährstoff für Pflanzen dar, weshalb es auf den generell nährstoffarmen Sandböden Brandenburgs zur Erzielung hoher Erträge auf Äcker und Grünland aufgebracht wird. Dies geschieht flächenhaft über organische und mineralische Düngemittel (unter anderem als Jauche oder magnesium-/calciumhaltige Phosphate). Phosphor wurde bis Mitte der 1990er Jahre außerdem zur Wasserenthärtung in Waschmitteln verwendet und gelangte bis zur Einrichtung von Phosphateliminierungsanlagen in großen Mengen über die Kläranlagenabläufe in die Gewässer oder über die Verrieselung direkt in das Grundwasser. Der anthropogen eingetragene und von den Pflanzen nicht aufgenommene Phosphor wird an der Feststoffmatrix und Schwebstoffen eingelagert, zum Beispiel auch an organischem Material und an Metallkomplexen wie Eisenhydroxiden. Bei der Reduktion der Eisenhydroxide (zum Beispiel Wiedervernässung von Mooren) kann Phosphor wieder freigesetzt werden.

Da Phosphat eine wesentliche Rolle bei der Eutrophierung von Gewässern spielt und über exfiltrierendes Grundwasser in die Gewässer gelangen kann, gehört Phosphat nach Anlage 8 der GrwV zu den Stoffen, deren Eintrag in das Grundwasser gemäß § 13 Absatz 2 der Grundwasserverordnung zu begrenzen ist.

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für ortho-Phosphat in Brandenburg im Bereich zwischen 0 und 0,12 mg/l. Für Gesamtphosphor werden in der HÜK200 keine Hintergrundwerte angegeben.

Zur besseren Vergleichbarkeit mit ortho-Phosphat werden in folgenden die Gesamtphosphor-Konzentrationen bezogen auf Phosphat ( $\text{mg}(\text{PO}_4)/\text{l}$ ) dargestellt.

Die Mediane der Gesamtphosphor-Konzentrationen liegen in den Grundwasserleiterkomplexen 1 bis 3 bei 0,22 bis 0,36  $\text{mg}(\text{PO}_4)/\text{l}$ . Die Häufigkeitsverteilungen in allen Grundwasserleiterkomplexen sind für Gesamtphosphor annähernd lognormal (Grundwasserleiterkomplex 1 in Abb. 7.30), wobei die Mittelwerte mit der Tiefe leicht abnehmen und die Verteilungen etwas schlanker werden.

Tab. 7.8 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Gesamtphosphor (in  $\text{mg}(\text{PO}_4)/\text{l}$ ) je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3495	1357	206
5. Perzentil (mg/l)	0,015	0,031	0,049
Median (mg/l)	0,23	0,22	0,36
Mittelw. (mg/l)	0,92	0,51	0,69
95. Perzentil (mg/l)	3,86	1,39	3,05

Tab. 7.9 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für ortho-Phosphat je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3506	1371	210
5. Perzentil (mg/l)	0,0075	0,0075	0,0075
Median (mg/l)	0,015	0,025	0,055
Mittelw. (mg/l)	0,21	0,11	0,10
95. Perzentil (mg/l)	0,91	0,30	0,39

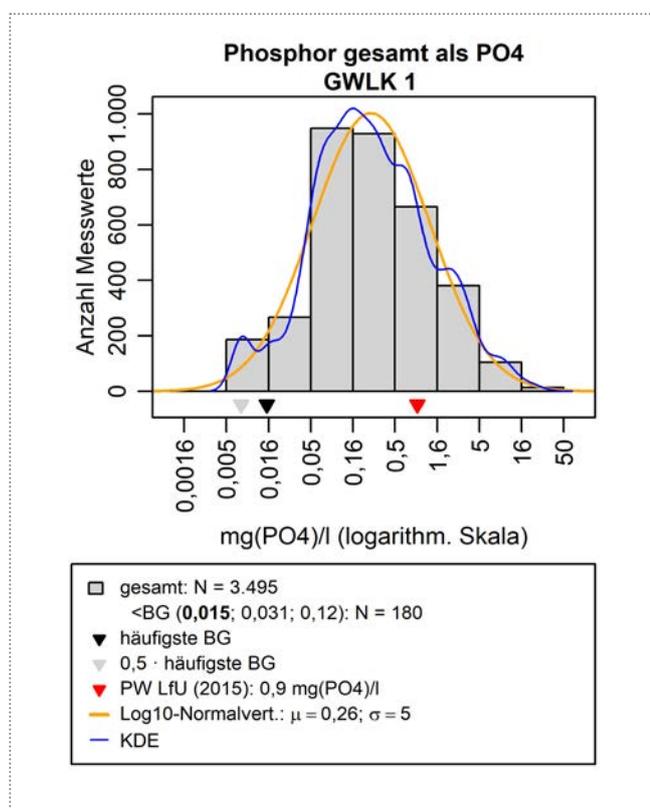


Abb. 7.30 Häufigkeitsverteilung der Gesamtphosphor-Konzentrationen (in  $\text{mg}(\text{PO}_4)/\text{l}$ ) im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

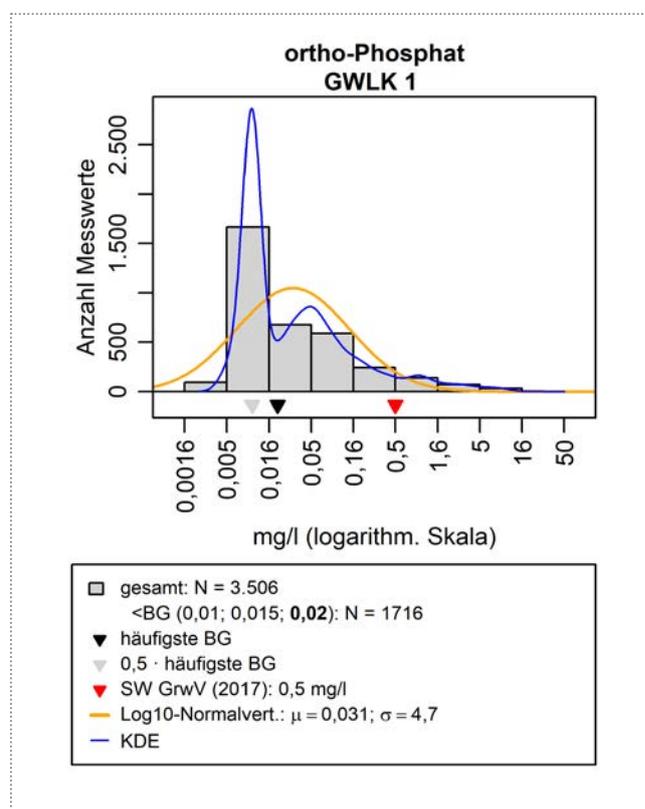


Abb. 7.31 Häufigkeitsverteilung der ortho-Phosphat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Für ortho-Phosphat liegen die Mediane in den Grundwasserleiterkomplexen zwischen 0,015 und 0,055 mg/l. Konzentrationen größer als 0,2 mg/l ortho-Phosphat lassen meist schon auf eine anthropogene Überprägung schließen. Geogen salinar beeinflusste Messstellen können aber ebenfalls erhöhte Werte aufweisen.

Die Häufigkeitsverteilungen von ortho-Phosphat folgen in allen Grundwasserleiterkomplexen im Bereich über der Bestimmungsgrenze ungefähr einer Lognormalverteilung, die aber vom Bereich unter der Bestimmungsgrenze gekappt wird (Grundwasserleiterkomplex 1 in Abb. 7.31). Der Zentralwert dieser Verteilung liegt in allen Grundwasserleiterkomplexen bei circa 0,05 mg/l, wobei mit der Tiefe der Anteil von Werten über der Bestimmungsgrenze zunimmt und die Verteilung eine leichte Rechtsschiefe aufweist.

Im Spannweitendiagramm der Flächennutzungen für Gesamtphosphor (Abb. 7.32) sind oberflächennah relativ hohe Spannweiten zu erkennen, die mit der Tiefe abnehmen. Nur unter Waldgebieten sind die Spannweiten schmaler. Extrem hohe Konzentrationen kommen unter allen Flächennutzungen vor.

Die Spannweiten für ortho-Phosphat im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.33) sind unter Grünland in flachen Messstellen (< 10 m unter GOK) erhöht (Boxen erreichen den Wert für eine beginnende anthropogene Beeinflussung von 0,2 mg/l). Aufgrund des höheren Anteils von Werten unter Bestimmungsgrenze können für ortho-Phosphat weniger Boxplots dargestellt werden als für Gesamtphosphor (Abschnitt 6.4).

Die erhöhten Konzentrationen von Gesamtphosphor (PO<sub>4</sub>) und ortho-Phosphat unter Ackerland stammen vorrangig aus der

Düngung. Unter Grünland können die Phosphorausträge aus der Torfmineralisierung stammen, da Grünlandwirtschaft häufig in meliorierten Niedermoorgebieten stattfindet.

In den Spannweitendiagrammen der Beeinflussungstypen fällt die hohe Spannweite und auch der hohe Medianwert für den Typ 1 *Schadstoffe* im Grundwasserleiterkomplex 1 auf. Dabei handelt es sich um Messstellen im Bereich der ehemaligen Rieselfelder südlich von Berlin. Die Rieselfelder sind bis heute durch hohe Phosphor-Belastungen geprägt. Typzuweisungen zu den Typen ohne Spannweite treten vereinzelt auch auf, werden aber aufgrund der geringen Anzahl nicht dargestellt.

In den Nährstofftypen 4 und 5.4 sind die Mediane von Gesamtphosphor (Abb. 7.34) gegenüber den unbeeinflussten Messstellen nicht erhöht, was darauf hindeutet, dass Landwirtschaftsflächen im Normalfall nicht mit Phosphor überdüngt werden. Jedoch zeigen die sehr großen Spannweiten in den Nährstofftypen wie auch unter den Landnutzungen Ackerland und Grünland (siehe oben) an, dass es auch größere Anteile landwirtschaftlich beeinflusster Messstellen gibt, die eine Phosphorbelastung durch Düngung oder Torfmineralisierung aufweisen.

Die Konzentrationskarte für ortho-Phosphat (Abb. 7.36) zeigt höhere Konzentrationen vor allem unter den ehemaligen Rieselfeldern südlich von Berlin, im Oderbruch, im Raum Oranienburg und in der Bergbauregion. Auffällige Messstellen außerhalb dieser Grundwasserkörper stehen teilweise in Zusammenhang mit Vernässungs- und Mooregebieten. Die räumliche Konzentrationsverteilung für Gesamtphosphor ist ähnlich.

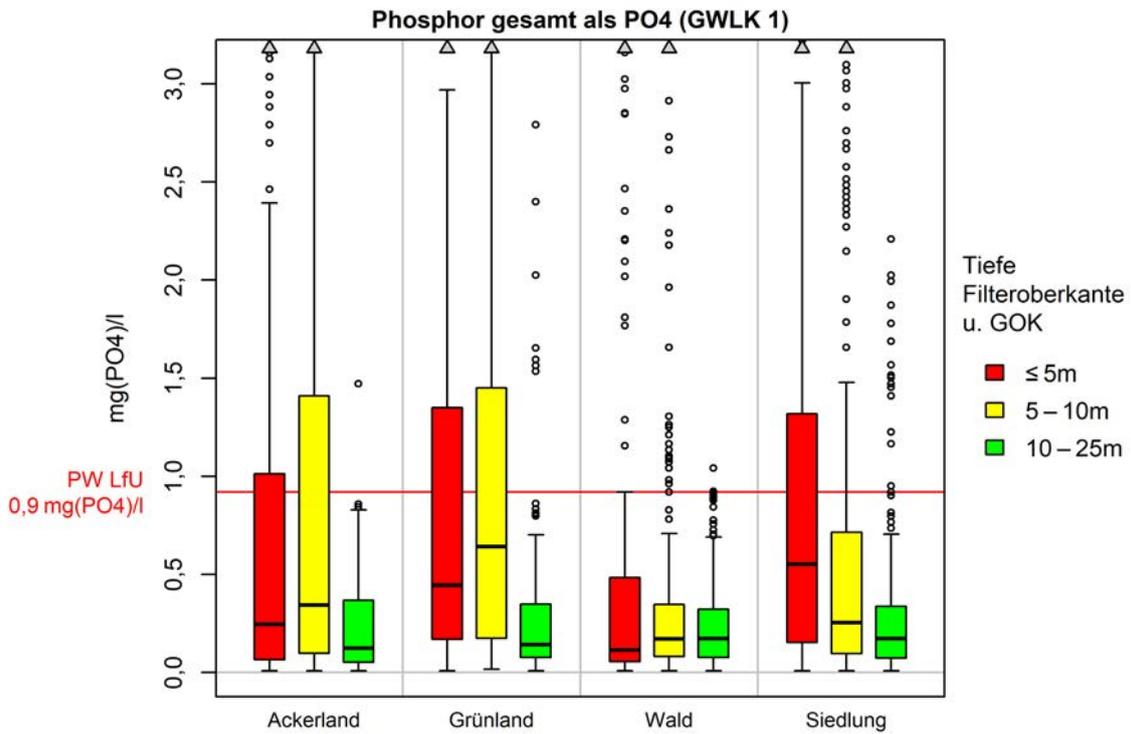


Abb. 7.32 Spannweitendiagramme der Gesamtposphor-Konzentrationen (in mg(PO<sub>4</sub>)/l) im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

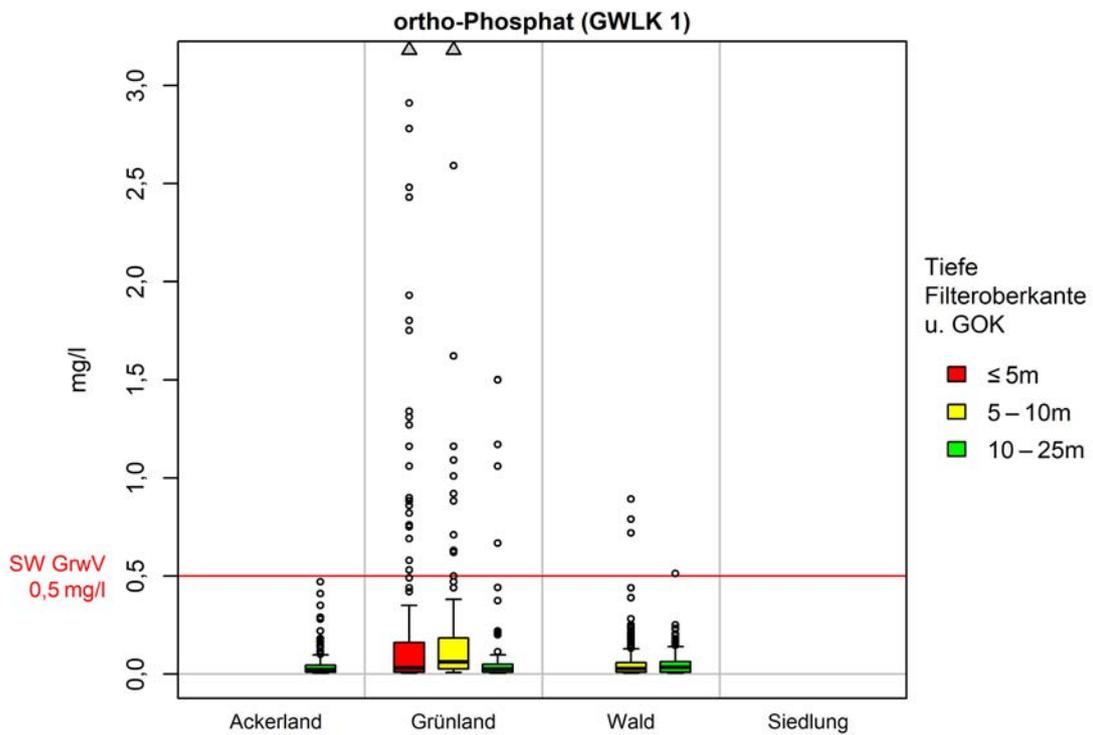


Abb. 7.33 Spannweitendiagramme der ortho-Phosphat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

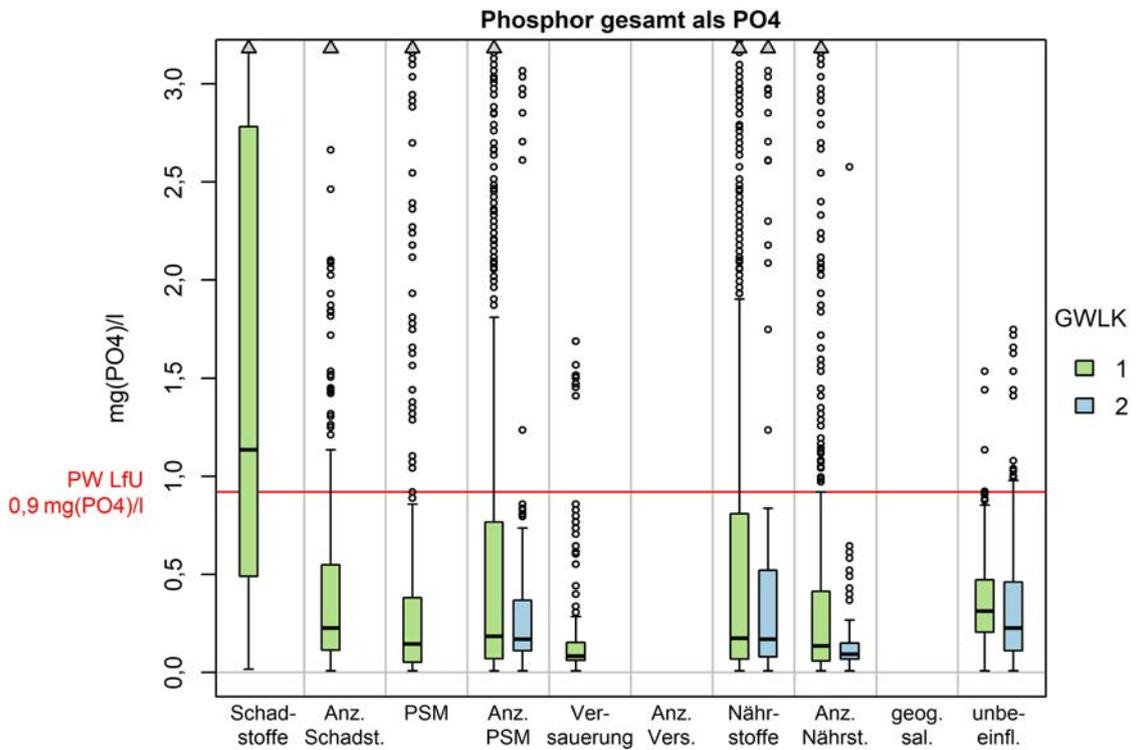


Abb. 7.34 Spannweitendiagramme der Gesamtphosphor-Konzentrationen (in mg(PO<sub>4</sub>)/l), untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

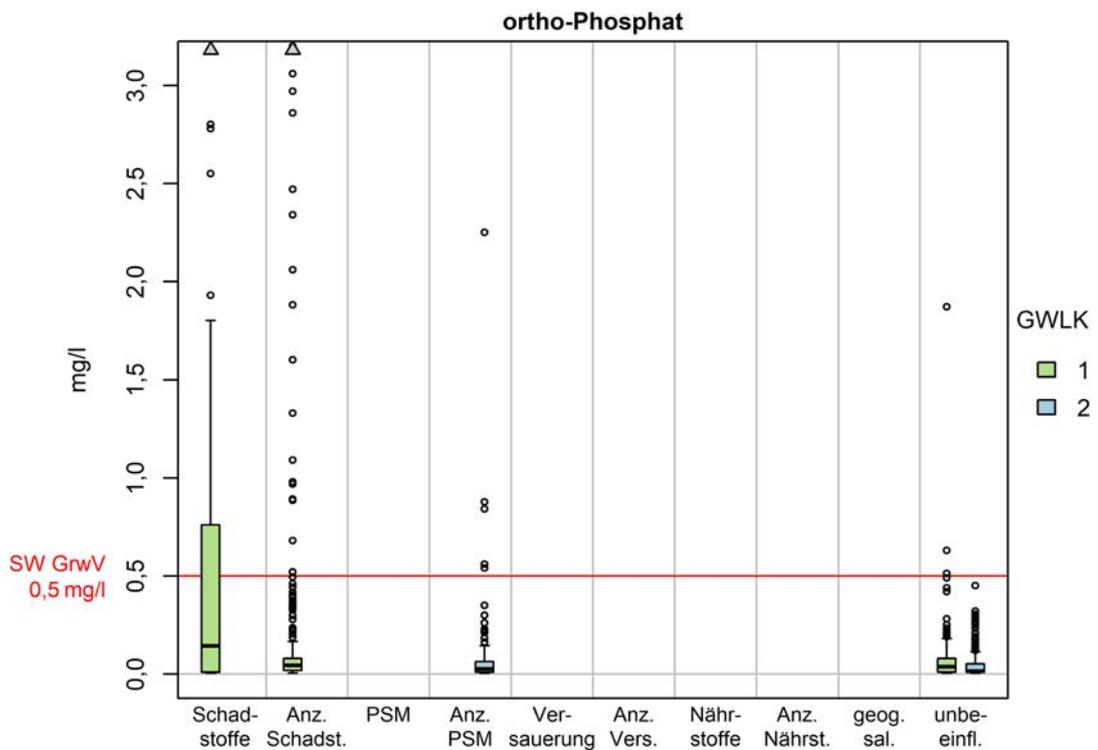


Abb. 7.35 Spannweitendiagramme der ortho-Phosphat-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

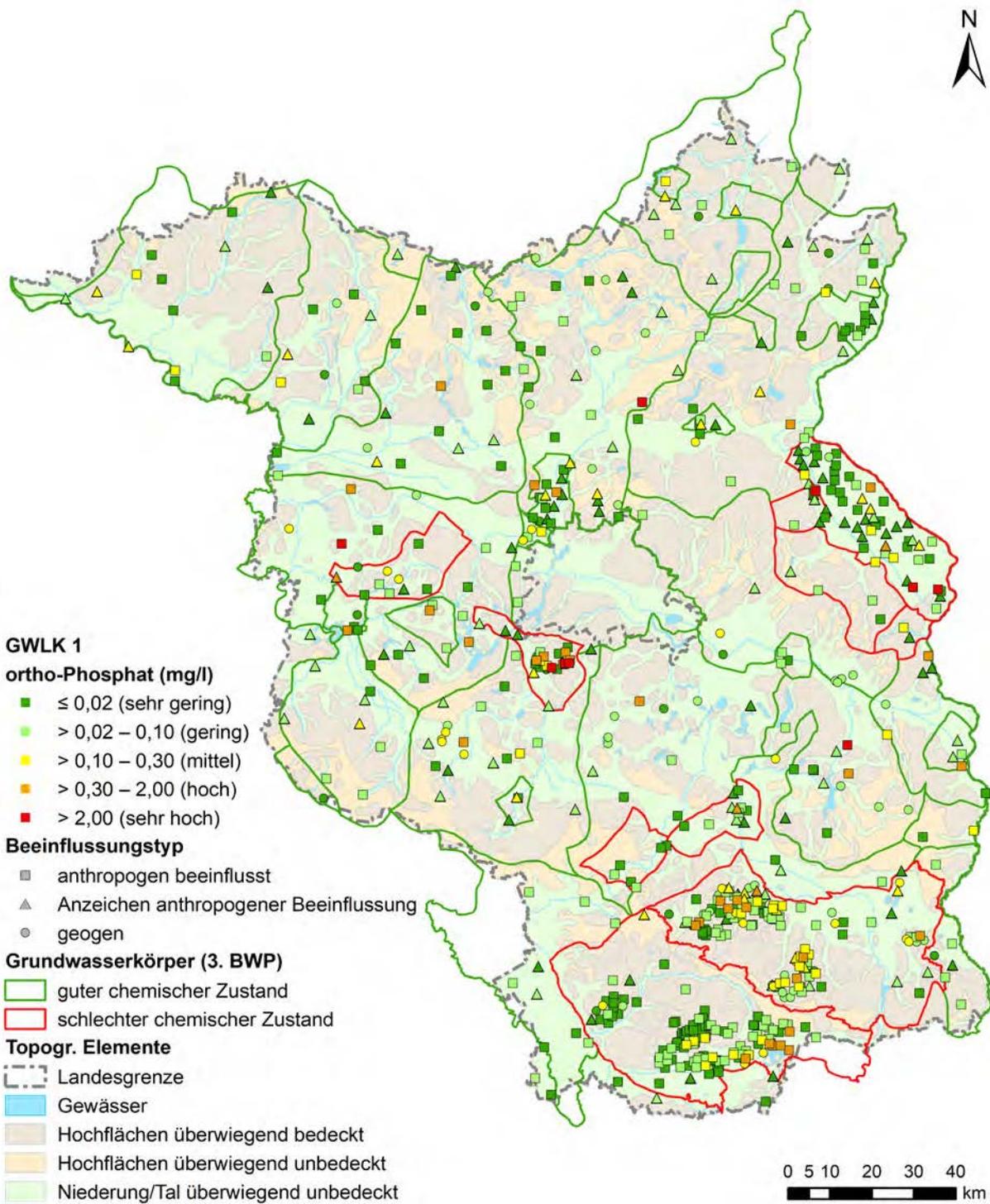


Abb. 7.36 Übersichtskarte der ortho-Phosphat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

## 7.2.5 Hydrogenkarbonat

Hydrogenkarbonat stammt aus gelöstem Kohlenstoffdioxid (Kohlensäure), das aus der Atmosphäre und der biologischen Aktivität im Boden stammt und mit dem Sickerwasser ins Grundwasser eingetragen wird. Weiterhin kann Hydrogenkarbonat aus der Auflösung von Karbonatmineralen stammen. Zusammen mit Calcium trägt es über das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht wesentlich zum pH-Pufferungsvermögen bei.

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für Brandenburg im Bereich von 62 bis 279 mg/l.

Die Medianwerte in den Grundwasserleiterkomplexen 1 bis 3 betragen 190 bis 242 mg/l.

Tab. 7.10 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Hydrogenkarbonat je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
<b>Anzahl Messw.</b>	3599	1407	212
<b>5. Perzentil (mg/l)</b>	20,0	52,7	94,7
<b>Median (mg/l)</b>	227	242	190
<b>Mittelw. (mg/l)</b>	224	250	230
<b>95. Perzentil (mg/l)</b>	423	500	518

Die Häufigkeitsverteilung im Grundwasserleiterkomplex 1 ist linksschief, aber noch annähernd lognormal-verteilt. Geringe Konzentrationen unter 100 mg/l treten vergleichsweise selten auf. Die Häufigkeitsverteilungen der anderen zwei Grundwasserleiterkomplexe sind ähnlich.

Unterteilt auf die Flächennutzung, sind die Mediane und Spannweiten im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.38) unter Wald niedriger als unter den anderen Flächennutzungen. Ein genereller tiefenabhängiger Trend ist nicht erkennbar.

Die Spannweitendiagramme je Beeinflussungstyp (Abb. 7.39) zeigen, dass die Konzentrationen im Beeinflussungstyp 1 *Schadstoffe* höher sind als in den anderen Typen, was auf Hydrogenkarbonat-Produktion (Atmung) beim Abbau organischer Schadstoffe hindeutet. Auch der Eintrag von Abwässern, die hydrogenkarbonatreich sind und organisches Material enthalten, führt zu einer Erhöhung der Hydrogenkarbonatgehalte,

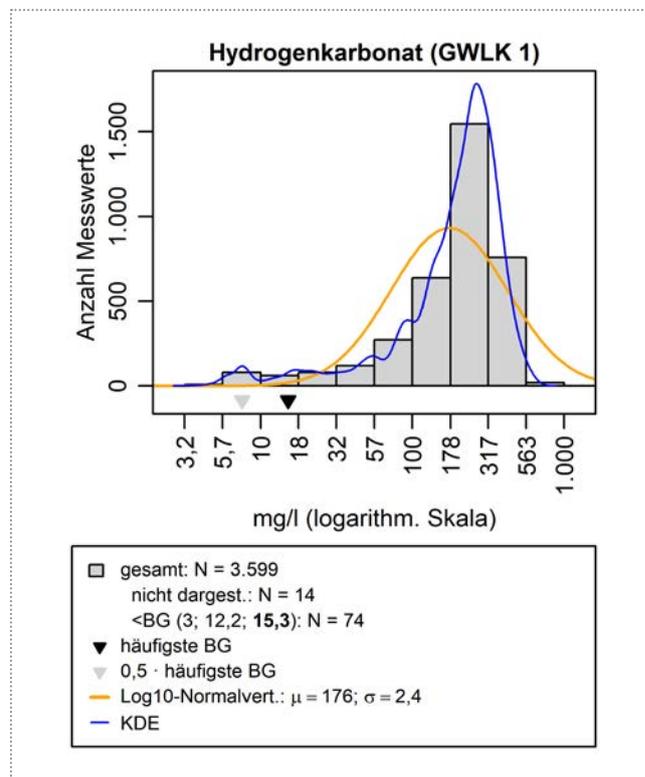


Abb. 7.37 Häufigkeitsverteilung der Hydrogenkarbonat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

wie es auf den Flächen der ehemaligen Rieselfelder im Süden Berlins der Fall ist. Die Konzentrationen in den Nährstofftypen 4 und 5.4 sind etwas höher als in unbeeinflussten Messstellen und könnten mit Denitrifikationsprozessen zusammenhängen. Auf Ackerland führt Kalkung oder Düngung zu einer Erhöhung der Hydrogenkarbonatkonzentration.

In den stark versauerten Messstellen des Bergbaubereichs (Typ 3) sind die Hydrogenkarbonat-Konzentrationen sehr niedrig, auch weil bei niedrigen pH-Werten wegen des Dissoziationsgleichgewichts wenig Hydrogenkarbonat vorliegen kann.

Die räumliche Verteilung der Konzentrationen (Abb. 7.40) zeigt ebenfalls die geringen Hydrogenkarbonat-Konzentrationen im Bereich der bergbaubeeinflussten Gebiete im Süden Brandenburgs sowie erhöhte Konzentrationen im Bereich der Rieselfelder südlich Berlins und im Oderbruch.

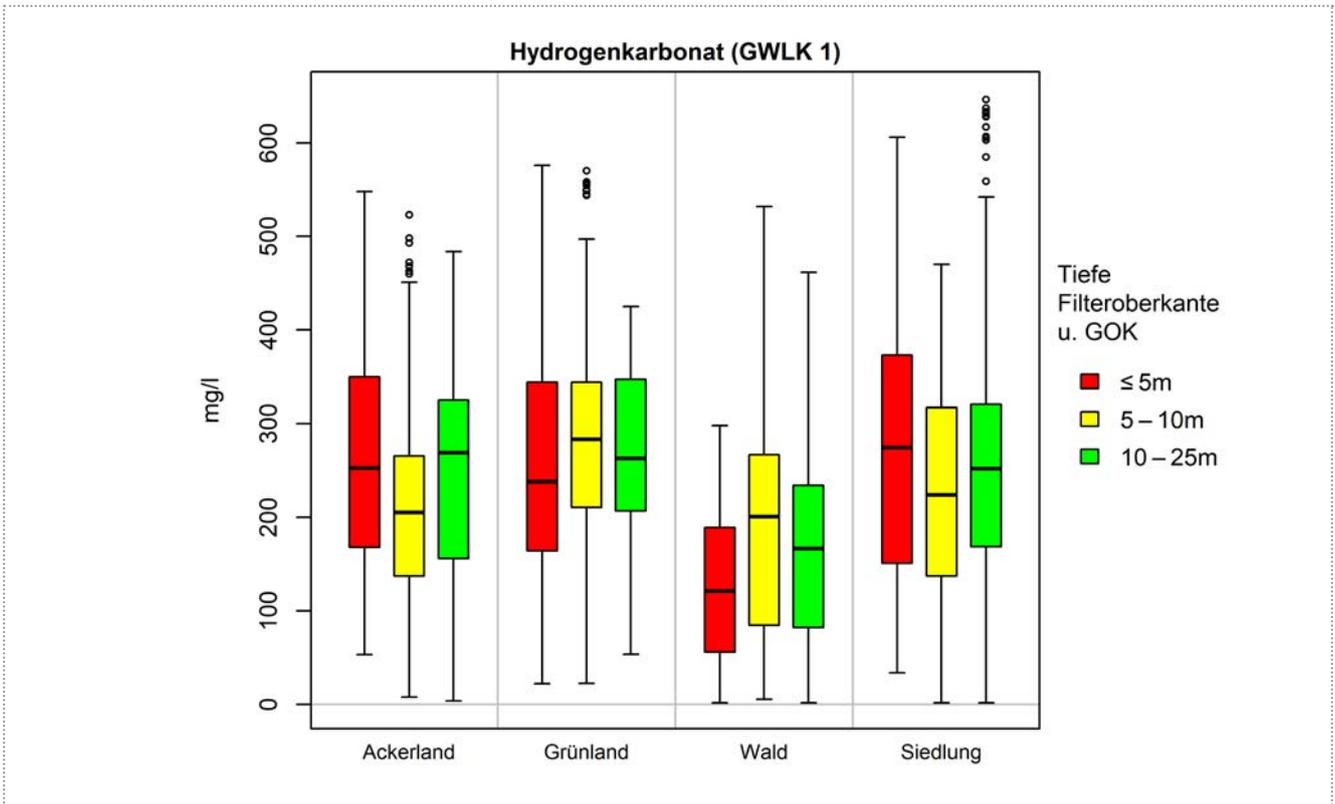


Abb. 7.38 Spannweitendiagramme der Hydrogenkarbonat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage (ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau)

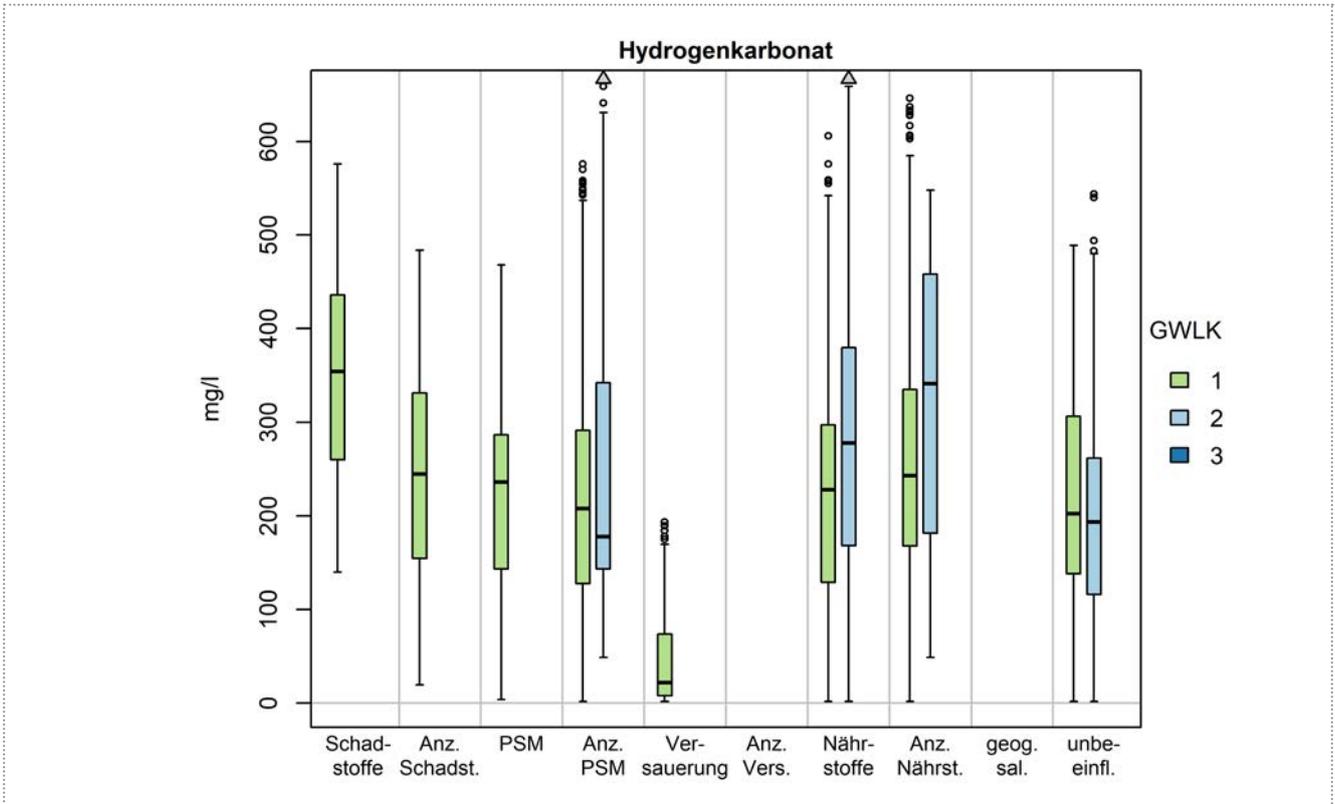


Abb. 7.39 Spannweitendiagramme der Hydrogenkarbonat-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

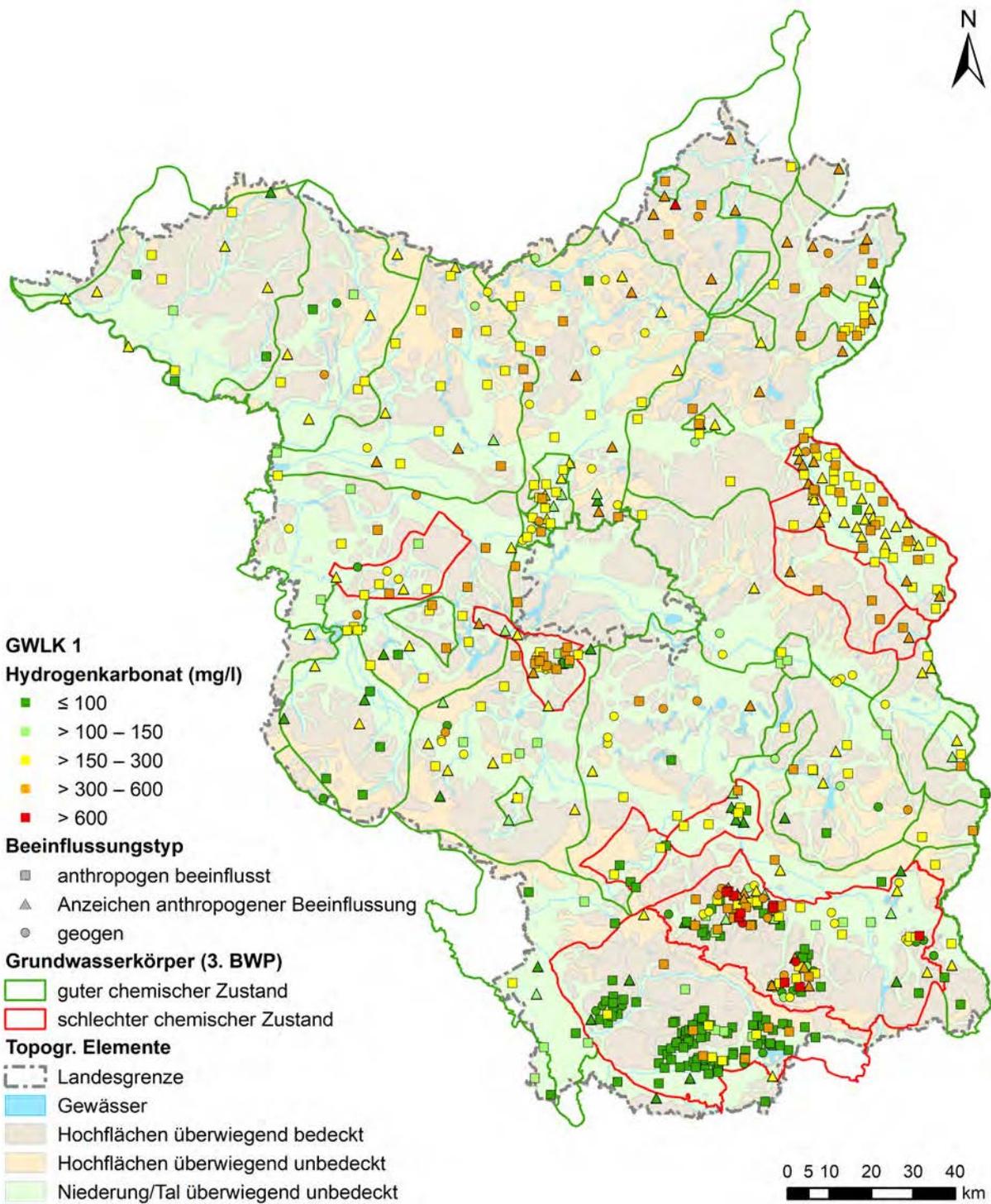


Abb. 7.40 Übersichtskarte der Hydrogenkarbonat-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

## 7.2.6 Calcium

Die Hauptverbindungen des Calciums im Grundwasser sind Calciumhydrogenkarbonat ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) und Calciumsulfat ( $\text{CaSO}_4$ ). Calcium wird geogen über die Lösung von Karbonat-, Sulfat- und Silikatgesteinen eingetragen. Der Anteil an anthropogenem Calcium über Dünger („Kalkung“) kann aber auch beträchtlich sein.

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für Brandenburg im Bereich von 29,7 bis 102 mg/l (Anhang 2).

Die Calciumkonzentrationen liegen in den Grundwasserleiterkomplex 1 und 2 mit Medianwerten von 105 und 102 mg/l nah bei einander. Im Grundwasserleiterkomplex 3 ist der Medianwert mit 67 mg/l deutlich niedriger.

Tab. 7.11 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Calcium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3613	1408	212
5. Perzentil (mg/l)	33,8	33,6	27,8
Median (mg/l)	105,0	102,0	67,3
Mittelw. (mg/l)	108,3	109,7	69,9
95. Perzentil (mg/l)	191	205	143

Calcium ist im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.41) und Grundwasserleiterkomplex 2 annähernd lognormal verteilt, mit einer leicht linksschiefen Abweichung.

In den Spannweitendiagrammen ist im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.42) teilweise eine Zunahme mit der Filtertiefe zu beobachten. Unter Wald sind die Konzentrationen etwas niedriger als unter den anderen Flächennutzungen, wo Calcium auch aus anthropogenen Quellen stammen kann. Waldstandorte sind zudem oft versauert und damit entbast (das heißt, sie haben sorbiertes Natrium, Calcium und Magnesium bereits größtenteils verloren), so dass weniger Calcium (und Magnesium) mit dem Sickerwasser ausgetragen wird.

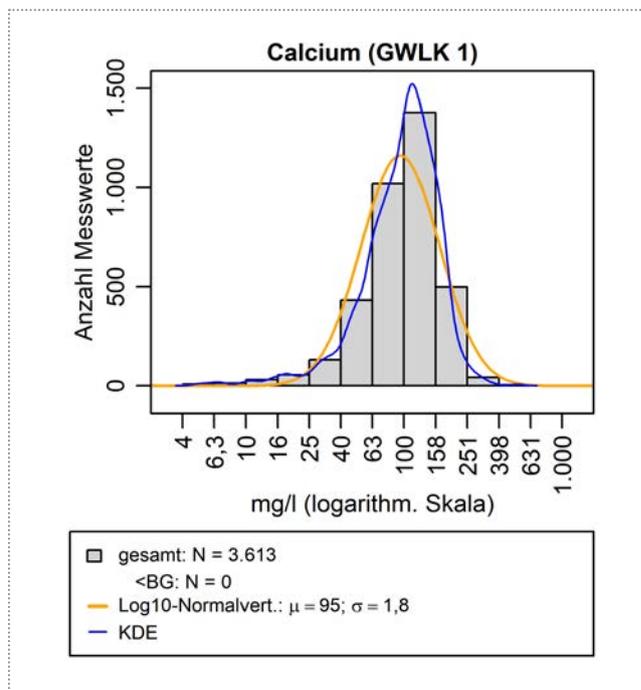


Abb. 7.41 Häufigkeitsverteilung der Calcium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

In den Spannweitendiagrammen der Beeinflussungstypen (Abb. 7.43) bewegen sich die Konzentrationen in GWLK 1 und 2 in den meisten Typen auf einem ähnlichen Niveau. Die höchsten Konzentrationen (bis zu 375 mg/l) sind den Typen *Nährstoffe*, *Anzeichen Nährstoffe* und *Anzeichen PSM* zuzuordnen. In landwirtschaftlich genutzten Gebieten können Calcium-Konzentrationen aufgrund von Düngung und Kalkung erhöht sein. Im Typ 3 *Versauerung* (ohne Berücksichtigung des Salzmessnetzes und des Sondermessnetzes WRRL-Bergbau) sind die Konzentrationen niedriger, da Calcium durch Versauerungsprozesse ausgetragen wird.

Die Karte der Calcium-Konzentration in Abb. 7.44 zeigt Häufungen erhöhter Werte in den Grundwasserkörpern im schlechten chemischen Zustand. Generell sind die Konzentrationen im Norden Brandenburgs (Jungmoränengebiet) etwas höher als im Süden (Altmoränengebiet), was vermutlich auf den geologischen Hintergrund aufgrund der entkalkten Sedimente zurückzuführen ist.

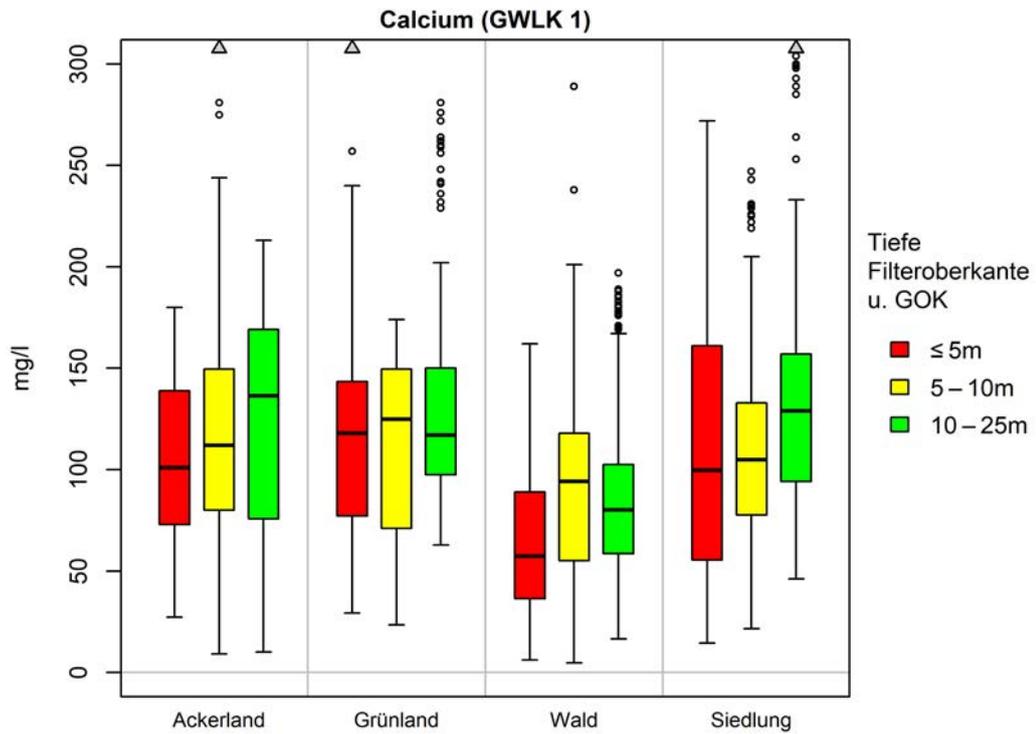


Abb. 7.42 Spannweitendiagramme der Calcium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

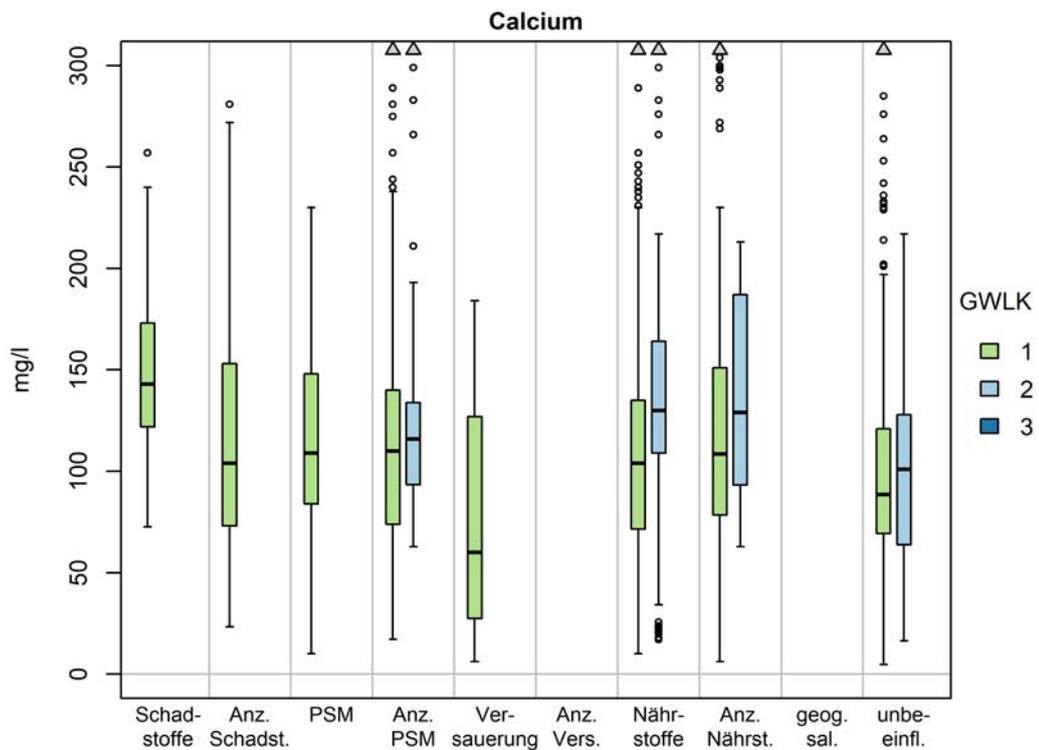


Abb. 7.43 Spannweitendiagramme der Calcium-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

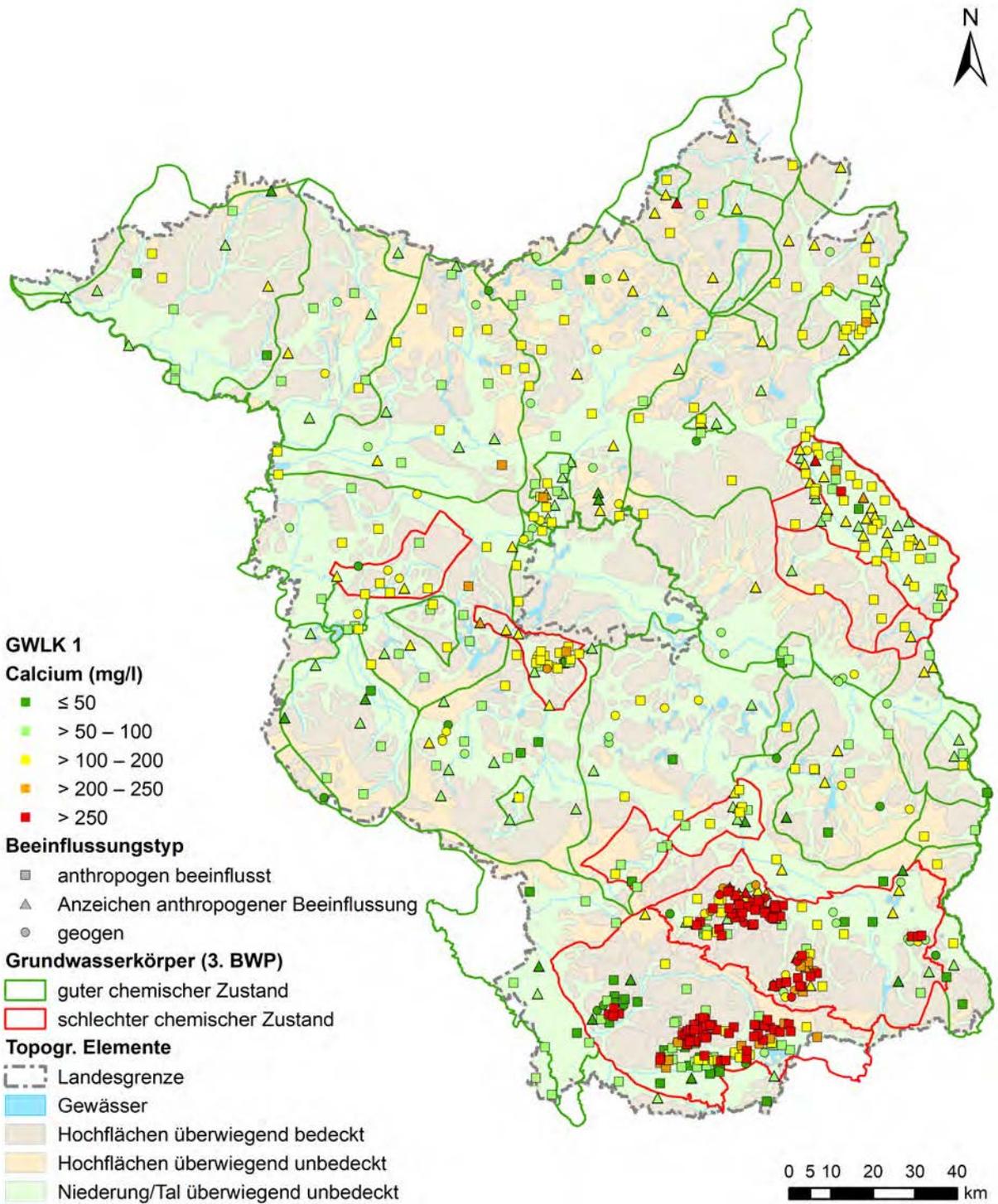


Abb. 7.44 Übersichtskarte der Calcium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

## 7.2.7 Magnesium

Magnesium gehört wie Phosphor und Kalium zu den Hauptnährstoffen der Pflanzen. Die Hauptverbindungen im Grundwasser sind Magnesiumhydrogenkarbonat ( $Mg(HCO_3)_2$ ) und Magnesiumsulfat ( $MgSO_4$ ). Hydrogeochemisch verhält es sich ähnlich wie Calcium, die Konzentrationen sind aber normalerweise deutlich niedriger.

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für Brandenburg im Bereich von 5,6 bis 14,3 mg/l.

Die Medianwerte der Magnesiumkonzentrationen liegen in den Grundwasserleiterkomplexen 1 und 2 bei 11 mg/l. Im Grundwasserleiterkomplex 3 ist der Median mit 7,1 mg/l etwas niedriger.

Tab. 7.12 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Magnesium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3613	1408	212
5. Perzentil (mg/l)	3,1	2,7	2,2
Median (mg/l)	10,8	10,8	7,1
Mittelw. (mg/l)	11,9	12,0	10,0
95. Perzentil (mg/l)	24,7	27,2	27,4

Magnesium ist (ähnlich wie Calcium, Abschnitt 7.2.5) im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.45) und Grundwasserleiterkomplex 2 ungefähr lognormal verteilt, mit einer leichten linkschiefen Abweichung.

In den Spannweitendiagrammen ist im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.46) eine Zunahme mit der Filtertiefe zu beobachten. Unter Wald sind die Konzentrationen etwas niedriger als unter den anderen Flächennutzungen, analog zu Calcium (siehe Abschnitt 7.2.5).

Im Unterschied zu Calcium zeigt das Spannweitendiagramm für Magnesium im Beeinflussungstyp *Schadstoffe* keine Konzentrationserhöhung und auch im Typ *Versauerung* sind die

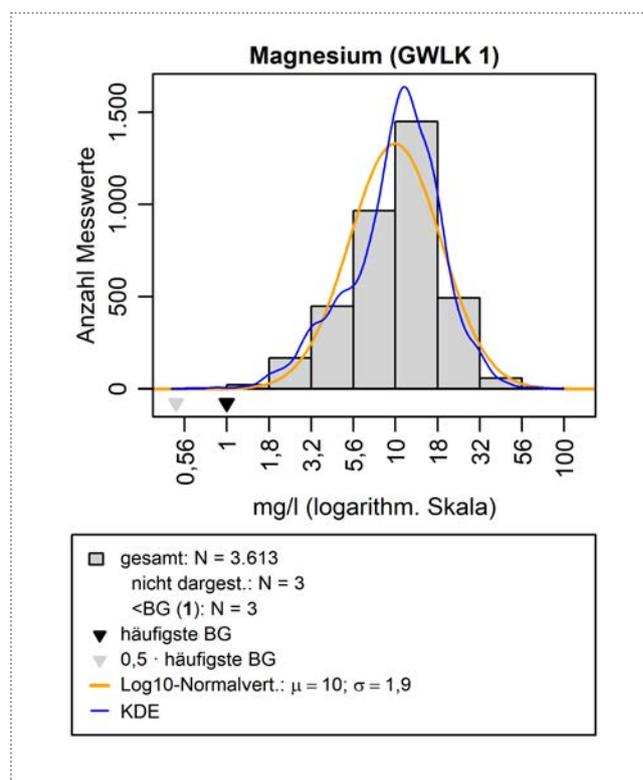


Abb. 7.45 Häufigkeitsverteilung der Magnesium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Konzentrationen nicht deutlich niedriger als in anderen Typen. In der Bergbauregion stellt sich die Situation anders dar.

In der Übersichtskarte der Magnesium-Konzentration in Abb. 7.48 ist die Nord-Süd-Tendenz weniger ausgeprägt als bei Calcium (Abschnitt 7.2.5). Auch bei Magnesium finden sich Häufungen erhöhter Werte in den Grundwasserkörpern im schlechten chemischen Zustand. Insbesondere im bergbaulich beeinflussten Süden Brandenburgs treten im Sondermessnetz WRRL-Bergbau sehr hohe Magnesium-Konzentrationen auf. Hier ist, analog zum Anstieg der Calcium-Konzentration, die Auflösung von Dolomit zur pH-Pufferung der durch Pyritoxidation entstehenden Säuren ursächlich.

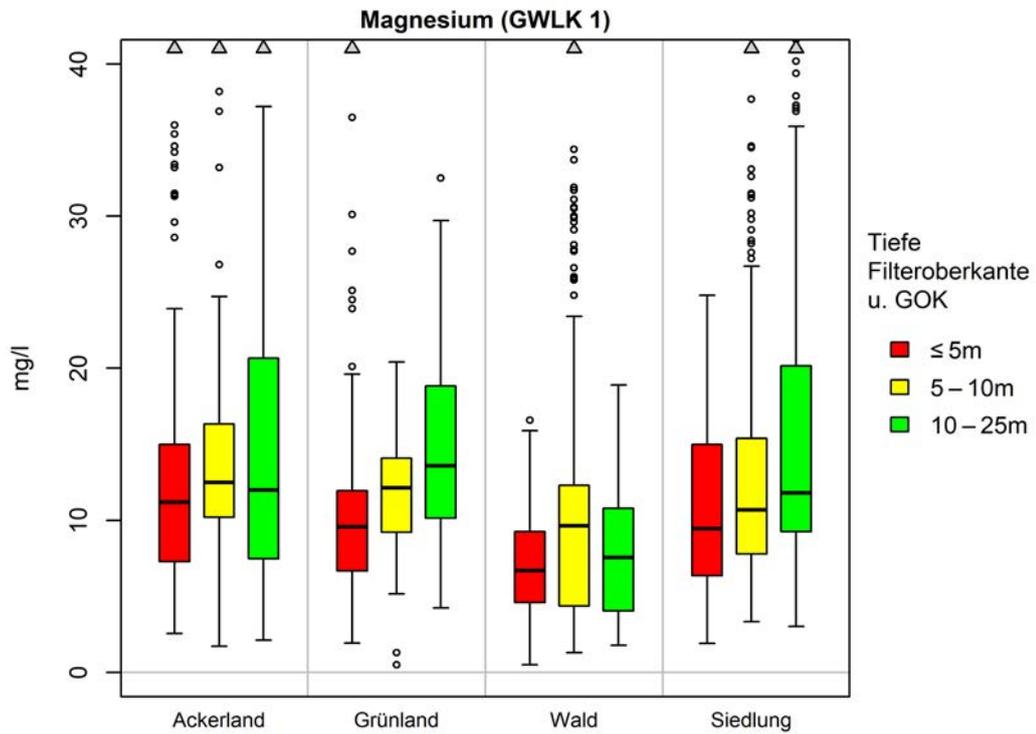


Abb. 7.46 Spannweitendiagramme der Magnesium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

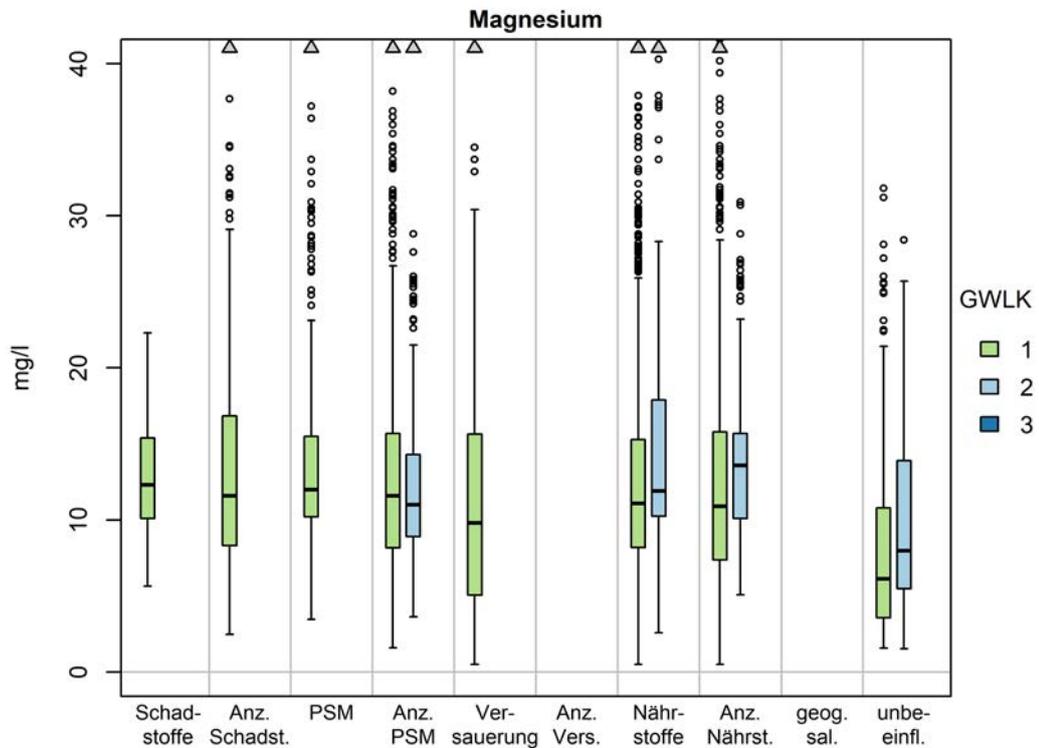


Abb. 7.47 Spannweitendiagramme der Magnesium-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau)

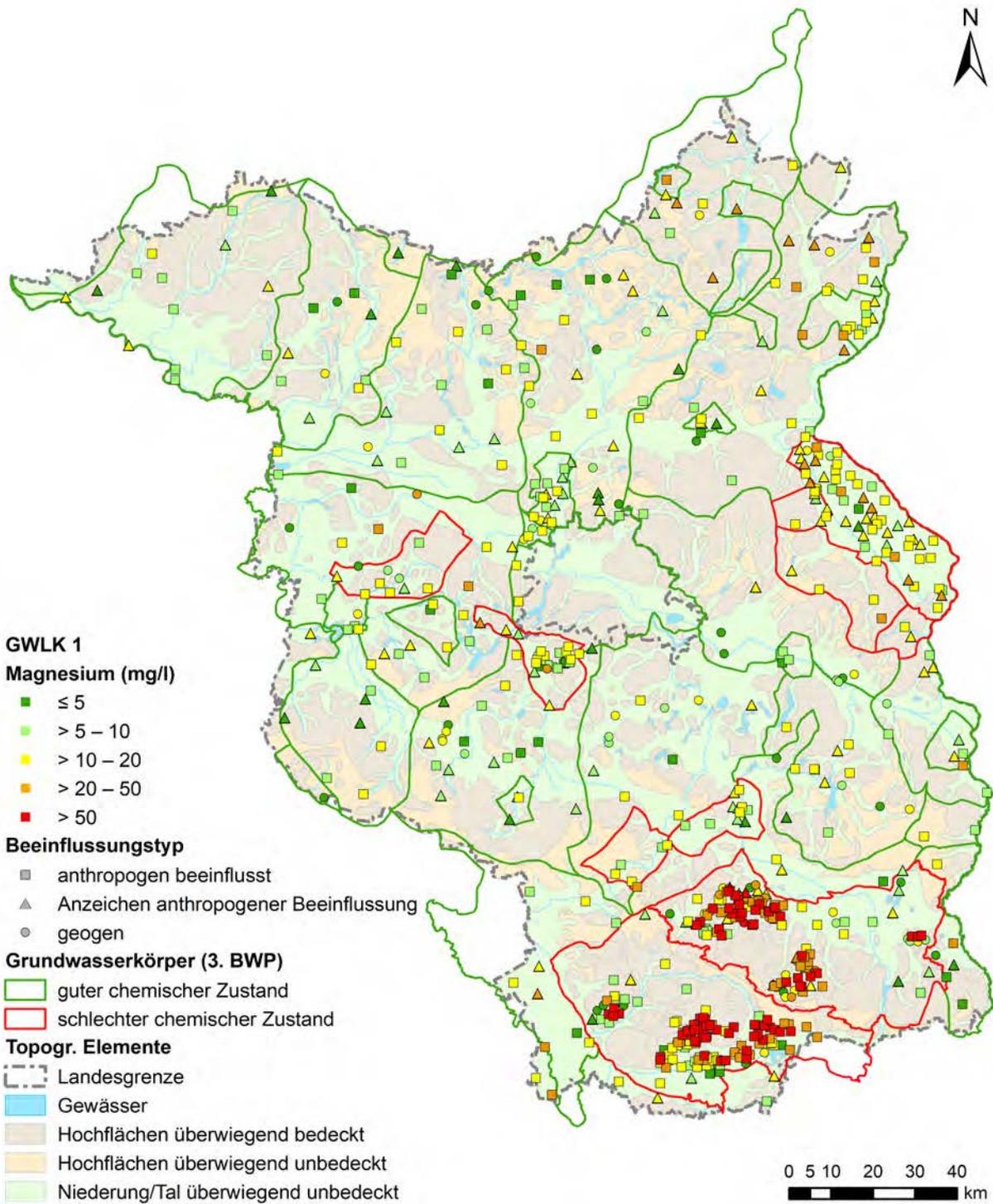


Abb. 7.48 Übersichtskarte der Magnesium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

## 7.2.8 Natrium

Natrium tritt im Grundwasser hauptsächlich als Natriumchlorid (NaCl) sowie als Natriumhydrogenkarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) und untergeordnet als Natriumsulfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) auf. Hohe Natriumkonzentrationen sind häufig auch eine Folge des Aufstiegs hoch mineralisierter Tiefenwässer und gehen dann einher mit erhöhten Chloridgehalten. Zusätzlich wird Natrium anthropogen durch zum Beispiel Straßenstreusalze eingetragen.

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für Brandenburg im Bereich von 10,8 bis 20,4 mg/l.

Die mittleren Natriumkonzentrationen liegen in Brandenburg in den drei Grundwasserleiterkomplexen zwischen 20 und 27 mg/l (Tab. 7.13).

Tab. 7.13 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Natrium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3613	1408	212
5. Perzentil (mg/l)	5,5	4,6	4,3
Median (mg/l)	18,4	14,2	9,5
Mittelw. (mg/l)	26,8	25,1	20,4
95. Perzentil (mg/l)	76,2	99,8	79,9

Die Häufigkeitsverteilung im Grundwasserleiterkomplex 1 ist in Abb. 7.49 dargestellt. Die Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1 sind nahezu lognormal-verteilt, während bei den tieferen Grundwasserleiterkomplexen eine Komponente mit höheren Konzentrationen (möglicherweise Anzeichen von Salineinflüssen) hinzutritt, während sich die Spitze leicht zu niedrigeren Konzentrationen verlagert.

Die Natriumgehalte in den Messstellen unter Ackerland und Wald liegen überwiegend unter 30 mg/l, wobei die Konzentrationen in den flachen Messstellen (Filterlage < 5 m GOK) unter Wald etwas höher sind. Unter Grünland und Siedlung sind die Konzentrationen höher, ebenfalls mit einer mit der Tiefe abnehmenden Tendenz.

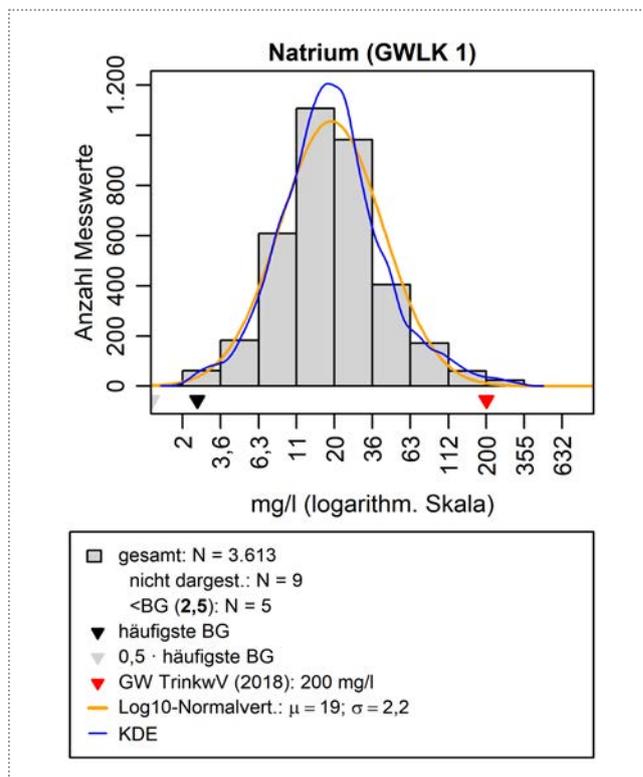


Abb. 7.49 Häufigkeitsverteilung der Natriumkonzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Die Natriumkonzentrationen der als unbeeinflusst typisierten Messstellen (Typ 7) bewegen sich zwischen 5,1 und 45 mg/l (10. Perzentil, 90. Perzentil) bei einem Median von 14 mg/l.

Der Median und auch die Spannweiten sind im Typ *Schadstoffe* und im Typ *Anzeichen Nährstoffe* erhöht. Im Typ *Schadstoffe* sind die erhöhten Konzentrationen auf die ehemaligen Rieselfeldstandorte südlich von Berlin zurückzuführen. Hohe Konzentrationen in den Typen *Nährstoffe*, *Anzeichen Nährstoffe* und *Anzeichen PSM* weisen auf den Einfluss von Dünger hin.

Die räumliche Verteilung im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.52) zeigt keine deutlichen Muster. Tendenziell liegen die Konzentrationen in den Hochflächenbereichen etwas niedriger. Messstellen mit hohen Konzentrationen (> 100 mg/l) konzentrieren sich auf die Grundwasserkörper im schlechten chemischen Zustand.

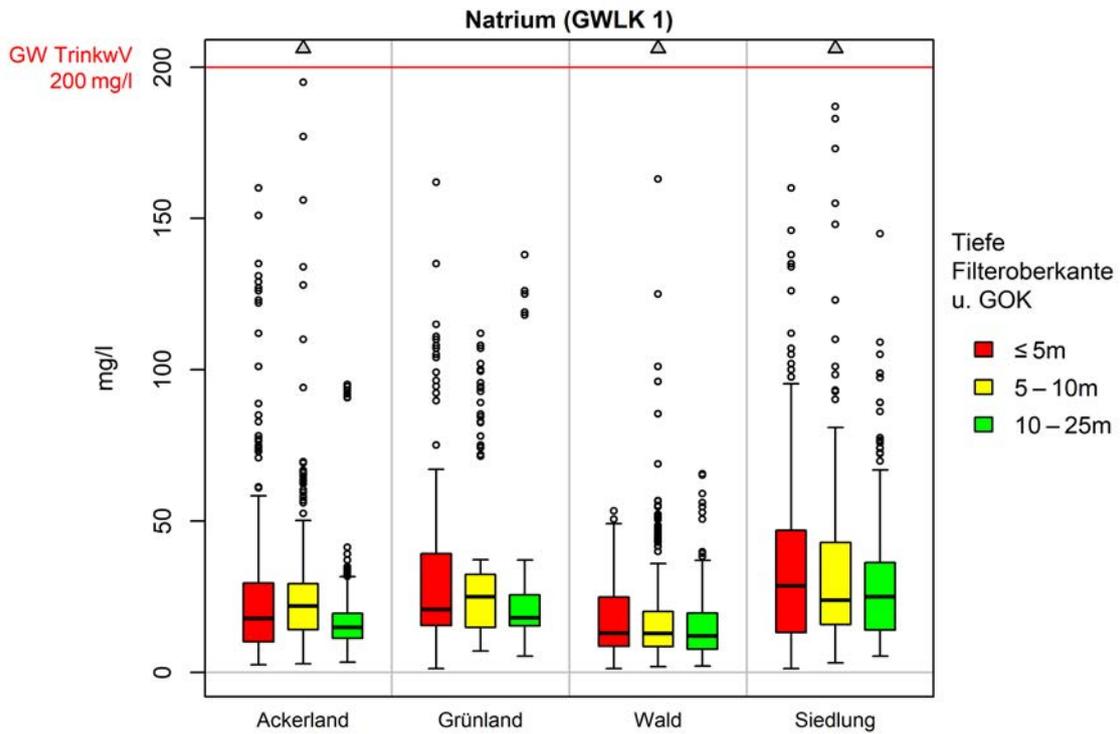


Abb. 7.50: Spannweitendiagramme der Natrium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

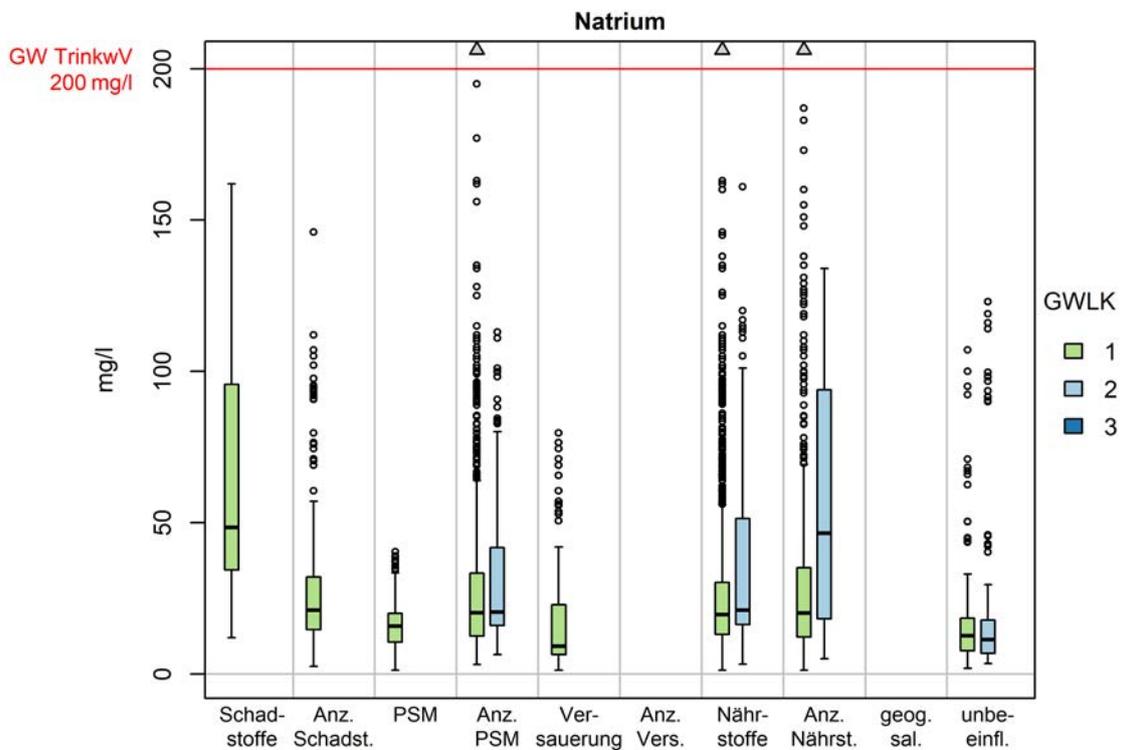


Abb. 7.51: Spannweitendiagramme der Natrium-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

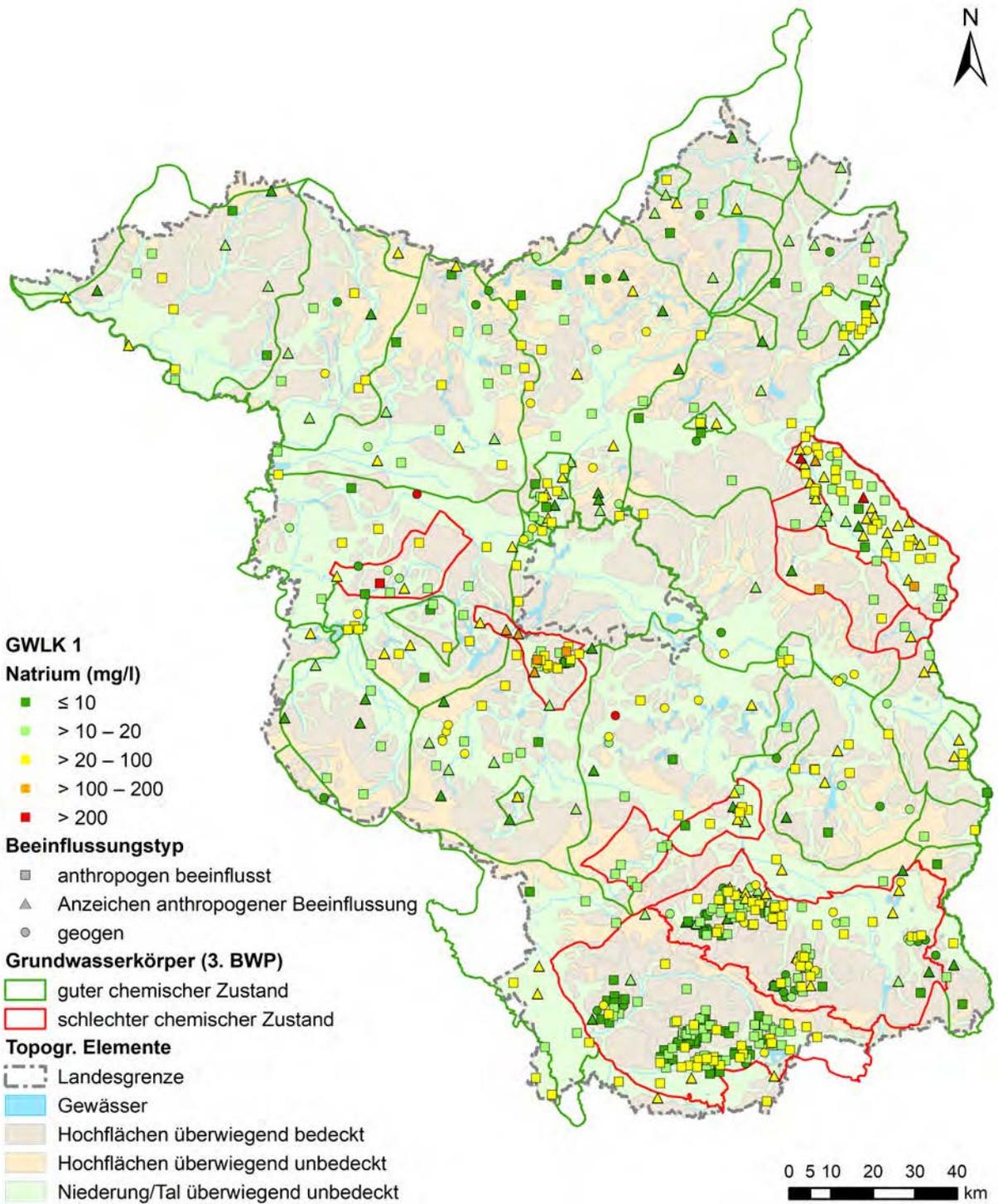


Abb. 7.52 Übersichtskarte der Natrium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

## 7.2.9 Kalium

Kalium gehört wie Stickstoff, Phosphor und Magnesium zu den Hauptnährstoffen der Pflanzen. Der häufigste anthropogene Eintrag von Kalium in den Boden beziehungsweise das Grundwasser erfolgt daher in Form von Dünger. Die Hauptverbindung im Grundwasser ist Kaliumchlorid (KCl).

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für Brandenburg im Bereich von 1,8 bis 4,0 mg/l.

Der Medianwert der Kalium-Konzentrationen liegt im Grundwasserleiterkomplex 1 bei 5 mg/l und damit über dem Prüfwert. Im Grundwasserleiterkomplex 2 liegt der Medianwert bei 2,24 mg/l und in Grundwasserleiterkomplex 3 deutlich niedriger bei 1,68 mg/l.

Tab. 7.14 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Kalium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3613	1408	212
5. Perzentil (mg/l)	0,77	0,66	0,54
Median (mg/l)	5,00	2,24	1,68
Mittelw. (mg/l)	10,8	6,85	2,83
95. Perzentil (mg/l)	42,0	25,6	6,49

Die Kalium-Konzentrationen weisen eine rechtsschiefe Verteilung auf, wobei vor allem der Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.53) eine deutliche zweigipflige Verteilung zeigt. Es treten hohe Konzentrationen von bis zu 143 mg/l auf.

In den Spannweitendiagrammen für die Flächennutzungen Acker und Siedlung (Abb. 7.54) ist eine vertikale Abhängigkeit der Kalium-Konzentrationen erkennbar.

In den Flächennutzungsklassen Ackerland, Grünland und Siedlung sind die Konzentrationen in den flachen Messstellen (< 10 m GOK) in Vergleich zu Wald deutlich erhöht (Mediane meist über PW = 7 mg/l), was auf die stärkere anthropogene Beeinflussung (zum Beispiel Düngung, Abwasser) hinweist. Im Tiefenbereich 10–25 m GOK gleichen sich die Konzentrationen einander an, was mit der Adsorptionstendenz des Kations entlang des Fließwegs zu erklären ist. Einzig die Nutzungsklasse Siedlung zeigt höhere Werte in diesen Tiefen.

Kalium besitzt nach BTU Cottbus (2011), eine ähnlich starke Adsorptionstendenz an die Feststoffmatrix wie Ammonium. Das bedeutet, dass Kalium erst bei einem erheblichen Kalium-Überschuss (zum Beispiel infolge künstlicher Kalium-Zufuhr mit mineralischen Düngern, Gülle oder Abwasser) oder bei Verdrängung von Kalium von Adsorptionsplätzen der Feststoffmatrix (zum Beispiel durch Ammonium), in erhöhten Konzentrationen im Grundwasser auftritt. Die starke Adsorptionstendenz von Kalium an die Feststoffmatrix erklärt die beobachtete Abnahme des Kations mit der Tiefe beziehungsweise mit dem Fließweg des Grundwassers. Der Rückhalt hängt dabei stark vom Sorptionsvermögen der Feststoffmatrix ab. Böden mit einem hohen Anteil an organischem Material oder an Tonmineralen besitzen ein entsprechend hohes Sorptionsvermögen für die Kationen. Ein Maß für das Sorptionsvermögen stellt die Kationen-Austauschkapazität dar, die in der BÜK300 landesweit dokumentiert ist. Die Austauschkapazität ist pH-abhängig. Sie nimmt mit sinkendem

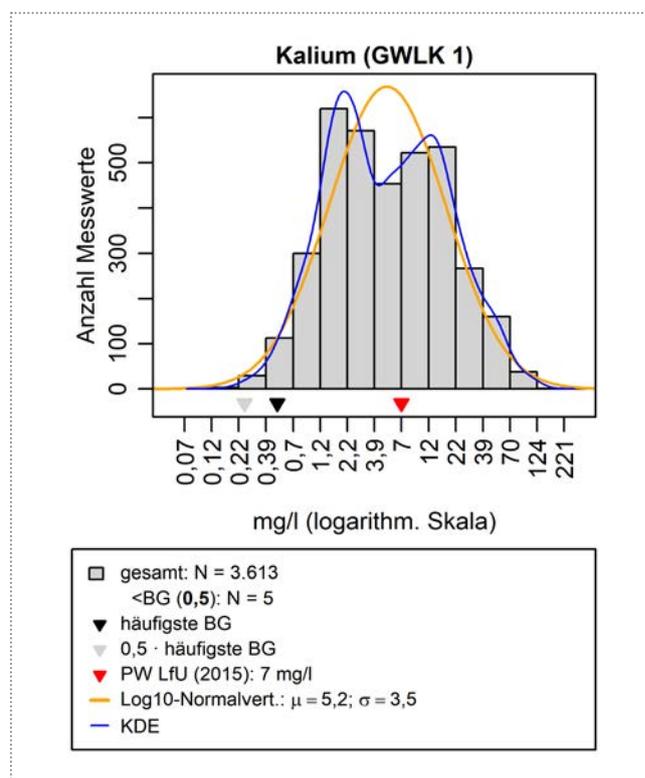


Abb. 7.53 Häufigkeitsverteilung der Kalium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

pH-Wert ab (BTU Cottbus 2011). Da die Menge der an die Feststoffmatrix adsorbierten Kalium- und Ammonium-Gehalte nach Auswertungen von BTU Cottbus (2011) das 10-fache der Menge im Porenwasser betragen kann, ist folglich davon auszugehen, dass in vernässten Gebieten die anthropogen eingetragenen Kalium- und Ammonium-Gehalte langfristig gespeichert werden (BTU Cottbus 2013).

Böden mit hohem Sorptionsvermögen sind in den Niederungsgebieten Brandenburgs weit verbreitet und gehen in der Regel mit flurnahen Grundwasserständen beziehungsweise Stauwasser einher.

Die Beeinflussungstypen *Schadstoffe*, *Nährstoffe* und *Pflanzenschutzmittel* zeichnen sich durch erhöhte Mediane und Spannweiten aus (Abb. 7.55). Bei den landwirtschaftlich geprägten Typen *Nährstoffe* und *Pflanzenschutzmittel* ist vor allem Düngung als Ursache anzusehen (siehe oben). Die Konzentrationen sind im oberflächennahen Grundwasserleiterkomplex 1 tendenziell höher. Im Typ *Schadstoffe* gehen die erhöhten Konzentrationen unter anderem auf die ehemaligen Rieselfelder zurück. Hier wurde Kalium durch die intensive Verrieselung in die Tiefe verlagert, so dass die Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 2 in diesem Typ höher sind als im Grundwasserleiterkomplex 1.

Die flächenhafte Konzentrationsverteilung (Abb. 7.56) zeigt, dass Kalium vor allem in den Niederungsgebieten (beispielsweise dem Oderbruch) sowie unter den ehemaligen Rieselfeldern und in der Bergbaufolgelandschaft der Niederlausitz in erhöhten Konzentrationen auftritt. Es handelt sich außerhalb der Rieselfelder und des Bergbaugesbiets mehrheitlich um Messstellen, die landwirtschaftlich beeinflusst sind (Beeinflussungstypen *Nährstoffe* und *Pflanzenschutzmittel*). In der Bergbaufolgelandschaft sind die erhöhten Kalium-Gehalte eine Folge der Versauerung in den Kippgrundwasserleitern.

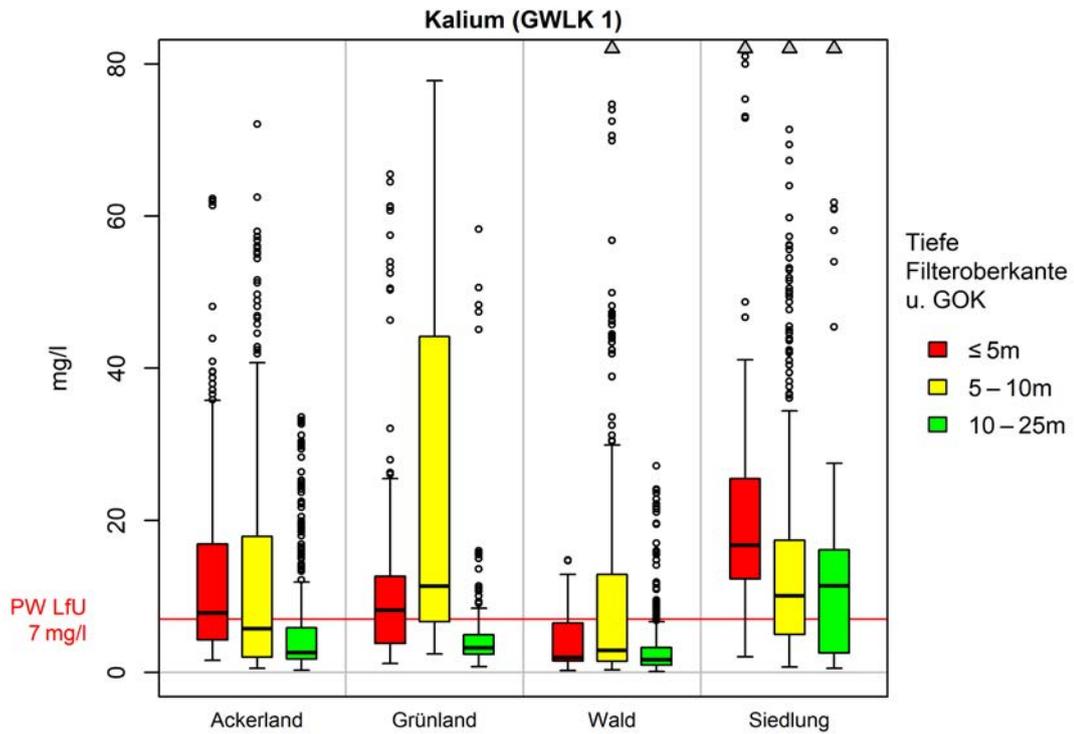


Abb. 7.54 Spannweitendiagramme der Kalium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

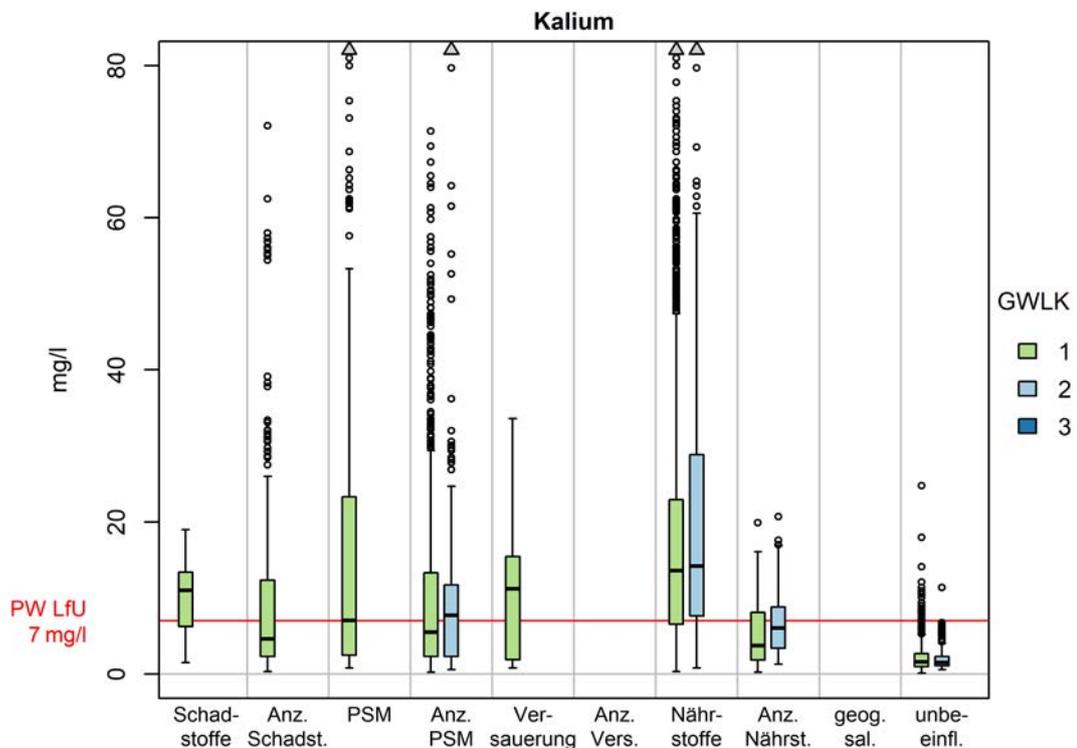


Abb. 7.55: Spannweitendiagramme der Kalium-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

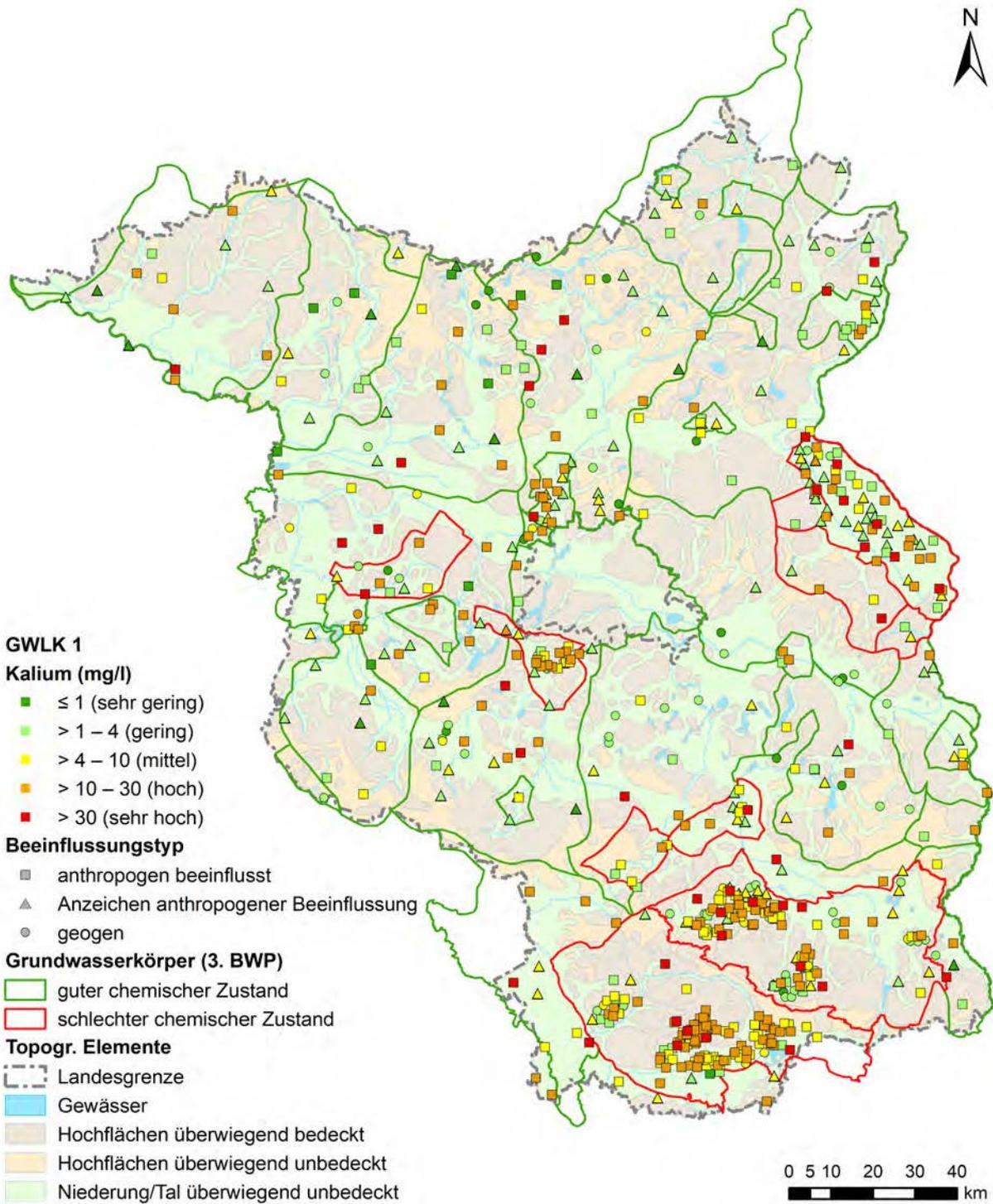


Abb. 7.56 Übersichtskarte der Kalium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

## 7.3 Metalle und Halbmetalle

### 7.3.1 Eisen

Eisen kann in Lösungen als zweiwertiges und dreiwertiges Ion, als Komplex sowie als feinverteilter (kolloidaler) suspendierter Feststoff auftreten. Löslichkeit und Verteilung der Spezies ist stark vom pH-Wert und den Redoxverhältnissen abhängig. Unter normalen Milieubedingungen tritt gelöstes Eisen ausschließlich als  $\text{Fe}^{2+}$  auf. In den sehr sauren Grundwässern der Bergbaufolgelandschaft, in denen aufgrund der Oxidation von Pyrit (Eisensulfid) Eisen in großen Mengen freigesetzt wurde, findet sich gelöstes Eisen teilweise auch als  $\text{Fe}^{3+}$ . Es wurde sowohl Eisen gelöst als auch Eisen gesamt untersucht. Die beiden Parameter unterscheiden sich in den statistischen Auswertungen und der räumlichen Konzentrationsverteilung nur geringfügig, so dass die weitere Auswertung anhand des Parameters „Eisen gelöst“ vorgenommen wird.

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für Brandenburg im Bereich von 0,495 bis 4,58 mg/l.

Die Medianwerte der Eisen-Konzentrationen in den Grundwasserleiterkomplexen liegen zwischen 0,88 und 2,0 mg/l.

Tab. 7.15 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Eisen gelöst je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	2843	1009	123
5. Perzentil (mg/l)	0,0025	0,01	0,09
Median (mg/l)	0,88	1,73	2,00
Mittelw. (mg/l)	5,76	3,35	5,66
95. Perzentil (mg/l)	31,9	13,3	38,4

Im Grundwasserleiterkomplex 1 treten neben sehr vielen Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze auch bedeutende Anteile an Nachweisen auf, wie die Häufigkeitsverteilung in Abb. 7.57 zeigt. Die häufigsten Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze liegen zwischen 2 und 6,3 mg/l.

Obwohl der Medianwert im oberflächennahen Grundwasser niedriger ist als in den tieferen Grundwasserleiterkomplexen, kommen dort die höchsten Konzentrationen vor.

Die Spannweitendiagramme in Abb. 7.58 zeigen kaum aussagekräftige Muster. Im Grundwasserleiterkomplex 1 unter Ackerland

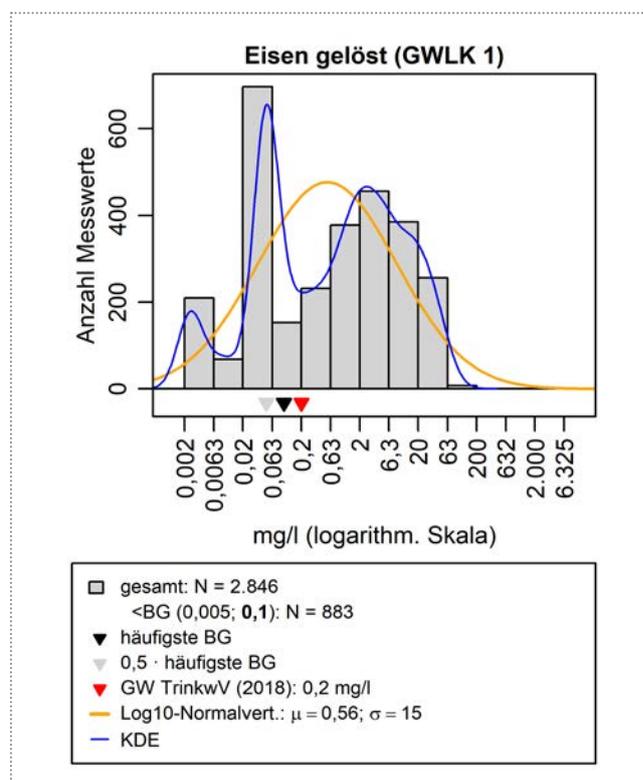


Abb. 7.57 Häufigkeitsverteilung der Eisen-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

sind die Konzentrationen in der Tiefe 5–10 m unter Geländeoberkante auffallend hoch.

Im Spannweitendiagramm der Beeinflussungstypen (Abb. 7.59) zeigen sich deutlich die hohen Eisen-Konzentrationen im Typ *Versauerung*, die auf Messstellen in der Nähe der Bergbauregion zurückzuführen sind. Im Sondermessnetz WRRL-Bergbau sind die Konzentrationen noch deutlich höher mit Maximalwerten bis zu 2100 mg/l. Hier stammt das Eisen aus der Pyritverwitterung im Zuge der Grundwasserabsenkung der Tagebaue.

Die räumliche Verteilung der Eisen-Konzentration ist in Abb. 7.60 dargestellt. Außerhalb der bergbaubeeinflussten Grundwasserkörper und des Oderbruchs treten höhere Konzentrationen nur vereinzelt auf. Im Oderbruch sind die Konzentrationen nach Norden und zur Oder hin tendenziell höher. Im Grundwasserleiterkomplex 2 treten höhere Konzentrationen über 10 mg/l häufiger auf.

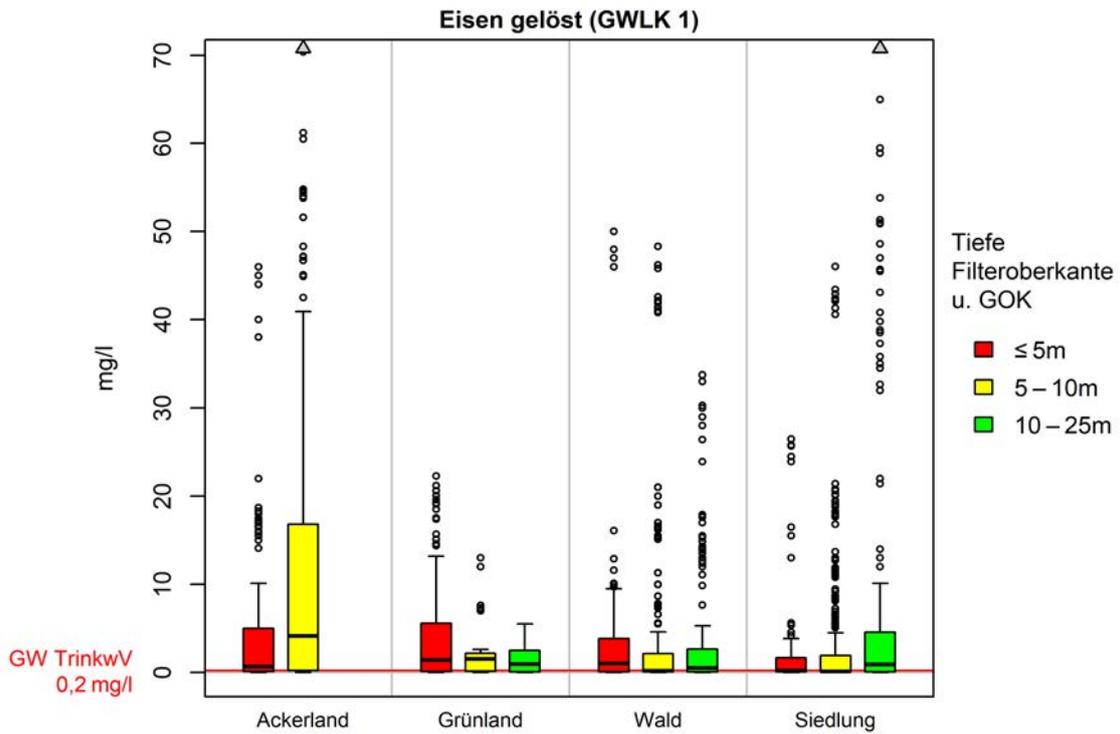


Abb. 7.58 Spannweitendiagramme der Eisen-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

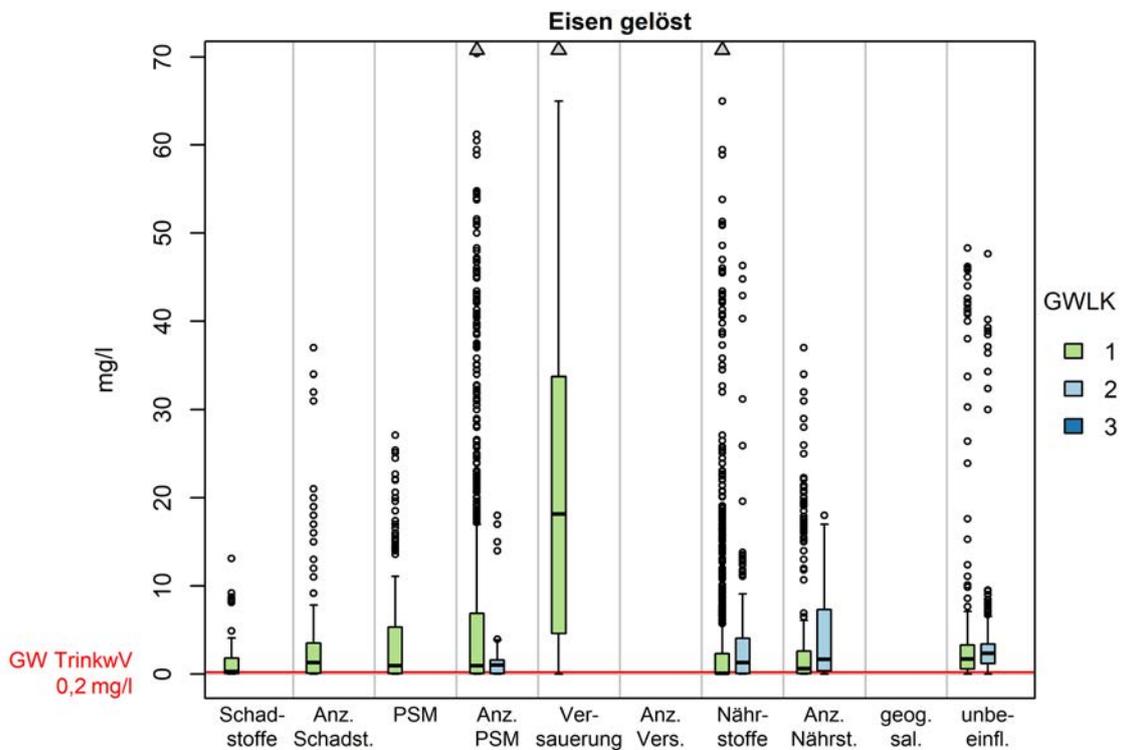


Abb. 7.59 Spannweitendiagramme der Eisen gelöst-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

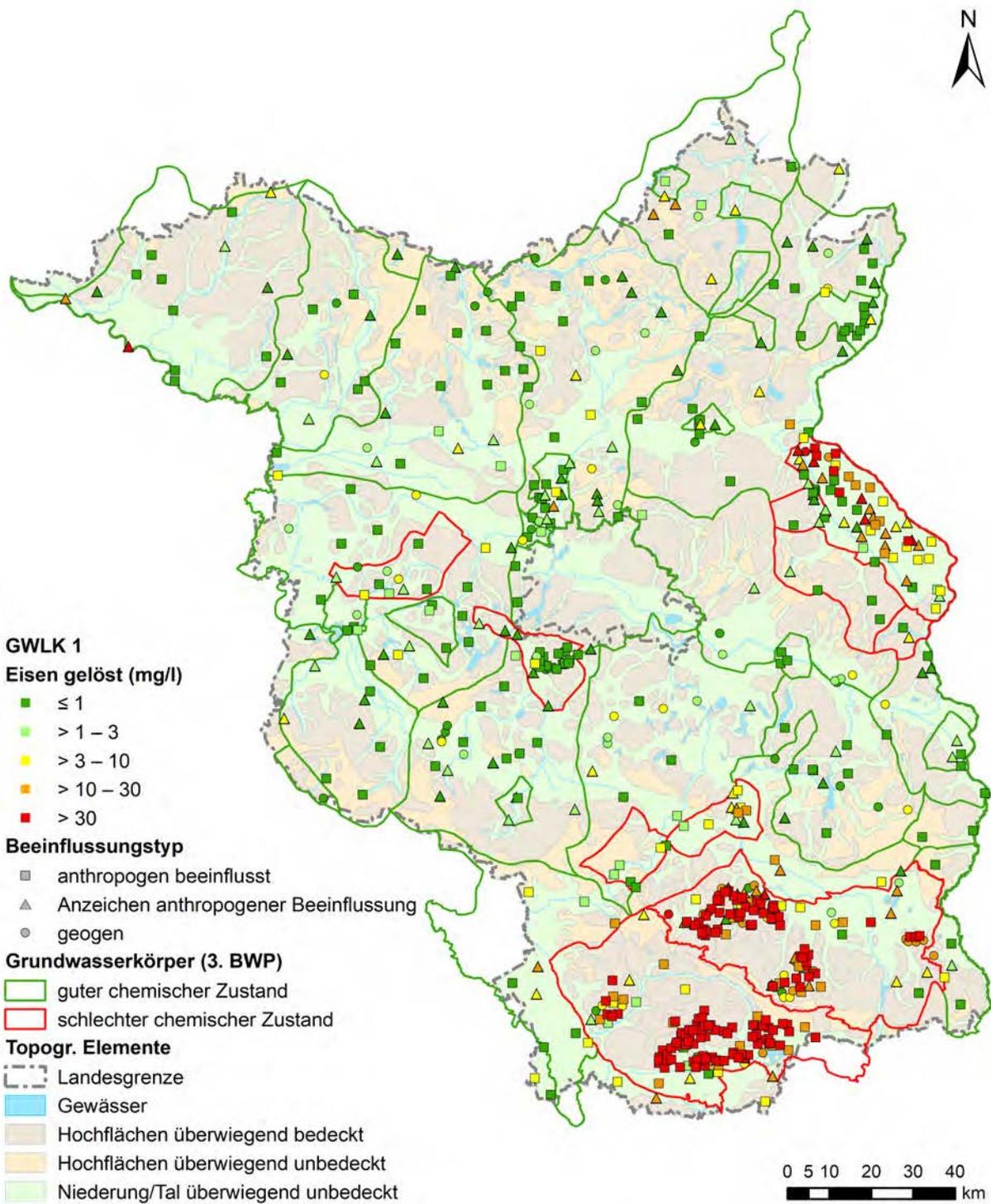


Abb. 7.60 Übersichtskarte der Eisen-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

### 7.3.2 Mangan

Mangan ist wie Eisen (Kapitel 7.3.1) ein redoxsensitives Element. Seine Minerale sind üblicherweise mit Eisenmineralen vergesellschaftet. Gelöst tritt es als  $Mn^{2+}$  auf. Löslichkeit und Verteilung der Spezies ist stark vom pH-Wert und Redoxverhältnissen abhängig. Im neutralen und wenig sauren Milieu wird gelöstes Mangan unter oxidierenden (aeroben) Bedingungen ausgefällt. In den sehr sauren Grundwässern der Bergbaufolgelandschaft, in denen aufgrund der Pyritverwitterung neben Eisen auch Mangan in großen Mengen freigesetzt wurde und sehr niedrige pH-Werte herrschen, kann Mangan auch in leicht aeroben Bedingungen noch gelöst vorhanden sein. Die Parameter Mangan gesamt und Mangan gelöst unterscheiden sich nur geringfügig, so dass die weitere Auswertung anhand des hydrochemisch repräsentativen Parameters „Mangan gelöst“ vorgenommen wird.

Die Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für Brandenburg im Bereich von 0,0995 bis 0,507 mg/l.

Die Medianwerte der drei Grundwasserleiterkomplexe liegen zwischen 0,12 und 0,23 mg/l und damit deutlich über der häufigsten Bestimmungsgrenze 0,001 mg/l. In den reduzierenden Grundwasserhältnissen Brandenburgs kommt Mangan also häufig vor, wenn auch in überwiegend geringen Konzentrationen.

Tab. 7.16 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Mangan gelöst je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	2845	1010	124
5. Perzentil (mg/l)	0,0005	0,006	0,042
Median (mg/l)	0,23	0,19	0,12
Mittelw. (mg/l)	0,77	0,29	0,18
95. Perzentil (mg/l)	3,88	0,76	0,71

Die Häufigkeitsverteilungen sind deutlich linksschief und im Grundwasserleiterkomplex 1 sehr spitzgipflig. In den tieferen Grundwasserleiterkomplexen nähern sich die Verteilungen der Lognormal-Verteilung an. Der Modus der Verteilungen nimmt von circa 0,2 mg/l im Grundwasserleiterkomplex 1 auf circa 0,1 mg/l im Grundwasserleiterkomplex 3 leicht ab. Die Mediane verhalten sich analog.

Im Spannweitendiagramm der Flächennutzungen (Abb. 7.62) fällt die große Spannweite an Ackerlandstandorten in 5–10 Me-

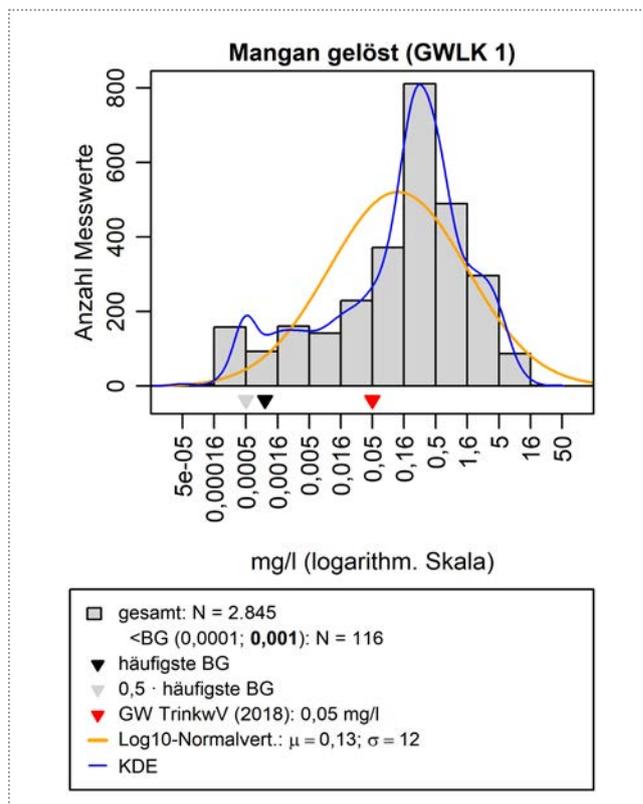


Abb. 7.61 Häufigkeitsverteilung der Mangan-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

tern Tiefe auf. Diese Messstellen zeigen entsprechend auch im Spannweitendiagramm der Beeinflussungstypen (Abb. 7.63) die höchsten Mangan-Konzentrationen bei den landwirtschaftlich geprägten Typen *Nährstoffe*, *Anzeichen PSM* und *Anzeichen Nährstoffe*. Mangan kann analog zu Eisen über die Oxidation von Mangansulfiden durch Nitrat freigesetzt werden (autotrophe Denitrifikation). Dies könnte eine Ursache der erhöhten Mangan-Konzentrationen sein.

Die räumliche Verteilung der Mangan-Konzentration wird in Abb. 7.64 dokumentiert. Höhere Konzentrationen (über 0,5 mg/l, ungefähre mittlere Obergrenze natürlicher Hintergrundkonzentrationen) treten in den bergbaubeeinflussten Gebieten im Süden Brandenburgs, entlang der Oder, in den ehemaligen Rieselfeldern, so wie vereinzelt auf der übrigen Landesfläche, vor allem in Niederungsgebieten, auf.

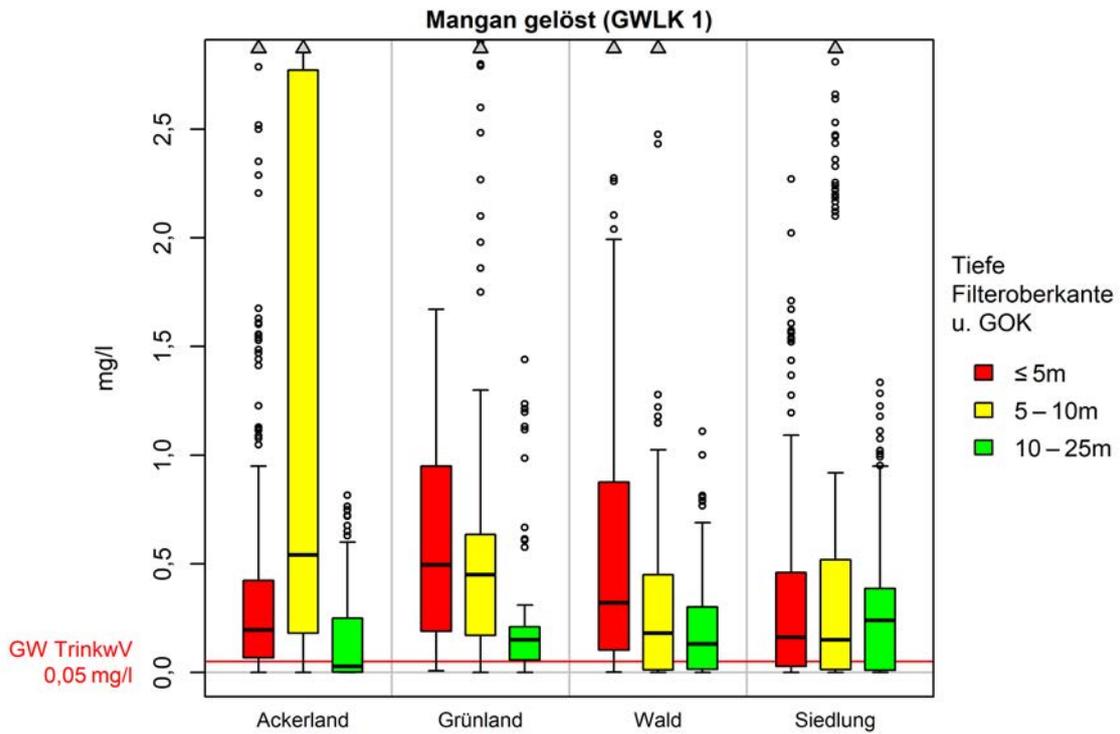


Abb. 7.62 Spannweitendiagramme der Mangan-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, untergliedert nach Flächennutzung und Filterlage, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

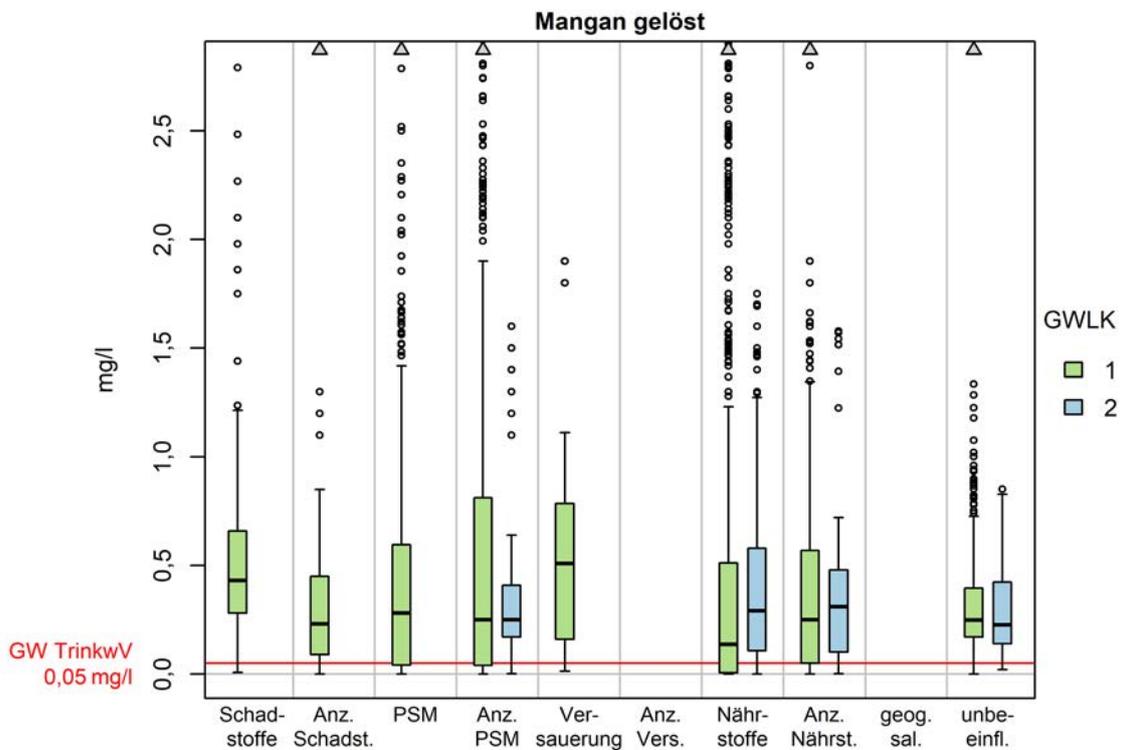


Abb. 7.63 Spannweitendiagramme der Mangan-gelöst-Konzentrationen, untergliedert nach Beeinflussungstyp und Grundwasserleiterkomplex (GWLK), ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

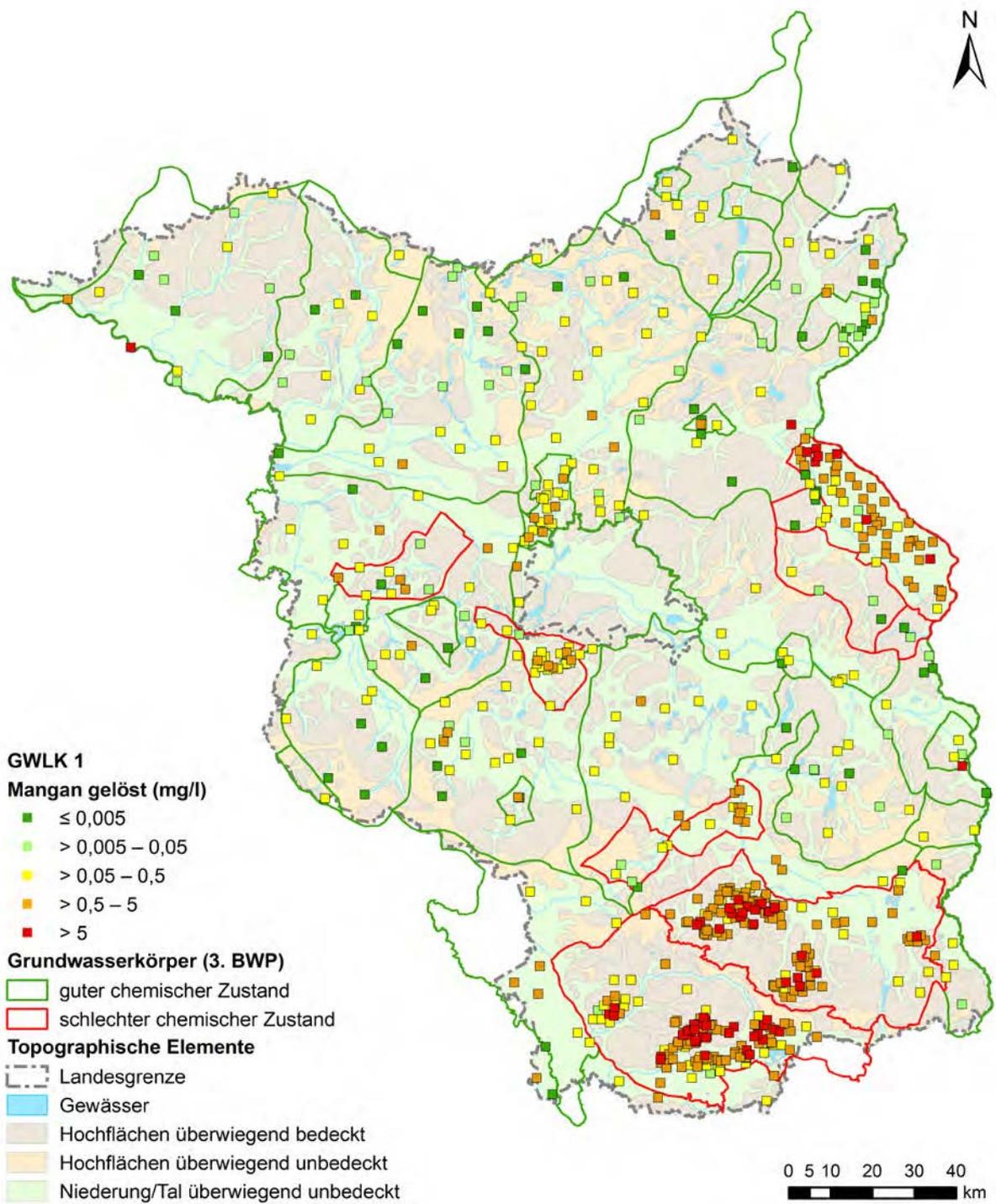


Abb. 7.64 Übersichtskarte der Mangan-gelöst-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

### 7.3.3 Aluminium

Aluminium liegt fast ausschließlich gebunden vor und tritt typischerweise nur in geringen Konzentrationen im Grundwasser auf. Die Löslichkeit von Aluminium steigt mit sinkendem pH-Wert, das heißt Aluminium liegt gelöst lediglich in stark saurem Milieu bei pH-Werten unter 4,5 vor. Im ausgewerteten Datenbestand liegen die Konzentrationen von Aluminium hauptsächlich als Gesamtkonzentrationen vor. Die Konzentrationen von gelöstem Aluminium wurden nur an einem Teil der Proben analysiert.

In der HÜK200 ist für Aluminium keine Hintergrundkonzentration definiert.

Die Medianwerte der drei Grundwasserleiterkomplexe sind mit 3,3 µg/l beziehungsweise 3,4 µg/l fast identisch und liegen damit nur knapp über den häufigsten Bestimmungsgrenzen (2 und 3 µg/l).

Tab. 7.17 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Aluminium je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	1254	779	174
5. Perzentil (µg/l)	1,0	1,0	1,0
Median (µg/l)	3,4	3,3	3,3
Mittelw. (µg/l)	24,6	6,6	6,7
95. Perzentil (µg/l)	61,0	24,0	27,7

Dementsprechend dominieren in den Häufigkeitsverteilungen (Grundwasserleiterkomplex 1 in Abb. 7.65) Werte unter der Bestimmungsgrenze und die Verteilung ist rechtsschief.

Nachweise über der Bestimmungsgrenze treten bis auf wenige Ausnahmen nur im bergbaulich beeinflussten Süden Brandenburgs

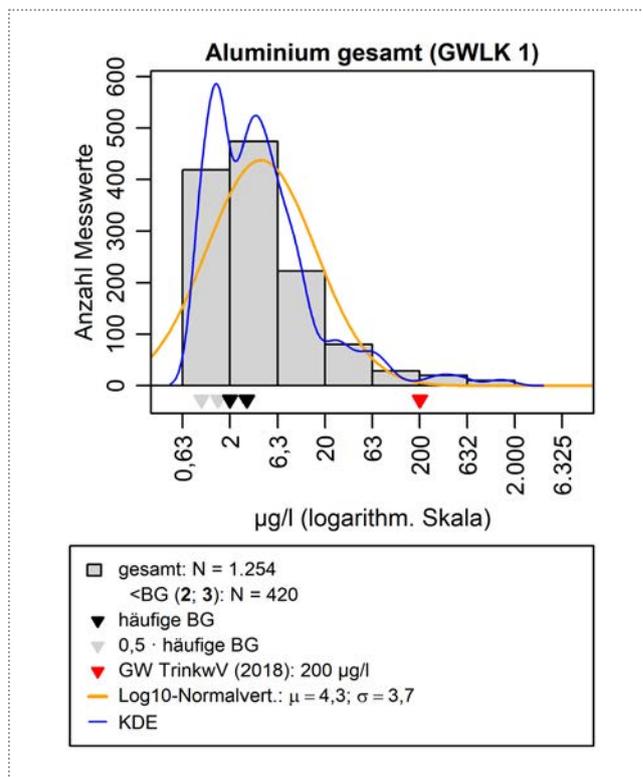


Abb. 7.65 Häufigkeitsverteilung der Aluminium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

auf, wie auch die Übersichtskarte in Abb. 7.66 zeigt. Die höchsten Konzentrationen werden im Sondermessnetz WRRL-Bergbau festgestellt. Dort treten extreme Konzentrationen bis zu 59 mg/l auf, die aus der Versauerung durch Pyritoxidation resultieren.

Erhöhte Konzentrationen von Aluminium außerhalb der bergbaubeeinflussten Region sind vorwiegend an Waldstandorten zu finden, die durch niedrige pH-Werte gekennzeichnet sind.

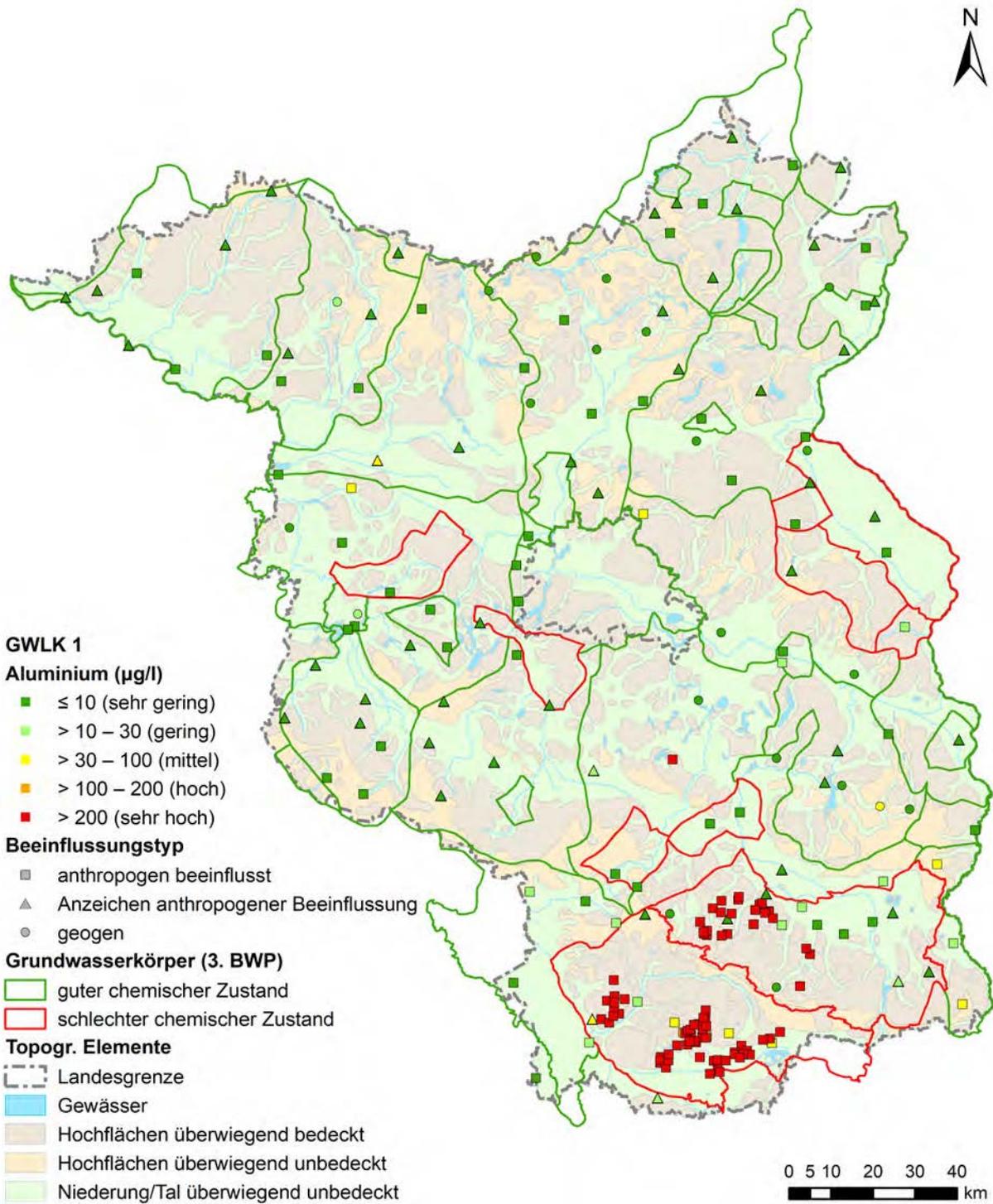


Abb. 7.66 Übersichtskarte der Aluminium-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

### 7.3.4 Uran

Uran ist ein in verschiedenen Mineralen weit verbreitetes Spurenelement. In Wasser gelöst liegt es als positiv geladenes Urankation vor und kann im Grundwasser transportiert werden. Geogen vorhandene Uranminerale können durch das Oxidationsmittel Nitrat gelöst werden mit der Folge erhöhter Urankonzentrationen im Grundwasser. Eine weitere Uranquelle könnten phosphorhaltige mineralische Düngemittel sein. Nach Untersuchungen in Österreich ist das jedoch nur bei extremer Überdüngung denkbar und es konnte auch kein Zusammenhang zwischen Phosphat- und Urangelhalten festgestellt werden (BML Österreich 2015).

In der HÜK200 ist für Uran kein Hintergrundwert definiert.

Aufgrund der geringen Untersuchungsichte konnten statistische Kennwerte nur für den Grundwasserleiterkomplex 1 ermittelt werden. Hier liegt der Medianwert bei 0,081 µg/l und damit unter der häufigsten Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l.

Tab. 7.18 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Uran je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	1708	669	100
5. Perzentil (µg/l)	0,025	–	–
Median (µg/l)	0,08	–	–
Mittelw. (µg/l)	1,24	–	–
95. Perzentil (µg/l)	6,50	–	–

Die anhand der vorliegenden Analysen erstellten Häufigkeitsverteilungen sind unregelmäßig geformt. Werte kleiner Bestimmungsgrenze machen einen Großteil der Verteilungen aus. Im Grundwasserleiterkomplex 1 (Abb. 7.67) verteilen sich die Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze relativ breit um 1 µg/l. Es werden teilweise auch Werte über 10 µg/l erreicht. In tieferen Filterlagen nimmt der Anteil der Werte unter der Bestimmungsgrenze zu. Diejenigen Messwerte, die über der Be-

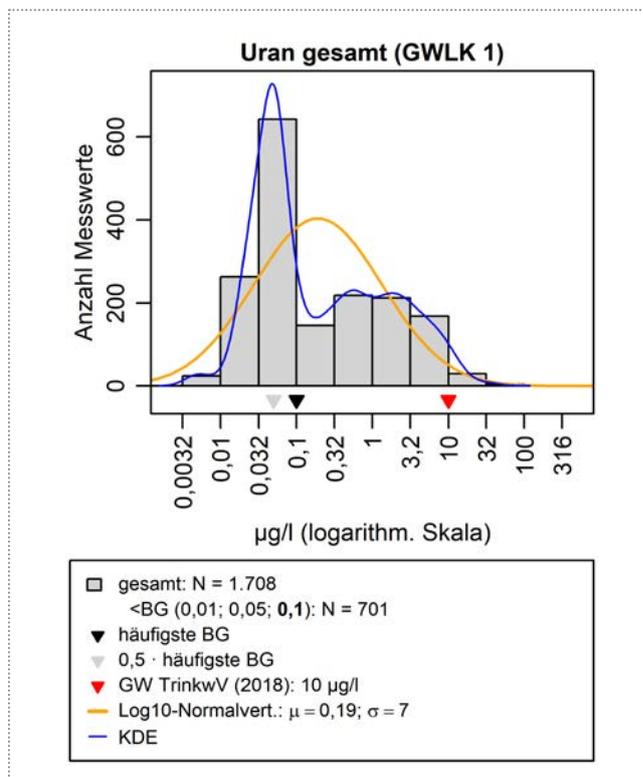


Abb. 7.67 Häufigkeitsverteilung der Uran-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

stimmungsgrenze liegen, fallen tendenziell höher aus als im Grundwasserleiterkomplex 1. Dabei handelt es sich um Messwerte aus luftbedeckten mächtigen Grundwasserleitern landwirtschaftlich genutzter Hochflächen, wo die Oxidationsfront infolge übermäßigen Nitratreintrags bereits in mehrere 10er Meter Tiefe vorgedrungen ist.

Erhöhte Konzentrationen werden relativ häufig im Oderbruch, vor allem aber westlich von Berlin (von Oranienburg bis zu den ehemaligen Rieselfeldern südlich von Berlin) und entlang der Havel zwischen Potsdam und Brandenburg/Havel festgestellt.

### 7.3.5 Arsen

Das Halbmetall Arsen kann unter anderem über atmosphärische Deposition (Kohleverbrennung) eingetragen oder aus Mineralen gelöst werden. Bei der Pyritverwitterung (Kippenversauerung im Braunkohlebergbau) kann an Pyrit adsorbiertes Arsen freigesetzt sowie die mit Pyrit vergesellschafteten Arsensulfide mit oxidiert werden. Arsen(III) und Arsen(V) zeigen unterschiedliches Sorptionsverhalten, zum Beispiel an Eisenminerale wie Pyrit und Goethit: As(III) wird bei höheren pH-Werten stärker an Goethit sorbiert, As(V) wird bei höheren pH-Werten geringer sorbiert (Appelo und Postma 2005). Arsen wird anthropogen zum Beispiel bei der Gewinnung von Kupfer und Blei freigesetzt und während der Bergbaus ausgewaschen. Zusätzlich ist Arsen Bestandteil diverser Agrochemikalien. Ein diffuser Grundwassereintrag ist über Mineraldünger möglich, deren Phosphate Arsen enthalten.

In der HÜK200 ist für Arsen kein Hintergrundwert definiert.

Der Medianwert liegt im Grundwasserleiterkomplex 1 bei 0,7 µg/l und im Grundwasserleiterkomplex 2 bei 0,5 µg/l und damit nur im oberflächennahen Grundwasser knapp über der häufigsten Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l. Im Grundwasserleiterkomplex 3 ist die Datengrundlage zu gering für die Ermittlung statistischer Kennwerte.

Tab. 7.19 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Arsen je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	1690	689	99
5. Perzentil (µg/l)	0,15	0,15	–
Median (µg/l)	0,70	0,50	–
Mittelw. (µg/l)	2,58	1,23	–
95. Perzentil (µg/l)	11,0	5,3	–

Die überwiegende Anzahl von Messwerten unter der Bestimmungsgrenze verdeutlicht auch die rechtsschiefe Häufigkeitsverteilung des Grundwasserleiterkomplexes 1 (Abb. 7.68).

Hohe Konzentrationen (insbesondere über dem Schwellenwert von 10 µg/l) treten im bergbaubeeinflussten Gebiet sowie im

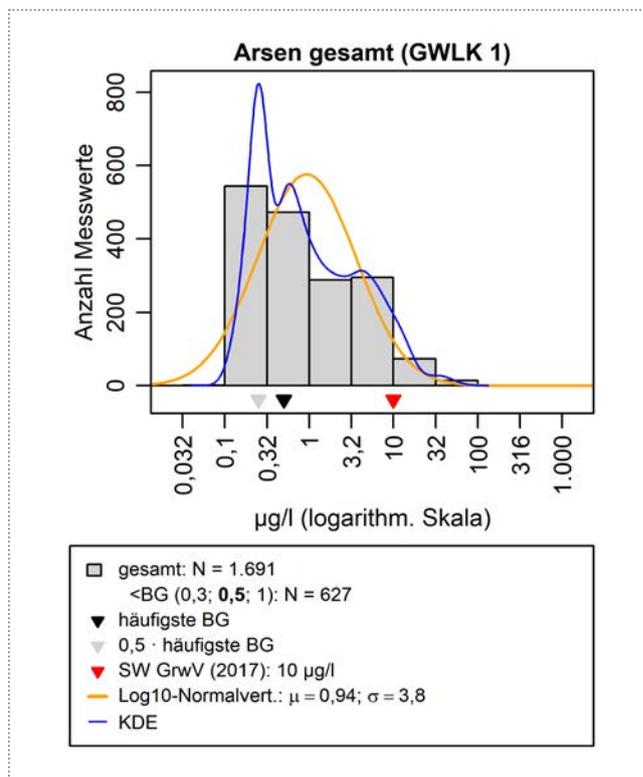


Abb. 7.68 Häufigkeitsverteilung der Arsen-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Gebiet der ehemaligen Rieselfelder südöstlich von Berlin, im Oderbruch und vereinzelt im Nordosten Brandenburgs auf. Im Bergbaubereich wird Arsen wahrscheinlich als Nebenprodukt der Pyritoxidation freigesetzt (siehe oben). Bei den Messstellen im Bereich der ehemaligen Rieselfelder scheinen die höheren Arsenkonzentrationen mit niedrigeren pH-Werten und niedrigeren Redoxpotentialen einherzugehen. Dies könnte einerseits durch eine Desorption der bei niedrigeren pH-Werten schlechter sorbierbaren reduzierten Arsenspezies As(III) erklärt werden, andererseits durch Reduzierung der Eisenminerale zu gelöstem Fe<sup>2+</sup> und damit Verlust der Sorptionsplätze. Die Messstellen im Oderbruch und im Nordosten Brandenburgs liegen im Umfeld von Landwirtschaftsflächen und sind alle den Haupt- oder Anzeigentypen Pflanzenschutzmittel oder Nährstoffe zugeordnet.

### 7.3.6 Blei

Blei ist unter normalen Verhältnissen im Boden wenig mobil und sorbiert an Tonmineralen und organischer Substanz. Unter sauren Bedingungen (pH unter circa 5) kann es als gelöstes Ion transportiert werden.

Die HÜK200 gibt für Brandenburg Hintergrundwerte im Bereich 0,035 – 0,419 µg/l an.

Tab. 7.20 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Blei je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

GWLK	1	2	3
Anzahl Messw.	1550	682	99
5. Perzentil (µg/l)	–	0,05	0,05
Median (µg/l)	–	0,10	0,14
Mittelw. (µg/l)	–	0,20	0,40
95. Perzentil (µg/l)	–	0,63	0,72

In der Häufigkeitsverteilung des Grundwasserleiterkomplexes 1 (Abb. 7.69) liegt ein großer Teil unter der Bestimmungsgrenze. Analog verhalten sich die Verteilungen in den anderen Grundwasserleiterkomplexen. Vereinzelt wird der Geringfügigkeitsschwellenwert von 1,2 µg/l überschritten. Im Grundwasserleiterkomplex 3 gibt es eine geringe Anzahl von Überschreitungen des SW von 10 µg/l.

In der räumlichen Konzentrationsverteilung im Grundwasserleiterkomplex 1 beschränken sich hohe Werte (über 5 µg/l) sowie Schwellenwertüberschreitungen auf den bergbaubeeinflussten

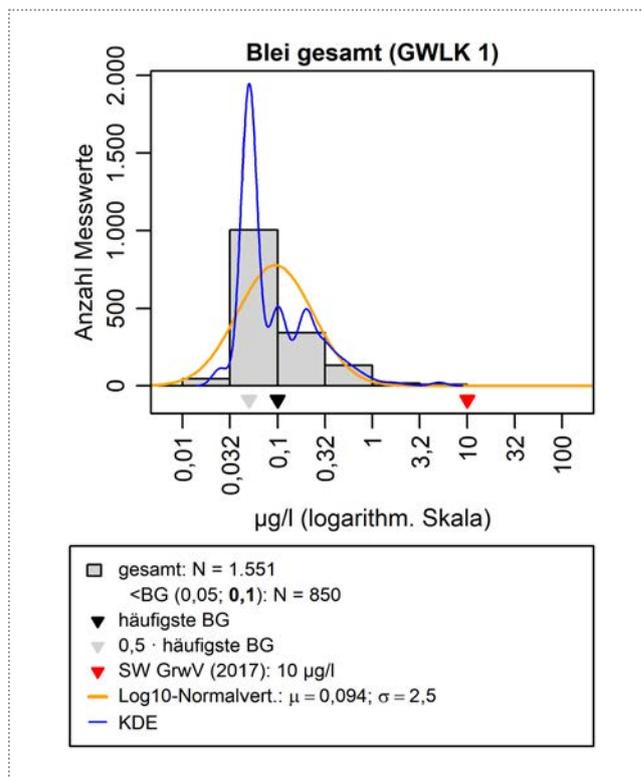


Abb. 7.69 Häufigkeitsverteilung der Blei-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Süden Brandenburgs. Außerhalb des bergbaubeeinflussten Gebiets treten nur vereinzelt weitere Überschreitungen des Geringfügigkeitsschwellenwerts auf.

### 7.3.7 Bor

Das Halbmetall Bor kann im Grundwasser geogen durch den Aufstieg salinärer Tiefenwässer vorkommen. Borverbindungen werden aber sowohl industriell, zum Beispiel als Bestandteil von Waschmitteln, als auch in der Landwirtschaft als Insektizid oder Dünger eingesetzt. Erhöhte Borkonzentrationen haben daher häufig eine anthropogene Ursache.

Die HÜK200 gibt für Brandenburg Hintergrundwerte im Bereich 8,4–62,5 µg/l an.

Die Medianwerte liegen für Bor in den Grundwasserleiterkomplexen 1, 2 und 3 bei 45,0, 26,5 und 30,5 µg/l. Gehalte bis zur Hälfte des GFS-Wertes von 180 µg/l sind im ersten Grundwasserleiterkomplex häufig. Mit zunehmender Tiefe nehmen die Konzentrationen allgemein ab.

Tab. 7.21 Übersicht ausgewählter statistischer Kennwerte für Bor je Grundwasserleiterkomplex, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Grundwasserleiterkomplex	1	2	3
Anzahl Messw.	3378	1368	204
5. Perzentil (µg/l)	5,4	2,5	2,5
Median (µg/l)	45,0	26,3	30,5
Mittelw. (µg/l)	82,4	95,2	77,9
95. Perzentil (µg/l)	260	538	293

Die Häufigkeitsverteilung im Grundwasserleiterkomplex 1 ist nahezu lognormal-verteilt (Abb. 7.70). In den tieferen Grundwasserleiterkomplexen ist die Verteilung aus mehreren Komponenten zusammengesetzt. Die höheren Konzentrationen stammen vor allem aus den tiefer ausgebauten Messstellen der ehemaligen Rieselfelder südlich Berlins.

Der Beeinflussungstyp *Schadstoffe* zeigt naturgemäß sehr große Spannweiten der Konzentrationen. Dieser Typ ist zu einem großen Teil von Rieselfeld-Messstellen geprägt. Dort hat sich die Belastung ins tiefere Grundwasser verlagert, so dass der

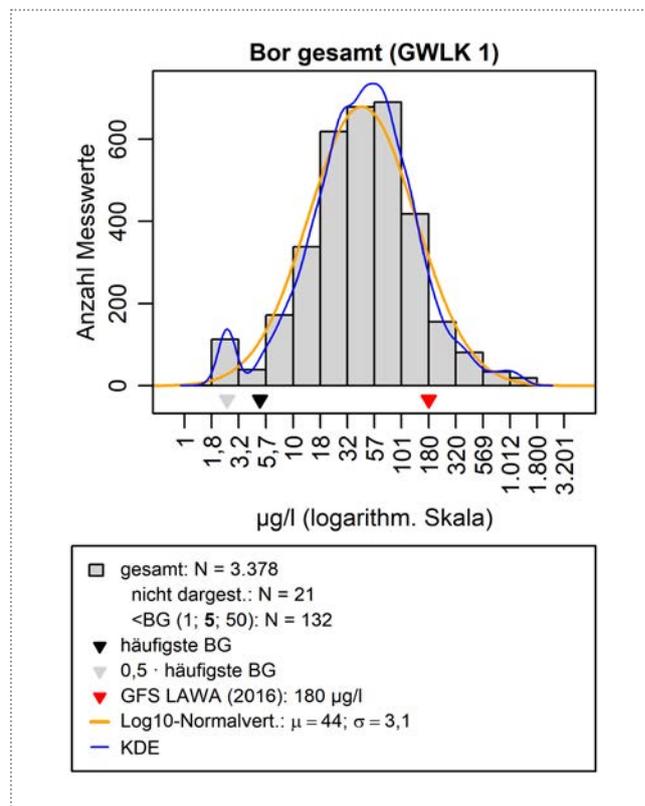


Abb. 7.70 Häufigkeitsverteilung der Bor-Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1, ohne Salzmessnetz und Sondermessnetz WRRL-Bergbau

Konzentrationsbereich im Grundwasserleiterkomplex 2 für diesen Beeinflussungstyp deutlich höher ist.

Außerhalb der ehemaligen Rieselfelder und vereinzelt im Oderbruch treten Konzentrationen von über 180 µg/l (GFS) vor allem im westlichen Brandenburg zwischen Prignitz und Fläming auf (hauptsächlich in Niederungsgebieten).

Bor-Nachweise können auf weitere anthropogene Belastungsparameter hinweisen. So wurde in allen Messstellen, in denen Arzneistoffe nachgewiesen wurden, auch Bor gefunden (siehe Abschnitt 7.4.2).

## 7.4 Organische Schadstoffe

### 7.4.1 Pflanzenschutzmittel und deren Metaboliten

In Anhang 5 sind die im Berichtszeitraum im Land Brandenburg im Grundwasser untersuchten Pflanzenschutzmittel aufgeführt. Für 20 Wirkstoffe (Name fett hervorgehoben) liegt in der Bundesrepublik Deutschland im Berichtszeitraum 2013–2018 eine Zulassung vor. 28 der untersuchten Wirkstoffe waren im Berichtszeitraum nicht mehr zugelassen, die Zulassung von Bentazon und Chloridazon endete nach dem Berichtszeitraum. Die Tabelle in Anhang 5 enthält außerdem Informationen zum Zulassungszeitraum beziehungsweise ende, zum Inlandseinsatz im Jahr 2018 und zum hauptsächlichen Einsatzgebiet. Die insgesamt 20 untersuchten relevanten und nicht relevanten Metaboliten (Abbauprodukte der Pflanzenschutzmittel) sind ihren jeweiligen Ausgangswirkstoffen zugeordnet. Stoffe, die im Berichtszeitraum in Konzentrationen über dem Schwellenwert beziehungsweise über dem Gesundheitlichen Orientierungswert (GOW) gefunden wurden, sind farbig hinterlegt.

Das Balkendiagramm in Abb.7.71 zeigt die Häufigkeiten der Nachweise >BG und der Überschreitungen von Warn- und Schwellenwert im Berichtszeitraum 2013–2018 für alle Grundwasserleiterkomplexe. Anhang 6 enthält die Balkendiagramme für die einzelnen Grundwasserleiterkomplexe 1, 2 und 3.

#### Wirkstoffe und relevante Metaboliten

Von den im Berichtszeitraum untersuchten 589 Messstellen sind die Konzentrationen der Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe und relevanten Metaboliten von 25 Messstellen (circa 4 Prozent) als auffällig zu betrachten. Die dort ermittelten Konzentrationen überschreiten den Schwellenwert der Grundwasserverordnung von 0,1 µg/l und liegen wiederholt (mindestens zwei Nachweise) über der Bestimmungsgrenze.

In 23 Messstellen wurde der Schwellenwert für ein oder zwei Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe überschritten, in 2 weiteren Messstellen wurde er für relevante Metaboliten überschritten.

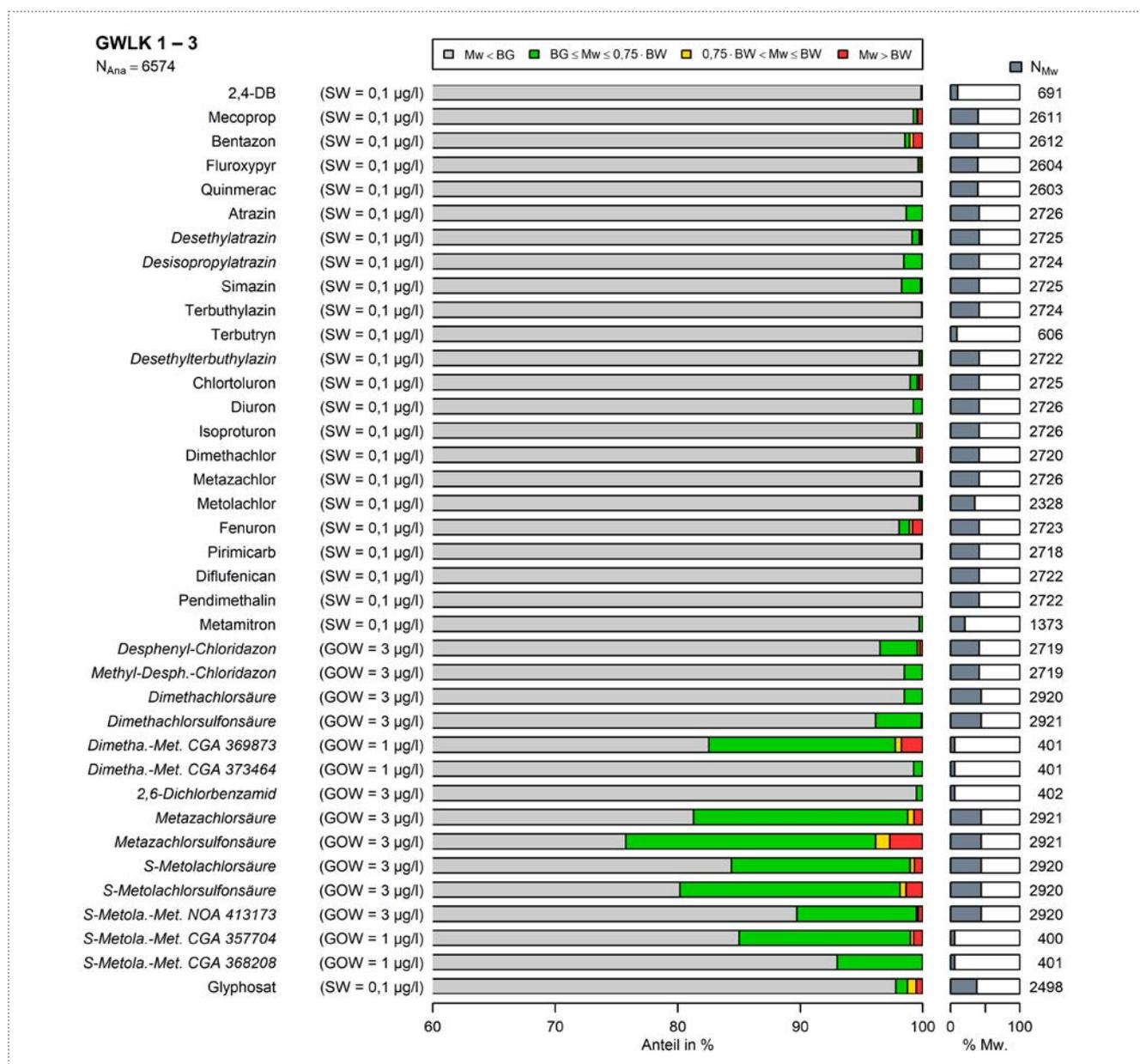


Abb. 7.71 Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten für Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe, relevante und nicht relevante Metaboliten (kursiv) für Messstellen in allen 3 Grundwasserleiterkomplexen. Grau: Messwert unter Bestimmungsgrenze (Mw<BG), grün: Messwert zwischen Bestimmungsgrenze und 0,75-fachem Beurteilungswert (BG<Mw<0,75\*BW), gelb: Messwert zwischen Warnwert und Beurteilungswert (0,75\*BW<Mw<BW), rot: Messwert über Beurteilungswert (Mw>BW). N<sub>ana</sub> = Anzahl Analysen, N<sub>Mw</sub> = Anzahl Messwerte, alle Messnetze

Eine Übersicht zur Lage der belasteten Messstellen und der dort festgestellten maximalen Konzentrationen gibt die Abb. 7.72.

Die Pflanzenschutzmittel-Konzentrationen über dem Schwellenwert bewegen sich überwiegend im Bereich von 0,1 bis 0,5 µg/l (20 Messstellen). Zwei Messwerte liegen zwischen 0,5 und 1 µg/l und vier Messwerte über 1 µg/l. Die betreffenden Pflanzenschutzmittel werden auch bundesweit im Grundwasser häufig in Konzentrationen über dem Schwellenwert gefunden (LAWA 2019) und besitzen eine hohe Persistenz und Mobilität. Es handelt sich um die nachfolgenden Parameter. In Klammern ist die Anzahl der betroffenen Messstellen angegeben, wobei relevante Metaboliten kursiv geschrieben sind:

- Bentazon (6 Messstellen)
- Fenuron (4 Messstellen)
- Mecoprop (3 Messstellen)
- Simazin (2 Messstellen)
- Isoproturon (1 Messstellen)
- Dimethachlor (1 Messstellen)
- Metazachlor (1 Messstelle)
- Metolachlor (1 Messstelle)
- *Desethylatrazin* (1 Messstelle)
- *Desisopropylatrazin* (1 Messstelle)

Mit Ausnahme von Dimethachlor, Metazachlor und Fenuron zählen die genannten Pflanzenschutzmittel nach bundesweiten

Beschriftung der Messstellen mit PSM-Wirkstoff bzw. relevantem Metabolit (kursiv) mit maximaler Konzentration und Jahresangabe des jüngsten Nachweises

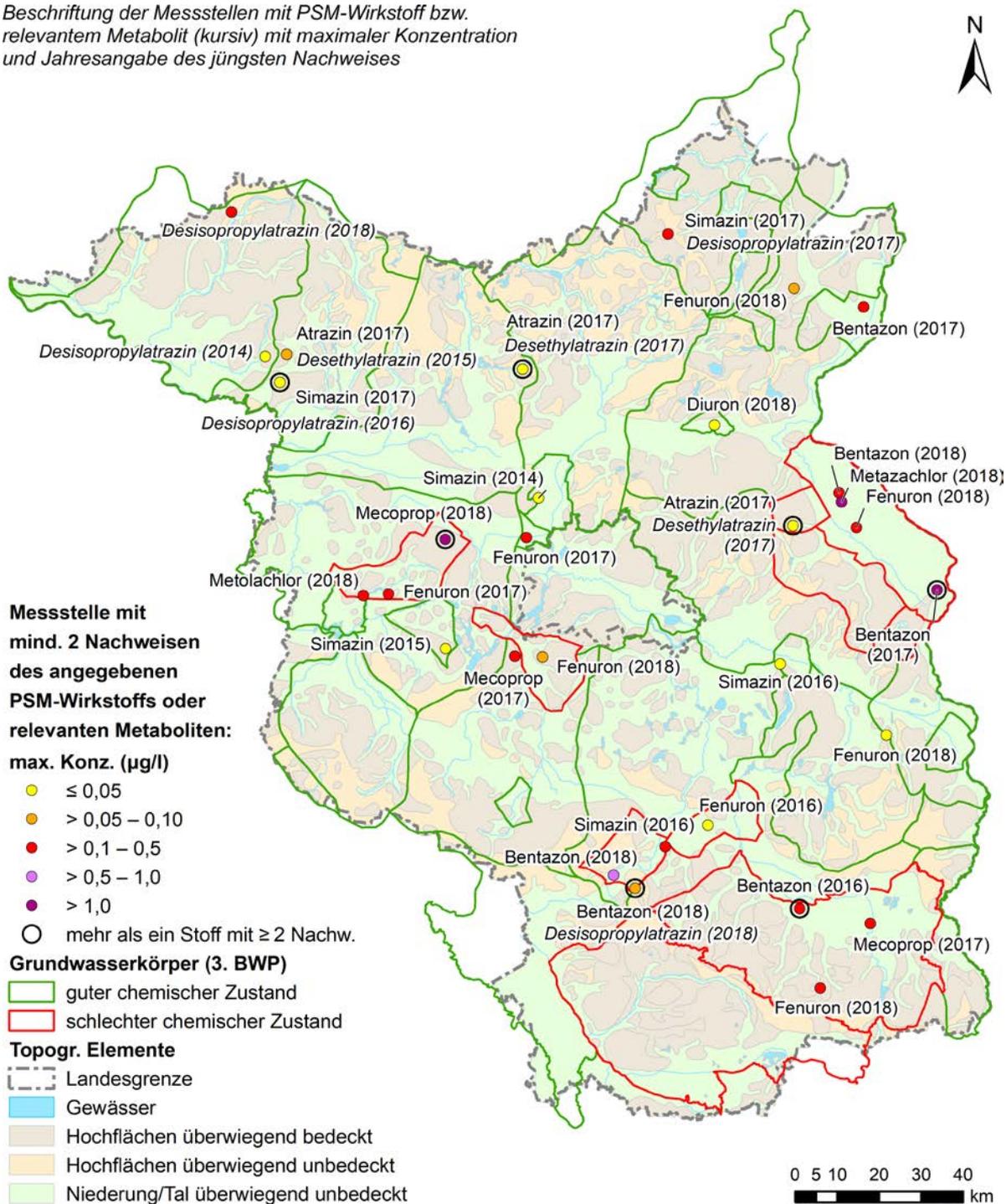


Abb. 7.72 Messstellen mit mindestens einem Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff (W) oder relevanten Metaboliten (rM) mit mindestens zwei Nachweisen über Bestimmungsgrenze in klassifizierter Darstellung der maximalen Konzentration im Berichtszeitraum, alle Messnetze

Erhebungen der LAWA für die Jahre 2013 bis 2016 zu den 20 am häufigsten im oberflächennahen Grundwasser gefundenen Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen und relevanten Metaboliten (LAWA 2019).

Im Bericht 2006–2012 (LfU Brandenburg 2015b) wurde in 3 Messstellen erstmals Chloridazon nachgewiesen. Im vorliegenden Berichtszeitraum wurde in keiner der untersuchten Messstellen mehr Chloridazon über der Bestimmungsgrenze gefunden.

#### Hinweis zu Glyphosat

Nach LAWA (2019) ist bei dem Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff Glyphosat bundesweit der Anteil der Messstellen, die die Qualitätsnorm von 0,1 µg/l übersteigen, von 1,3 Prozent im Zeitraum 2009–2012 auf 0,9 Prozent im Zeitraum 2013–2016 gefallen.

Glyphosat wurde in 18 Messstellen zweimal > BG analysiert. In keiner Messstelle wurde Glyphosat mehr als zweimal nachgewiesen. An 7 dieser Messstellen wurden Konzentrationen über dem Schwellenwert bis maximal 0,59 µg/l gemessen

Die wiederholten Glyphosat-Nachweise über Bestimmungsgrenze wurden in den betroffenen Messstellen bis auf eine Ausnahme jeweils im Herbst 2014 und Herbst 2015 gemessen. Im Berichtszeitraum und darüber hinaus wurden in diesen Messstellen keine weiteren Konzentrationen von Glyphosat > BG gefunden. Diese Nachweise des gut abbaubaren Wirkstoffs Glyphosat werden deshalb als unplausibel eingestuft.

#### Nicht relevante Metaboliten

Von den folgenden Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen wurden im Berichtszeitraum im Grundwasser nicht relevante Metaboliten nachgewiesen:

- Chloridazon
- Dimethachlor
- Metazachlor
- Metolachlor/S-Metolachlor
- Glyphosat

Insgesamt wurden 15 nicht relevante Metaboliten untersucht. Diese Metaboliten besitzen weder eine definierte pestizide Restaktivität noch ein pflanzenschutzrechtlich relevantes human-toxisches oder ökotoxisches Potenzial. Bei Anwesenheit im Trinkwasser erfolgt die Bewertung der Stoffe mit Ausnahme von AMPA nach dem Vorsorgekonzept der gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) für „nicht bewertbare“ Stoffe des Umweltbundesamts (2003), erläutert und weiterentwickelt für die Stoffgruppe der nicht relevanten Metaboliten in Umweltbundesamt (2008). Der GOW liegt bei 1 µg/l oder 3 µg/l. Nach Angabe des UBA sollte die Konzentration der nicht relevanten Metaboliten 10 µg/l im Grundwasser nicht überschreiten (Wolter 2014).

Die in Brandenburg im Grundwasser nachgewiesenen nicht relevanten Metaboliten werden auch in den anderen Bundesländern häufig gefunden (LAWA 2019).

In den 3 Messstellen, in denen 2012 erstmals Chloridazon und seine nicht relevanten Metaboliten festgestellt wurden, wiesen die Labore nur noch Desphenyl-Chloridazon einmal in einer Messstelle nach.

Die Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe Metolachlor, Metazachlor und Chloridazon werden sehr gut im Boden abgebaut und deshalb selten im Grundwasser gefunden. Den Konzentrationen ihrer Metaboliten zufolge werden vor allem Metolachlor (Herbizid für Getreide und Mais) und Metazachlor (Herbizid für Raps, Kohl, Rüben, Rettich) häufig eingesetzt.

Der Parameter AMPA (Aminomethylphosphonsäure) nimmt unter den 15 nachgewiesenen Metaboliten eine Sonderstellung ein, weil er nicht nur ein Abbauprodukt von Glyphosat ist, sondern auch über Wasch- und Reinigungsmittel in die Umwelt gelangt. Für AMPA existiert kein GOW. Eine Konzentration bis 10 µg/l im Trinkwasser kann nach Auffassung des UBA und der Landesregierung Brandenburg befristet geduldet werden (Landtag Brandenburg 2012). Die ermittelten AMPA-Konzentrationen im Berichtszeitraum liegen unter 0,4 µg/l.

Die Untersuchungsergebnisse der übrigen 14 nicht relevanten Metaboliten (ohne AMPA) zeigen, dass in 191 (32 Prozent) der im Berichtszeitraum untersuchten 598 Messstellen mindestens ein nicht relevanter Metabolit mit mindestens zwei Nachweisen gefunden wurde. An 43 Messstellen wurden Konzentrationen über dem GOW bestimmt (7 Prozent aller im Berichtszeitraum untersuchten Messstellen). Auffällig waren dabei folgende 9 nicht relevante Metaboliten:

- Desphenyl-Chloridazon
- Dimethachlorsulfonsäure
- Dimethachlor-Metabolit CGA 369873
- Metazachlorsäure
- Metazachlorsulfonsäure
- S-Metolachlorsäure
- S-Metolachlorsulfonsäure
- S-Metolachlor-Metabolit NOA 413173
- S-Metolachlor-Metabolit CGA 357704

Die nicht relevanten Metaboliten wurden überwiegend in den landwirtschaftlich beeinflussten Grundwasserkörpern im schlechten Zustand nachgewiesen, in denen die Untersuchungsdichte am größten war. (Abb. 7.73).

Für die folgenden nicht relevanten Metaboliten wurden an mindestens einer Messstelle Konzentrationen über 10 µg/l nachgewiesen:

- Desphenyl-Chloridazon
- Metazachlorsäure
- Metazachlorsulfonsäure
- S-Metolachlorsulfonsäure
- S-Metolachlor-Metabolit NOA 413173

Beschriftung bei Überschreitung GOW

Zs = Metazachlorsulfonsäure  
 Zc = Metazachlorsäure  
 Sc = S-Metolachlorsäure  
 Ss = S-Metolachlorsulfonsäure  
 S-NOA = S-Metolachlor-  
 Metabolit NOA 413173

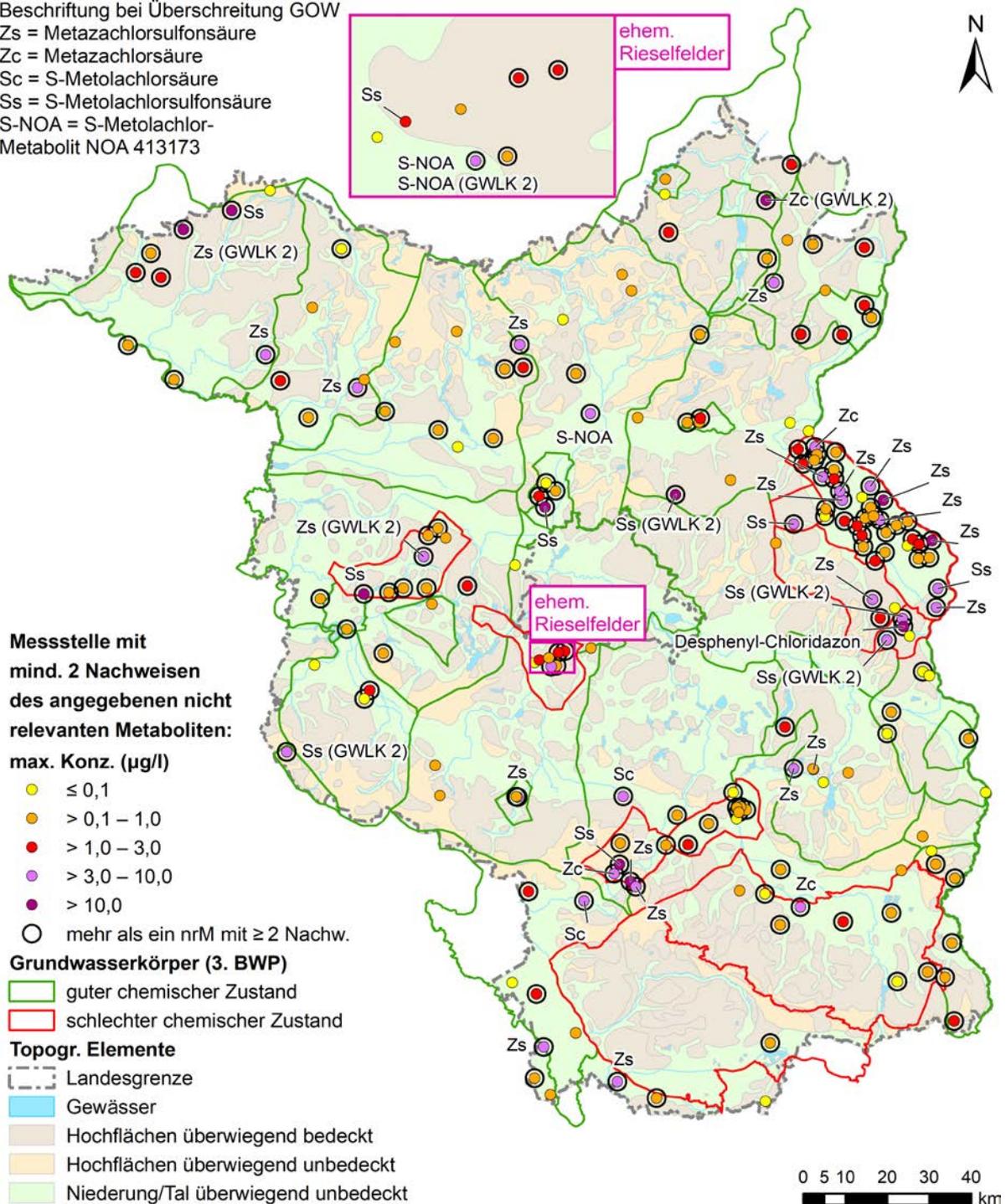


Abb. 7.73 Messstellen mit mindestens einem nicht relevanten Metaboliten mit mindestens zwei Nachweisen über der Bestimmungsgrenze und klassifizierter Darstellung der maximalen Konzentration im Berichtszeitraum. Beschriftung mit nicht relevanten Metaboliten bei Messstellen mit Konzentration > GOW, alle Messnetze

## 7.4.2 Arzneistoffe

Humanarzneistoffe können über kommunales Abwasser ins Grundwasser eingetragen werden (zum Beispiel Uferfiltrat, ehemalige Rieselfelder), da sie durch die Aufbereitung in Kläranlagen teilweise nicht entfernt beziehungsweise abgebaut werden können (Reddersen 2004; Umweltbundesamt 2014). Deponien und undichte Abwasserleitungen können weitere Eintragsquellen darstellen (Beier 2008). Bei in der Tierhaltung eingesetzten Stoffen (unter anderem Antibiotika und Entzündungshemmer) ist auch der flächenhafte Eintrag über Wirtschaftsdünger (Mist und Gülle) möglich. Da Medikamente nach Möglichkeit lange lagerfähig und einfach zu verabreichen sein sollen, sind die Wirkstoffe häufig stabil und damit auch persistent. Insbesondere trifft das auf Antibiotika zu (Umweltbundesamt 2014). Die pharmakologisch erwünschte gute Wasserlöslichkeit bedingt zudem eine hohe Mobilität im Sickerwasser und Grundwasser (Kümmerer 2001). Die human- und ökotoxikologischen Auswirkungen von geringen, aber dauerhaft wirkenden Konzentrationen sind noch weitgehend unerforscht (Umweltbundesamt 2021).

Für 210 Messstellen lagen landesweit Analysen zu Ibuprofen, Diclofenac, Bezafibrat und Clofibrinsäure vor. Die Antiepileptika Carbamazepin und Primidon wurden dagegen nur in ausgewählten Messstellen des Landesmessnetz B auf den ehemaligen Rieselfeldern südlich Berlins untersucht:

In Anhang 7 sind die Stoffe mit Hinweisen zu Verwendung und Umweltverhalten zusammengestellt.

In 58 Messstellen wurde mindestens ein Arzneistoff mindestens einmal nachgewiesen. Sowohl nach Anteil als auch nach absoluter Anzahl stellen Diclofenac und Primidon die am häufigsten über Bestimmungsgrenze gefundenen Stoffe dar. Die biologisch gut abbaubaren Stoffe Ibuprofen und Bezafibrat wurden selten beziehungsweise gar nicht über Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

Die Spannweitendiagramme in Abb. 7.74 zeigen die Konzentrationsbereiche der Messwerte über Bestimmungsgrenze und die gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) des Umweltbundesamts (2019), soweit sie festgelegt wurden. Die Konzentrationen bleiben größtenteils unterhalb des Gesundheitlichen Orientierungswerts, bei Diclofenac und Primidon überschreiten ihn aber einzelne Ausreißer. Primidon kann hohe Konzentrationen erreichen, die aber aus der Lage der Messstellen unter den belasteten ehemaligen Rieselfeldern südlich Berlins resultieren.

In der Karte Abb. 7.75 sind die Messstellen mit wiederholten Nachweisen (mindestens 2 Nachweise über Bestimmungsgrenze) dargestellt. Diese befinden sich auf den ehemaligen Rieselfeldern in Grundwasserleiterkomplex 1 und 2. Außerhalb der Rieselfelder wird nur Diclofenac wiederholt nachgewiesen. Diese Messstellen liegen alle im Grundwasserleiterkomplex 1, sind meist sehr flach ausgebaut und weisen meist maximale Konzentrationen zwischen 0,1 und 0,2 µg/l auf.

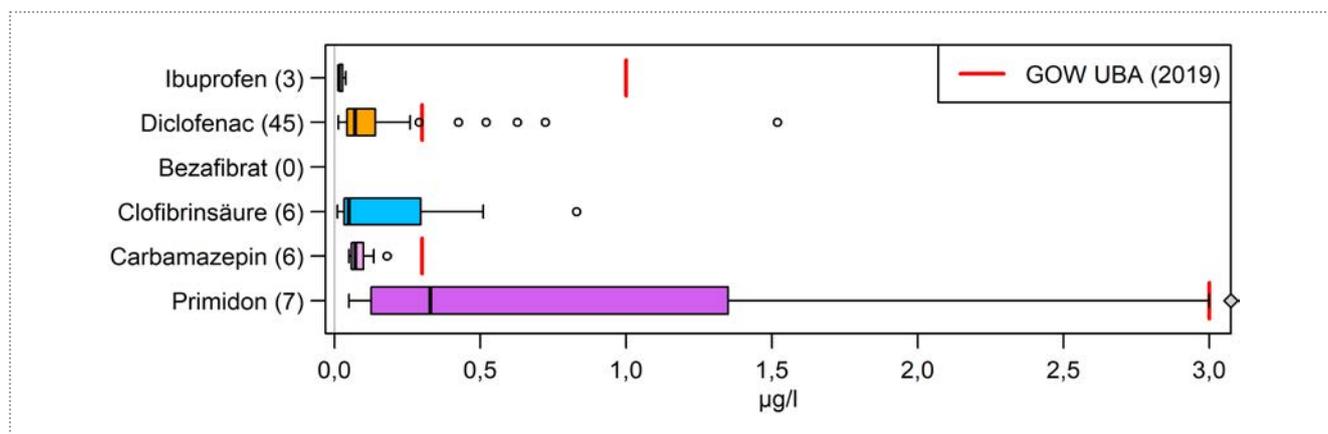


Abb. 7.74 Spannweiten der Nachweise > BG von Arzneistoffen im Berichtszeitraum. Nach den Parametern ist in Klammern die Anzahl der Messstellen mit Nachweisen > BG angegeben, alle Messnetze.

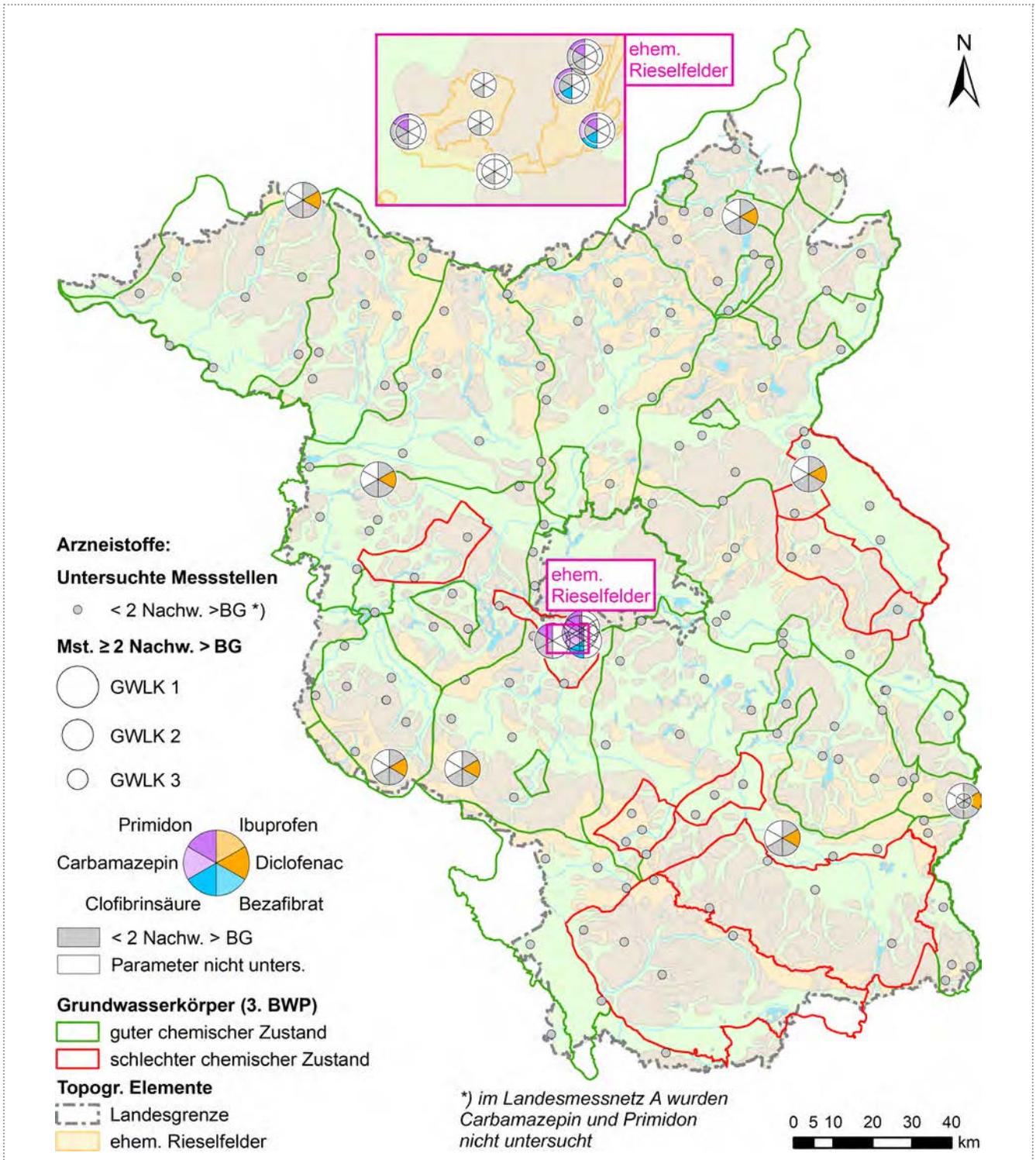


Abb. 7.75 Messstellen mit mindestens 2 Nachweisen von Arzneistoffen in den Grundwasserleiterkomplexen 1 – 3, alle Messnetze

### 7.4.3 Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe sind meist gering wasserlöslich, der gelöste Anteil ist im Grundwasser jedoch mobil. Abhängig von Molekülgröße und funktionellen Gruppen können Kohlenwasserstoffverbindungen am Sediment (vor allem an organischer Substanz) adsorbiert werden. Die einzelnen Stoffe unterscheiden sich auch stark in ihrer biologischen Abbaubarkeit beziehungsweise Persistenz. Beispielsweise werden Tetra- und Trichlorethen (PCE und TCE) relativ gut zu Vinylchlorid abgebaut, Vinylchlorid selbst ist jedoch relativ schlecht abbaubar. Polizyklische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind ebenfalls meist sehr persistent. Für Kohlenwasserstoffe existieren teilweise unterschiedliche, vom Milieu (vor allem der Sauerstoffkonzentration und verfügbarer Nährstoffe) abhängige mikrobielle Abbauprozesse.

Es lagen Analysen zu folgenden Gruppen von Kohlenwasserstoffverbindungen vor:

- Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (LHKW) und Aromaten: 11 C<sub>1</sub>- und C<sub>2</sub>-Verbindungen sowie Hexachlorbutadien und Cumol
- Alkylierte Benzole (BTEX): Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xyole
- Polizyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK): 16 Verbindungen

Die folgenden Auswertungen betrachten die Summen für diese Stoffgruppen sowie die LHKW-Einzelstoffe Tetrachlorethen (PCE) und Trichlorethen (TCE) für die ein Schwellenwert nach EG-Wasserrahmenrichtlinie vorgegeben ist.

LHKW und BTEX überschreiten die Bestimmungsgrenze häufiger als PAK, die auch seltener untersucht werden. Die Mobilität nimmt in der genannten Reihenfolge ab.

Die Spannweitendiagramme in Abb. 7.76 zeigen die Konzentrationsbereiche der Messwerte über Bestimmungsgrenze für den gesamten Datenbestand.

Die Karte in Abb. 7.77 dokumentiert die Messstellen deren Konzentrationen von PCE oder TCE mindestens zweimal im Berichtszeitraum 2013–2018 die Bestimmungsgrenze überschreiten.

Die höchste LHKW-Summenkonzentration beträgt 59 µg/l in einer Messstelle im Grundwasserleiterkomplex 1 (FOK 4,7 m GOK, Beeinflussungstyp 1 *Schadstoffe*) und geht vor allem auf PCE zurück. Diese Messstelle weist regelmäßig LHKW-Summen über dem GFS von 20 µg/l und PCE über dem SW von 5 µg/l auf.

Die Maximalkonzentrationen gehen in tieferen Grundwasserleiterkomplexen und tieferen Filterlagen zurück. Im Grund-

wasserleiterkomplex 3 beziehungsweise bei Messstellen mit -Filterlagen tiefer als 25 m unter Gelände werden GFS beziehungsweise SW nicht mehr überschritten.

Im Beeinflussungstyp *Schadstoffe* überschreitet das 90. Perzentil der LHKW-Summe beziehungsweise das 95. Perzentil von PCE+TCE den GFS beziehungsweise den SW. Der Median der LHKW-Summe liegt bei 2 µg/l, der Median von PCE und TCE bei circa 0,2 µg/l.

In zahlreichen Messstellen der ehemaligen Rieselfelder südlich Berlins wurden LHKW gefunden, vor allem unter den ehemaligen Rieselfeldern Sputendorf (Detailkarte in Abb. 7.77). TCE wird dabei häufiger als PCE gefunden. Auch sind Konzentrationen von TCE meist höher als von PCE. Sofern cis-1,2-Dichlorethen (CIS) untersucht wurde, ist es meist in wiederum höheren Konzentrationen als TCE gefunden worden. Daraus wird die Abbaureihe PCE → TCE → CIS erkennbar. Vinylchlorid ist das letzte Glied in dieser Abbaureihe. Der Stoff hält sich unter reduzierten Milieubedingungen, wobei er unter oxidierten Bedingungen abgebaut wird. Vinylchlorid wurde selten untersucht und tritt in den überprüften Messstellen nur in geringen Konzentrationen auf.

Die maximale Konzentration der BTEX-Summe beträgt 1 µg/l und liegt somit deutlich unter dem GFS von 20 µg/l. Dieser Wert wurde einmalig in einer Messstelle gefunden, während die anderen drei Analysen des Berichtszeitraums in dieser Messstelle nahe oder unter der Bestimmungsgrenze lagen. In den Messstellen des Beeinflussungstyps *Schadstoffe* lag das Maximum bei nur 0,22 µg/l.

BTEX werden in 52 der 200 untersuchten Messstellen gefunden (28 im Grundwasserleiterkomplex 1, 22 im Grundwasserleiterkomplex 2, 2 im Grundwasserleiterkomplex 3), wobei die Konzentrationen relativ niedrig sind (außer der oben genannten Messstellen sind alle BTEX-Summen unter 1 µg/l und bis auf 4 Messstellen sogar unter 0,5 µg/l). Zumeist handelt es sich um Toluol oder Xylole. Benzol wurde nur in 6 Messstellen nachgewiesen, die maximale Konzentration beträgt 0,5 µg/l < GFS.

Diese häufigen Nachweise sind räumlich weit gestreut, betreffen alle Flächennutzungen (vor allem Wald und Ackerland, seltener Siedlung) und treten auch in größeren Tiefen auf. Zeitlich sind die Nachweise nicht gleichmäßig verteilt – die Mehrheit stammt aus dem Zeitraum 2013/2014, während 2016 nur ein Messwert über Bestimmungsgrenze vorliegt. Die Konzentrationen sind aber bis auf die im vorhergehenden Absatz genannten Fälle sehr niedrig (mehr als die Hälfte unter 0,1 µg/l). In anderen Bundesländern wurde eine solch weite Verbreitung von BTEX-Nachweisen nicht beobachtet (LHW Sachsen-Anhalt 2012; Senator für Umwelt, Bau und Verkehr Bremen 2013; LUBW 2020), wobei die analytischen

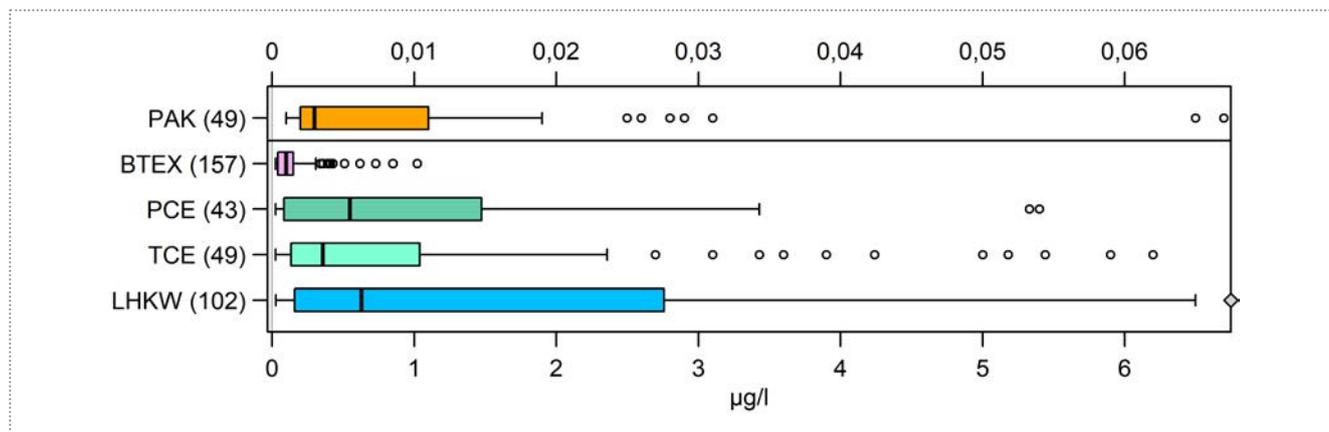


Abb. 7.76 Spannweiten der Nachweise > BG von organischen Schadstoffen im Berichtszeitraum, alle Messnetze. Konzentrationsachse für PAK oben.

Bestimmungsgrenzen dort meist höher waren als in den Analysen aus Brandenburg.

Die höchsten PAK-Summen in den einzelnen Grundwasserleiterkomplexen und Landnutzungen liegen deutlich unter Schwellenwert beziehungsweise Grenzwert.

In 8 Messstellen des Grundwasserleiterkomplex 3 (FOK im Bereich 35 – 118 m GOK) wurden PAK-Summen in niedrigen Konzentrationen über Bestimmungsgrenze festgestellt. In vier dieser Messstellen wurde in beiden Analysen des Berichtszeitraums eine PAK-Summe über Bestimmungsgrenze gefunden.

Diese Messstellen sind zum Teil im Tertiär, im Liegenden oder Hangenden von braunkohleführenden Schichten ausgebaut, aus denen die beobachteten geringen PAK-Konzentrationen stammen könnten.

Im Beeinflussungstyp *Schadstoffe* wurden nur 2 Messstellen auf PAK untersucht; diese lagen stets unter der Bestimmungsgrenze.

In den Messstellen der ehemaligen Rieselfelder südlich Berlins wurden weder BTEX noch PAK über Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

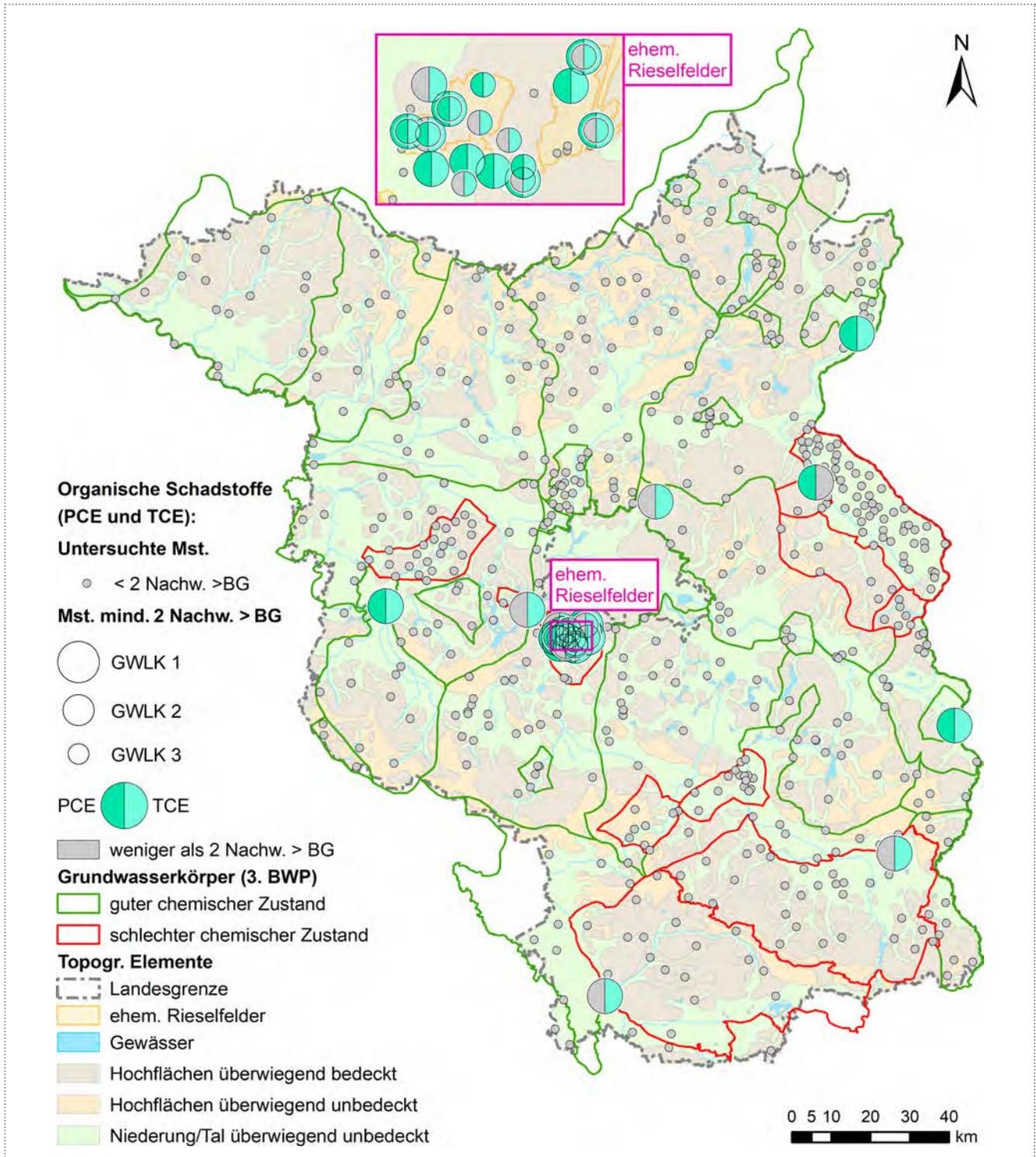


Abb. 7.77 Messstellen mit mindestens 2 Nachweisen von organischen Schadstoffen (PCE und TCE) in den Grundwasserleiterkomplexen 1 – 3, alle Messnetze

## 7.5 Weitere Parameter

### Cadmium

Das Schwermetall Cadmium kann über Klärschlamm und Dünger oder über atmosphärische Deposition eingetragen werden (Kubier et al. 2020). Bei niedrigen pH-Werten (in Brandenburg vor allem in der Bergbaufolgelandschaft der Niederlausitz) kann es aus Mineralen mobilisiert und unter stark reduzierenden Bedingungen als Sulfid ausgefällt werden.

Die HÜK200 gibt für Brandenburg Hintergrundwerte im Bereich 0–0,8 µg/l an.

Die Häufigkeitsverteilungen aller Grundwasserleiterkomplexe werden dominiert von Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze. Die wenigen Werte über der Bestimmungsgrenze sind um circa 0,3–0,5 µg/l verteilt.

Im Bergbaugesamt treten im Grundwasserleiterkomplex 1 höhere Konzentrationen auf. Die häufigsten Werte liegen dort aber ebenfalls im Bereich von circa 0,3–0,5 µg/l. Die maximale Konzentration im Bergbaugesamt beträgt 5,4 µg/l. Außerhalb der Bergbauregion treten Überschreitungen des Geringfügigkeitschwellenwerts im Bereich der ehemaligen Rieselfelder südlich Berlins und landesweit an zwei weiteren Messstellen auf.

### Quecksilber

Quecksilber kann aus Punktquellen (Industrie, Altlasten) und über atmosphärische Deposition (Abgase aus der Verbrennung von Kohle) eingetragen werden. Anorganische Quecksilberverbindungen sind wenig mobil.

Die Häufigkeitsverteilungen (Grundwasserleiterkomplex 1) werden dominiert durch Werte unter der häufigsten Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/l. Der zweithöchste Gipfel der Verteilungen stellt die Werte unter der weniger häufigen Bestimmungsgrenze 0,05 µg/l dar. Weniger als 5 Prozent aller Messwerte liegen über der Bestimmungsgrenze.

### Fluorid

Fluoridminerale (vor allem Flussspat und Apatit) finden sich in Sedimenten und Magmatiten (Kunkel et al. 2002). Fluorverbindungen werden in der Glas- und Metallindustrie eingesetzt und sind Bestandteil von Phosphatdüngern (Fluoranteil bis zu 4 Prozent) (Merkel und Sperling 1996). Die Löslichkeit von Fluorid ist durch Calcium limitiert, das heißt bei Zunahme der Calciumkonzentration geht die maximal mögliche Fluoridkonzentration im Grundwasser zurück (maximal ungefähr 7 mg/l Fluorid bei 20 mg/l Calcium, maximal ungefähr 1,4 mg/l Fluorid bei 200 mg/l Calcium) (Appelo und Postma 2005). Hintergrundwerte der HÜK200 liegen für mehr als die Hälfte der Landesfläche von Brandenburg vor und liegen bei bis zu 0,152 mg/l.

Die Häufigkeitsverteilungen von Fluorid zeigen neben einem Peak der Werte unter der Bestimmungsgrenze in allen Grundwasserleiterkomplexen ein Maximum um 0,15 mg/l. Im Grundwasserleiterkomplex 3 sind die Konzentrationen etwas höher. Im Landesmessnetz Salz werden vor allem im Grundwasserleiterkomplex 2 und 3 höhere Konzentrationen beobachtet, die mit der geogen salinaren Beeinflussung einhergehen. Hier deutet sich in der KDE eine weitere Komponente um 1 mg/l an.

Im Grundwasserleiterkomplex 1 zeigen die flachsten Messstellen (weniger als fünf Meter unter der Geländeoberkante) unter Acker- und Grünland etwas höhere Konzentrationen. Die

Konzentrationsbereiche unterscheiden sich ansonsten zwischen den Flächennutzungen und Filtertiefen kaum. Auch bei den Beeinflussungstypen gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen anthropogen beeinflussten und unbeeinflussten Messstellen.

### Siliziumdioxid

Gelöstes Siliziumdioxid (Silikat, Kieselsäure) ist normalerweise rein geogenen Ursprungs. Die Konzentration ist abhängig vom Aufbau des Grundwasserleiters. Magmatischen Gesteine führen zu höheren Konzentrationen als Sedimentgesteine.

Für Siliziumdioxid sind verschiedene Konzentrationsmaße in Gebrauch. Im vorliegenden Bericht werden mg Si/l verwendet. Die Hintergrundwerte der HÜK200 für Brandenburg liegen im Bereich 11,1–17,9 mg Si/l).

Die Häufigkeitsverteilungen sind annähernd lognormal geformt und zeigen eine leichte Linksschiefe im Grundwasserleiterkomplex 1 und 2, das heißt dort sind noch Wässer mit niedrigen Konzentrationen vorhanden. In den tieferen Grundwasserleiterkomplexen nehmen die Konzentrationen leicht zu. Die Zunahme der mittleren Konzentration und der Rückgang der Linksschiefe weisen mit der Tiefe, beziehungsweise dem Alter der Grundwässer, auf fortschreitende Lösungsprozesse hin. Die untersuchten Wässer, auch im Grundwasserleiterkomplex 3, liegen zumeist am unteren Rand oder unter den Hintergrundwerten der HÜK200. Im Norden Brandenburgs sind die Konzentrationen im Grundwasserleiterkomplex 1 und auch den tieferen Grundwasserleiterkomplexen etwas höher als im Süden.

### Chrom

Die Toxizität des Schwermetalls Chrom hängt stark von der Oxidationsstufe ab. Chrom(VI) ist deutlich toxischer als Chrom(III) und auch unter normalen Milieubedingungen löslicher. Die vorliegenden Analysen geben Chrom gesamt an. Die LAWA hat den GFS bei 3,4 µg/l Chrom gesamt festgelegt. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung beträgt für Chrom gesamt 50 µg/l.

Die Konzentrationen von Chrom gesamt aller Grundwasserleiterkomplexe ist annähernd lognormal-verteilt um circa 0,1–0,5 µg/l. Zur Tiefe hin nehmen die Konzentrationen etwas ab. Dies könnte auf einen Rückgang der leicht löslichen, oxidierten Form Chrom(VI) unter reduzierenden Bedingungen tiefer Grundwässer hindeuten, aber auch ein Artefakt der geringen Messstellenanzahl sein.

Durch Pyritoxidation und Versauerung wurde Chrom, wie viele Schwermetalle, im Braunkohlerevier der Niederlausitz freigesetzt. Die Häufigkeiten von Chrom gesamt im Grundwasserleiterkomplex 1 des Bergbaugesamts sind annähernd lognormal um circa 15 µg/l verteilt und liegen damit rund zwei Größenordnungen höher als im übrigen Landesgebiet.

Außerhalb der Bergbauregion gibt es keine Messstellen, in denen der GFS überschritten wird.

### Kupfer

Die Häufigkeitsverteilungen von Kupfer sind ungefähr lognormal-verteilt, wobei die Mitte der Verteilung von ungefähr 2 µg/l im Grundwasserleiterkomplex 1 auf ungefähr 0,3 µg/l im Grundwasserleiterkomplex 3 abnimmt. Die Anzahl der Überschreitungen des GFS (5,4 µg/l) nimmt mit der Tiefe ebenfalls ab.

Die räumliche Konzentrationsverteilung im Grundwasserleiterkomplex 1 dokumentiert Werte über dem GFS hauptsächlich in den bergbaubeeinflussten Grundwasserkörpern sowie im Gebiet der ehemaligen Rieselfelder südlich von Berlin.

## Nickel

Wie viele Schwermetalle kann Nickel aus Mineralen durch Oxidation freigesetzt werden. Die HÜK200 gibt für Brandenburg Hintergrundwerte im Bereich 0,06–4,1 µg/l an. Es ist bei niedrigen pH-Werten löslich und damit mobil. Im Bergbaufolgegebiet ist deshalb durch Pyritverwitterung und Versauerung mit erhöhten Konzentrationen zu rechnen.

Die Häufigkeitsverteilungen sind im Grundwasserleiterkomplex 1 um circa 0,6 µg/l annähernd lognormal verteilt, im Grundwasserleiterkomplex 2 um 0,2 µg/l und im Grundwasserleiterkomplex 3 um 0,1 µg/l. Der linke Teil der Verteilungen liegt zum großen Teil im Bereich unter den Bestimmungsgrenzen. Außerhalb des Bergbaubereichs wird der GFS (7 µg/l) im Grundwasserleiterkomplex 1 vom 95. Perzentil, im Grundwasserleiterkomplex 2 nur noch vom Maximum und im Grundwasserleiterkomplex 3 gar nicht mehr überschritten.

Im Sondermessnetz WRRL-Bergbau treten teilweise deutlich höhere Konzentrationen auf, die den GFS sowie den Grenzwert der TrinkwV (20 µg/l) oft überschreiten.

## Zink

Zink kann durch Oxidation von Mineralen freigesetzt werden. Niedrige pH-Werte begünstigen ebenfalls die Mobilisierung von gelöstem Zink. Die HÜK200 gibt für Brandenburg Hintergrundwerte im Bereich 0,18–17 µg/l an.

Die Konzentrationen außerhalb des Bergbaubereichs sind rechtschief mit einem Maximum um circa 2 µg/l verteilt. Der Großteil der linken Seite der Verteilung wird von Werten unter der Bestimmungsgrenze gebildet. In den tieferen Grundwasserleiterkomplexen werden vereinzelt extrem hohe Werte erreicht. Die Mediane nehmen aber mit Grundwasserleiterkomplex und Filterlage in der Tiefe ab.

## TOC

Der Parameter „gesamter organischer Kohlenstoff“ (total organic carbon, TOC) erfasst summarisch alle organischen Kohlenstoffverbindungen, ausgedrückt als mg C/l. Die Werte können in den Niederungsgebieten, die sich durch einen freien Grundwasserspiegel und einen geringen Flurabstand ( $\leq 5$  m) auszeichnen, natürlicherweise sehr hoch sein, da das organische Material unter den dort herrschenden reduzierenden Verhältnissen nicht bis kaum zersetzt wird. Die Gehalte liegen meist über 2 mg/l bis

zu 10 mg/l. TOC kann auch im Zuge einer geogen salinaren Beeinflussung ansteigen. Ist TOC an Standorten erhöht, die keinen Hinweis auf eine Vernässung oder den Aufstieg geogen salinaren Grundwassers anzeigen, jedoch hohe Stickstoffgehalte in Form von Nitrat und/oder Ammonium aufweisen, stehen diese mit einem anthropogenen Eintrag in Verbindung (zum Beispiel in den ehemaligen Rieselfeldern südlich von Berlin).

Die Konzentrationen sind in den Grundwasserleiterkomplexen 1 und 2 annähernd lognormal-verteilt, wobei sich in der KDE eine leichte Zweigipfligkeit andeutet, die sich im Grundwasserleiterkomplex 3 stärker ausprägt. Im Grundwasserleiterkomplex 1 liegen die Konzentrationen höher (um 4 mg/l) als in den tieferen Grundwasserleiterkomplexen (um 2 mg/l).

Die Spannweitendiagramme für den Grundwasserleiterkomplex 1 zeigen in allen Flächennutzungen mit der Tiefe abnehmende Mediane und Spannweiten. Die Konzentrationen sind unter Ackerlandstandorten etwas höher als unter Wald und Siedlung, was auf Wirtschaftsdünger oder Zersetzung von Torf (Grünlandwirtschaft auf meliorierten Niederungsstandorten) hinweist. Analog zeigen die Beeinflussungstypen *Pflanzenschutzmittel* und *Nährstoffe* ebenfalls höhere Konzentrationen. Im Typ 1 *Schadstoffe* kann TOC aufgrund der organischen Natur vieler Kontaminationen ebenfalls erhöht sein.

In der räumlichen TOC-Verteilung sind höhere Konzentrationen vor allem in Vernässungs- und Mooregebieten sowie im Bereich der ehemaligen Rieselfelder südlich Berlins zu finden. Die Hochflächen zeichnen sich im Allgemeinen durch niedrige TOC-Werte aus.

## DOC

Der Parameter „gelöster organischer Kohlenstoff“ (dissolved organic carbon, DOC) erfasst summarisch alle nach Filtration der Probe vorhandenen organischen Kohlenstoffverbindungen, ausgedrückt als mg C/l.

Die Häufigkeitsverteilungen zeigen in den Grundwasserleiterkomplexen 1 und 2 lognormal-verteilte Werte um 4,6 mg/l beziehungsweise 2,9 mg/l. Im Grundwasserleiterkomplex 3 tritt (ähnlich wie bei TOC) eine zweite Komponente hinzu. Die Zweigipfligkeit ist hier aber weniger stark ausgeprägt als in den Verteilungen für TOC und scheint deswegen vorrangig aus partikulärem organischem Kohlenstoff (POC) herzuführen.

Im Grundwasserleiterkomplex 1 nehmen die Mediane und Spannweiten von DOC mit der Tiefe ab. Die DOC-Konzentrationen sind in den Beeinflussungstypen *Schadstoffe*, *Pflanzenschutzmittel* und *Nährstoffe* höher als in den anderen Typen.

Die räumliche Verteilung von DOC ähnelt der Verteilung von TOC.

# 8 Parameterübergreifende Ergebnisse

## 8.1 Ionenzusammensetzung und Gesamtmineralisation

Die Grundwasserbeschaffenheit ist abhängig von der Zusammensetzung des Grundwasserleiters und der Wechselwirkung mit den umgebenden Gesteinen, aber auch von der Zusammensetzung der ungesättigten Bodenzone, die während der Versickerung durchflossen wurde, und den vielfältigen Umwelteinflüssen, die zu einem Stoffeintrag führen können. Dabei sind die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Wassers entscheidend für die räumlich und zeitlich veränderliche Ionenzusammensetzung.

In Brandenburg sind die glazialfluviatil geprägten Grundwasserleiterkomplexe weitgehend aus Sanden und Kiessanden aufgebaut (Manhenke et al. 1995). Das Grundwasser wird hier natürlicherweise von Calcium und Hydrogenkarbonat dominiert. In vielen Regionen kommt als dritte Hauptkomponente noch Sulfat hinzu. Die Karte in Abb. 8.2 zeigt eine Übersicht der Ionenzusammensetzung in Grundwasserleiterkomplex 1. Die Karten der Grundwasserleiterkomplexe 2 und 3 zeigt Anhang 8.

Die Karte zeigt deutlich die anthropogene Überprägung durch den Einfluss des Bergbaus im Süden Brandenburgs mit einer Veränderung der Hydrochemie hin zu Sulfat als dominierendes Anion. Auch Eisen bildet hier häufig einen großen Anteil an der Ionensumme. Erhöhte Anteile an Sulfat sind auch in anderen Regionen, besonders in Grundwasserkörpern im schlechten chemischen Zustand, zu beobachten. In den anthropogen beeinflussten Messstellen im Umland Berlins, insbesondere auf den Rieselfeldern südlich Berlins treten Sulfat, Natrium und teilweise Nitrat hinzu. Sulfat und Nitrat nehmen in landwirtschaftlich beeinflussten Messstellen (beispielsweise im Oderbruch) einen höheren Anteil ein

Messstellen mit einem überwiegenden Anteil von Natrium und Chlorid treten vereinzelt in Bereichen auf in denen der Rupelton reduziert oder ausgeräumt wurde und zeigen oberflächennahe Versalzungen an.

In Abb. 8.3 sind die Gesamtmineralisationen im Grundwasserleiterkomplex 1 dargestellt. Die entsprechenden Abbildungen für die Grundwasserleiterkomplexe 2 und 3 sind in Anhang 9 enthalten. Die Gesamtmineralisation beschreibt die Summe der im Wasser gelösten Bestandteile und wird als Äquivalentkonzentration in mmol(eq)/l angegeben.

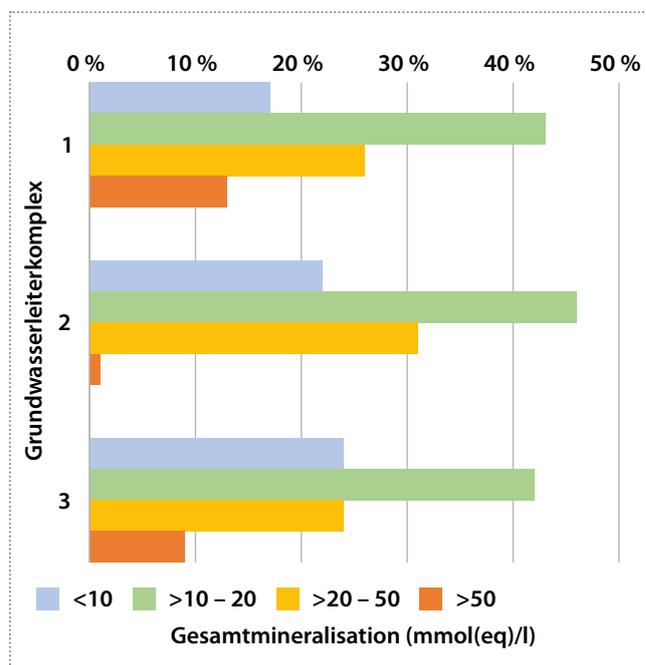


Abb. 8.1 Prozentuale Anteile an der in vier Konzentrationsklassen aufgeteilten Gesamtmineralisation für die drei Grundwasserleiterkomplexe

Die Gesamtmineralisation liegt im Grundwasserleiterkomplex 1 überwiegend bei 10–20 mmol(eq)/l (46 Prozent) und zu einem geringeren Anteil bei 20–50 mmol(eq)/l (Abb. 8.1).

Deutlich geringer mineralisierte Wässer unter 10 mmol(eq)/l treten seltener auf (17 Prozent).

Höher mineralisierte Wässer über 50 mmol(eq)/l sind weniger häufig (13 Prozent) und überwiegend in den anthropogen signifikant beeinflussten Grundwässern in den Grundwasserkörpern im schlechten chemischen Zustand, unter anderem in den bergbaubeeinflussten Grundwasserkörpern im Süden Brandenburgs, zu finden.

Vereinzelt sind auch die durch Salzwasseraufstieg geprägten Messstellen durch hohe Gesamtmineralisationen (überwiegend Natrium und Chlorid) geprägt.

Das Bild im Grundwasserleiterkomplex 2 stellt sich ähnlich dar. Außerhalb der oben genannten beeinflussten Gebiete sind geringe Gesamtmineralisationen (unter 10 mmol(eq)/l) etwas häufiger und die Ionen Calcium und Hydrogenkarbonat nehmen einen etwas größeren Anteil ein.

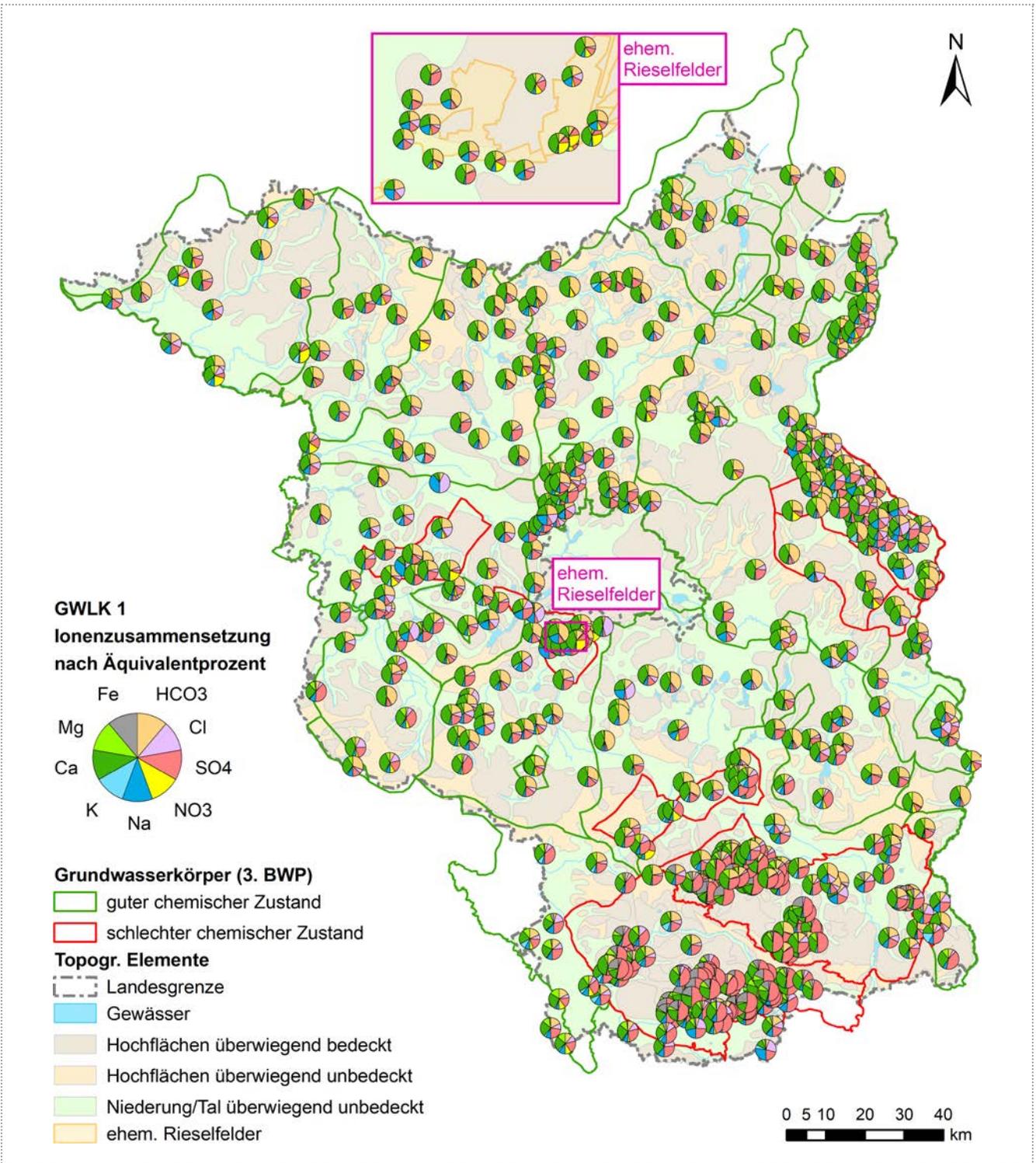


Abb. 8.2 Ionenzusammensetzung im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

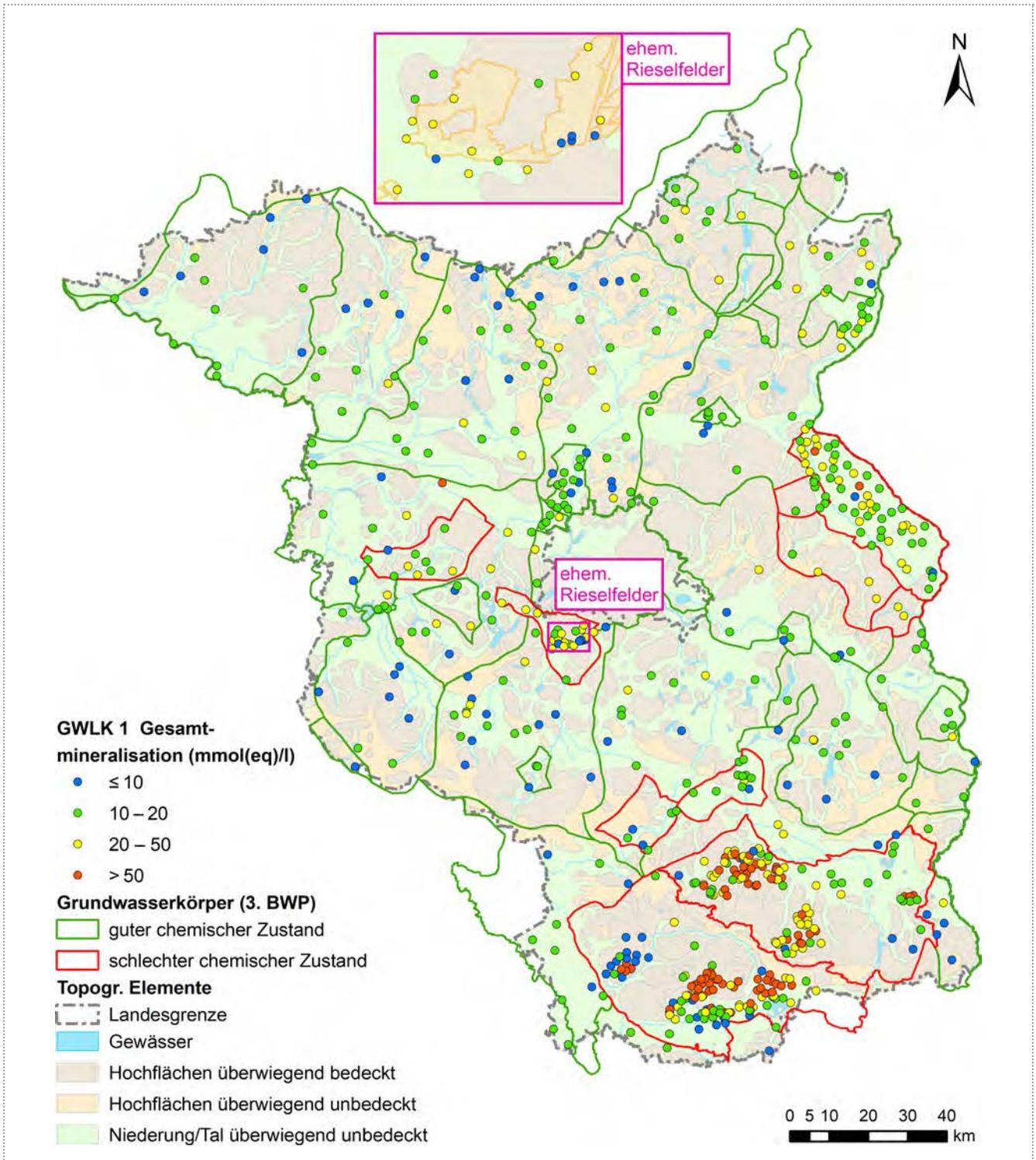


Abb. 8.3 Gesamtmineralisation im Grundwasserleiterkomplex 1, alle Messnetze

## 8.2 Überschreitungen von Beurteilungswerten

Unter dem Begriff Beurteilungswerte werden verschiedene gesetzliche Werte, aber auch interne Prüfwerte zusammengefasst (Abschnitt 6.2). Der ranghöchste Beurteilungswert ist der Schwellenwert nach Grundwasserverordnung, der für 10 Parameter beziehungsweise Summenparameter vorliegt.

In Abb. 8.4 sind die Anteile der Messwerte unter (grau) und über (grün) der Bestimmungsgrenze, über 75 Prozent des jeweiligen Beurteilungswertes („Warnwert“, gelb) sowie der Anteil über dem Beurteilungswert (rot) für alle drei Grundwasserleiterkomplexe dargestellt. Der jeweilige Beurteilungswert ist neben den Parametern angegeben. Die Balkendiagramme rechts in den Abbildungen zeigen prozentual die Anzahl der verwendeten Messwerte. Einige Parameter werden eher selten untersucht. Hier sind die Ergebnisse weniger aussagekräftig.

Hohe Anteile von Überschreitungen der Beurteilungswerte bei Hauptinhaltsstoffen finden sich vor allem bei Kalium, Ammonium und Sulfat. Hier ist zu beachten, dass es für Kalium keinen gesetzlich festgelegten Beurteilungswert gibt und daher auf Überschreitung des internen Prüfwerts (PW) von 7 mg/l geprüft wurde. Dieser Wert wurde statistisch ermittelt als Beginn einer anthropogenen Beeinflussung. Überschreitungen sind im Einzelfall kritisch zu prüfen. Die Überschreitungen von Ammonium und Sulfat betreffen dagegen den jeweiligen Schwellenwert (SW) nach Grundwasserverordnung und sind unter anderem ausschlaggebend für die Einstufung mehrerer Grundwasserkörper in den schlechten chemischen Zustand.

Überschreitungen von Chlorid sind verhältnismäßig selten und beschränken sich überwiegend auf lokale Standorte von Salzwasseraufstiegsbereichen.

Überschreitungen von Nitrat treten in knapp 9 Prozent der Messstellen auf. In Brandenburg überwiegen bei den Stickstoffkomponenten aufgrund der überwiegend reduzierenden Bedingungen deutlich die Überschreitungen von Ammonium im Vergleich zu Nitrat oder Nitrit. Überschreitungen des Schwellenwertes von Nitrit sind selten.

Häufiger werden der Schwellenwert von ortho-Phosphat und der Prüfwert von Gesamtphosphor überschritten. Die Überschreitungen betreffen überwiegend den Bereich der ehemaligen Rieselfelder südlich von Berlin in denen viele Messstellen eine Phosphatbelastung aufweisen. Für Gesamtphosphor gibt es, ähnlich wie bei Kalium, nur einen internen Prüfwert der deutlich unter dem Schwellenwert für ortho-Phosphat liegt.

Bei der Beurteilungswert-Überschreitung durch Schwermetalle dominieren Chrom, Nickel und Zink. Bei der Einordnung der Überschreitungsanteile ist zu beachten, dass die Anzahl der zugrundeliegenden Messwerte geringer ist als bei den Hauptinhaltsstoffen (vgl. schmale rechte Spalte der Diagramme).

Der Anteil an Überschreitungen des Beurteilungswertes geht für die meisten Parameter mit der Tiefe zurück. Ammonium bildet hier eine Ausnahme, da es in reduzierten tiefen Grundwässern beständiger ist beziehungsweise dort aus Sedimenten gelöst oder gebildet wird.

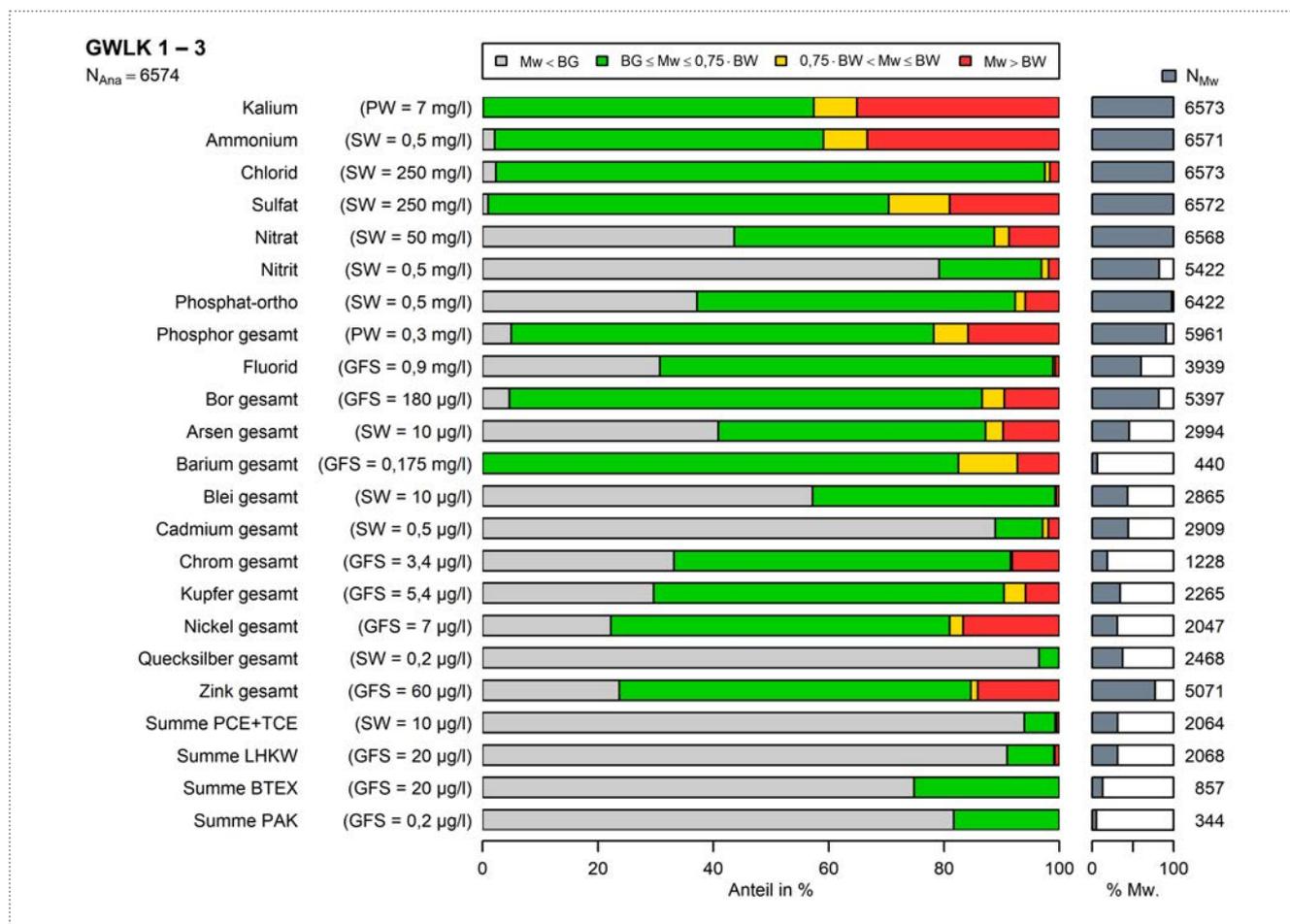


Abb. 8.4: Überschreitungen von Beurteilungswerten landesweit für verschiedene vor-Ort-Parameter, Hauptinhaltsstoffe und Metalle sowie Summenparameter (MW = Messwert, <BG = kleiner Bestimmungsgrenze, BW = Beurteilungswert, SW = Schwellenwert, GFS = Geringfügigkeitsschwellenwert, PW = Prüfwert)

### 8.3 Trendbewertungen

Die Ergebnisse der Trendanalyse für 18 Parameter im Zeitraum 1999–2018 sind für die drei Grundwasserleiterkomplexe in Abb. 8.5 bis Abb. 8.7 zusammengefasst. Zu beachten ist, dass die Datengrundlage für Grundwasserleiterkomplex 2 und vor allem Grundwasserleiterkomplex 3 kleiner ist als im Grundwasserleiterkomplex 1 (Anzahl der betrachteten Messstellen „ $N_{\text{GWLK}}$ “ links oben in den Abbildungen).

Weiterhin waren für einige Parameter aufgrund der Selektionskriterien (Abschnitt 6.5) oder der Anzahl der Messstellen, in denen der Parameter untersucht wurde, deutlich weniger Trendanalysen möglich. Die Anzahl der Messstellen mit Trendanalysen ist durch die dunkelgrauen Balken sowie Spalte „ $N_{\text{Tr}}$ “ rechts im Diagramm dargestellt. Bei den Hauptinhaltsstoffen fallen vor allem Nitrat, Nitrit, Eisen und Mangan durch eine geringe Anzahl von Trendergebnissen auf.

Trendumkehrungen gemäß Definition der Grundwasserverordnung wurden bei fast allen Parametern festgestellt, sie machen jedoch nur einen kleinen Anteil der Trendergebnisse aus.

Für **Nitrat** und **Sulfat** wurden im Grundwasserleiterkomplex 1 mehr fallende als steigende Trends festgestellt, im Grundwasserleiterkomplex 2 verschiebt sich das Verhältnis zugunsten steigender Trends.

In 7 der 12 betrachteten Messstellen des Grundwasserleiterkomplex 3 wurden steigende Trends insbesondere von Chlorid oder Sulfat beobachtet (Abb. 8.7). Ein Teil der Messstellen liegt in Bereichen mit möglichem Salinareinfluss (Rupeltonausräumungen).

Die Trendanalyse für **Chlorid** im Zeitraum von 20 Jahren hat im Grundwasserleiterkomplex 1 mehr fallende als steigenden Trends zum Ergebnis. In Grundwasserleiterkomplex 2 und 3 sind die Anteile ungefähr gleich. Die räumliche Verteilung weist nicht auf großräumige Muster. Im Bereich der ehemaligen Rieselfelder überwiegen fallende Trends. Bei Messstellen mit sehr

hohen Konzentrationen (über 250 mg/l) treten steigende Trends jedoch häufiger auf.

Die Trendanalyse für **Ammonium** im Zeitraum von 20 Jahren zeigt in allen Grundwasserleiterkomplexen mehr fallende als steigende Trends. Bei den steigenden Trends sind Trendumkehrungen im Sinne der Grundwasserverordnung selten. Die räumliche Verteilung zeigt insbesondere bei stärker belasteten Messstellen (zum Beispiel im Oderbruch) häufiger fallende Trends und seltener steigende Trends. Im Bergbaugebiet und im Grundwasserkörper HAV\_OH\_1 scheinen steigende Trends jedoch häufiger aufzutreten.

Trendanalysen für **Nitrat** waren aufgrund des hohen Anteils von Werten unter Bestimmungsgrenze für deutlich weniger Messstellen möglich als für andere Hauptinhaltsstoffe. Im Grundwasserleiterkomplex 1 wurden mehr fallende als steigende Trends bestimmt, wobei für die Messstellen mit Nitratgehalten > 50 mg/l gleichbleibende bzw. fehlende Trends überwiegen. Im Grundwasserleiterkomplex 2 halten sich die Trends ungefähr die Waage. Der Anteil an Trendumkehrungen in beide Richtungen ist relativ gering

In der Trendanalyse für **ortho-Phosphat** sind in den Grundwasserleiterkomplexen 1 und 2 mehr fallende als steigenden Trends zu erkennen. Im Grundwasserleiterkomplex 3 überwiegen steigende Trends, es konnten aber auch nur wenige Trendberechnungen durchgeführt werden. Bei den langfristig fallenden Trends in allen Grundwasserleiterkomplexen ist der Anteil von Trendumkehrungen zu steigenden Trends relativ hoch. In den Messstellen der ehemaligen Rieselfelder überwiegen fallende Trends. Auch im Oderbruch herrschen fallende oder unbestimmte Trends vor.

Die Trendanalyse für **Arsen** war nur für 105 Messstellen möglich. Im Grundwasserleiterkomplex 1 sind steigende etwas häufiger, im Grundwasserleiterkomplex 2 überwiegen hingegen fallende Trends.

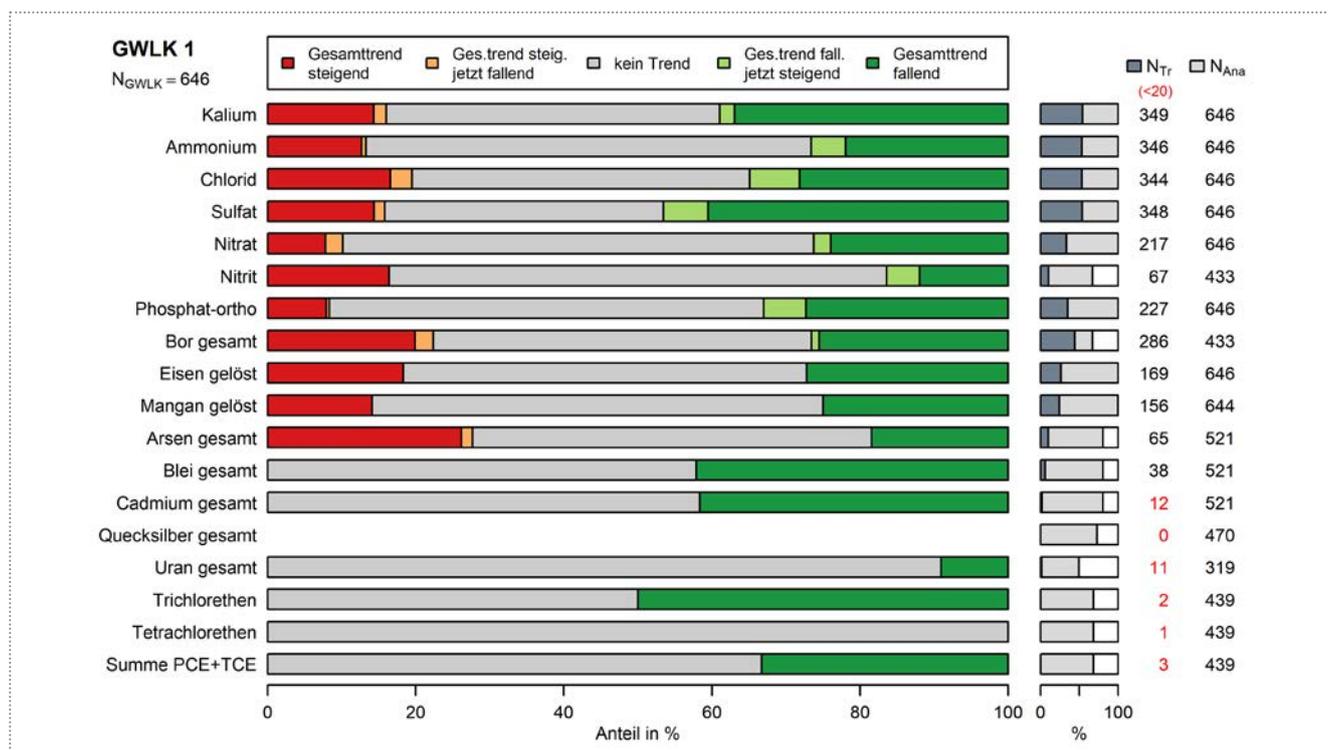


Abb. 8.5 Ergebnisse der Trendanalyse für den GWLK 1.  $N_{\text{GWLK}}$  = Anzahl Messstellen im GWLK,  $N_{\text{Ana}}$  = Anzahl Messstellen mit Analysen für den Parameter,  $N_{\text{Tr}}$  = Anzahl Messstellen, für die eine Trendberechnung möglich war (rot = für weniger als 20 Messstellen)

Bei den analysierten Trends für **Eisen** ist der Anteil der fallenden Trends in den Grundwasserleiterkomplexen 1 und 2 etwas höher (20–30 Prozent) als der Anteil der steigenden Trends. Im Grundwasserleiterkomplex 3 konnten nur 3 Trendberechnungen durchgeführt werden. Trendumkehrungen im Sinne der Grundwasserverordnung wurden nicht festgestellt.

den Trends. Im Grundwasserleiterkomplex 3 liegen nur 2 Trendergebnisse vor. Trendumkehrungen im Sinne der Grundwasserverordnung wurden nicht festgestellt.

Bei analysierten Trends für **Mangan** (202 Messstellen) ist der Anteil der fallenden Trends in Grundwasserleiterkomplex 1 und 2 etwas höher (20–25 Prozent) als der Anteil der steigen-

Die Trendanalyse für **Bor** zeigt in allen Grundwasserleiterkomplexen circa 20 Prozent steigende Trends. Der Anteil der fallenden Trends beträgt im Grundwasserleiterkomplex 1 circa 25 Prozent, in Grundwasserleiterkomplex 2 und 3 ist er etwas geringer (15–20 Prozent). Trendumkehrungen im Sinne der Grundwasserverordnung wurden selten festgestellt.

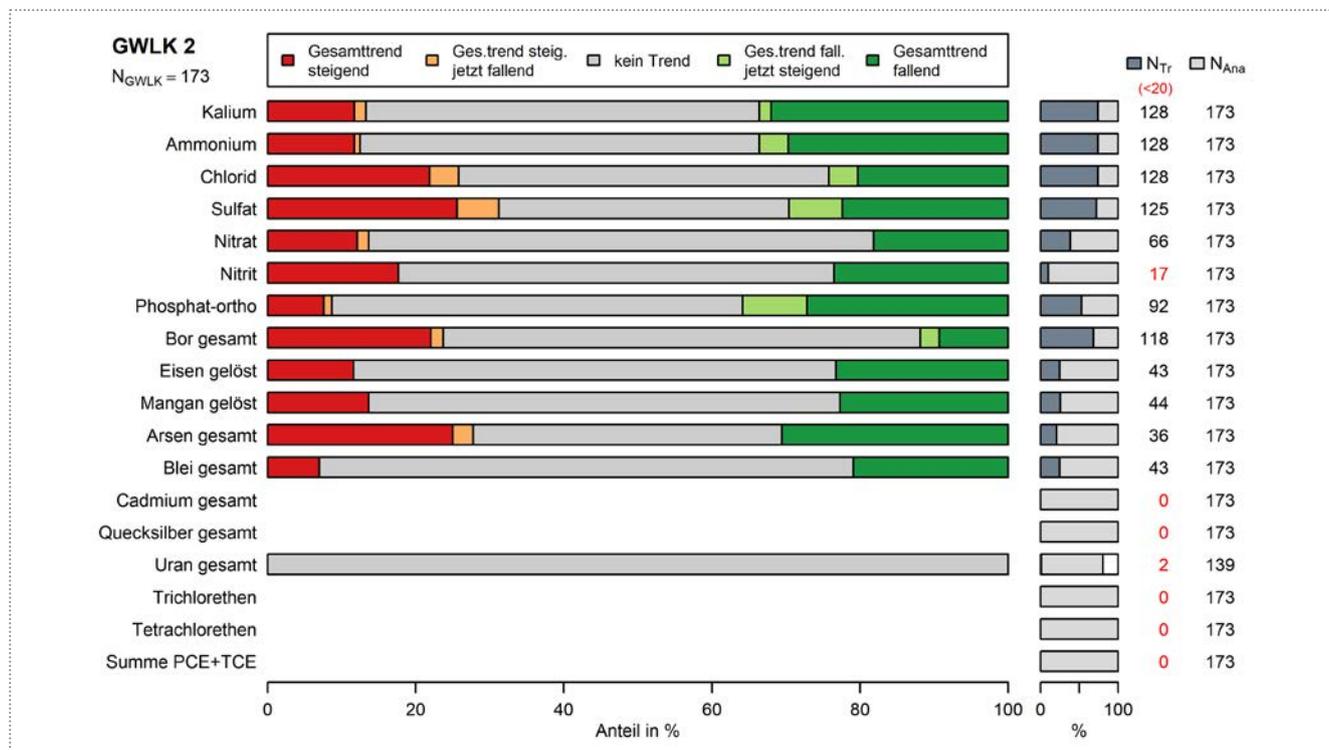


Abb. 8.6 Ergebnisse der Trendanalyse für den GWLK 2. N<sub>GWLK</sub> = Anzahl Messstellen im GWLK, N<sub>Ana</sub> = Anzahl Messstellen mit Analysen für den Parameter, N<sub>Tr</sub> = Anzahl Messstellen, für die eine Trendberechnung möglich war (rot = für weniger als 20 Messstellen)

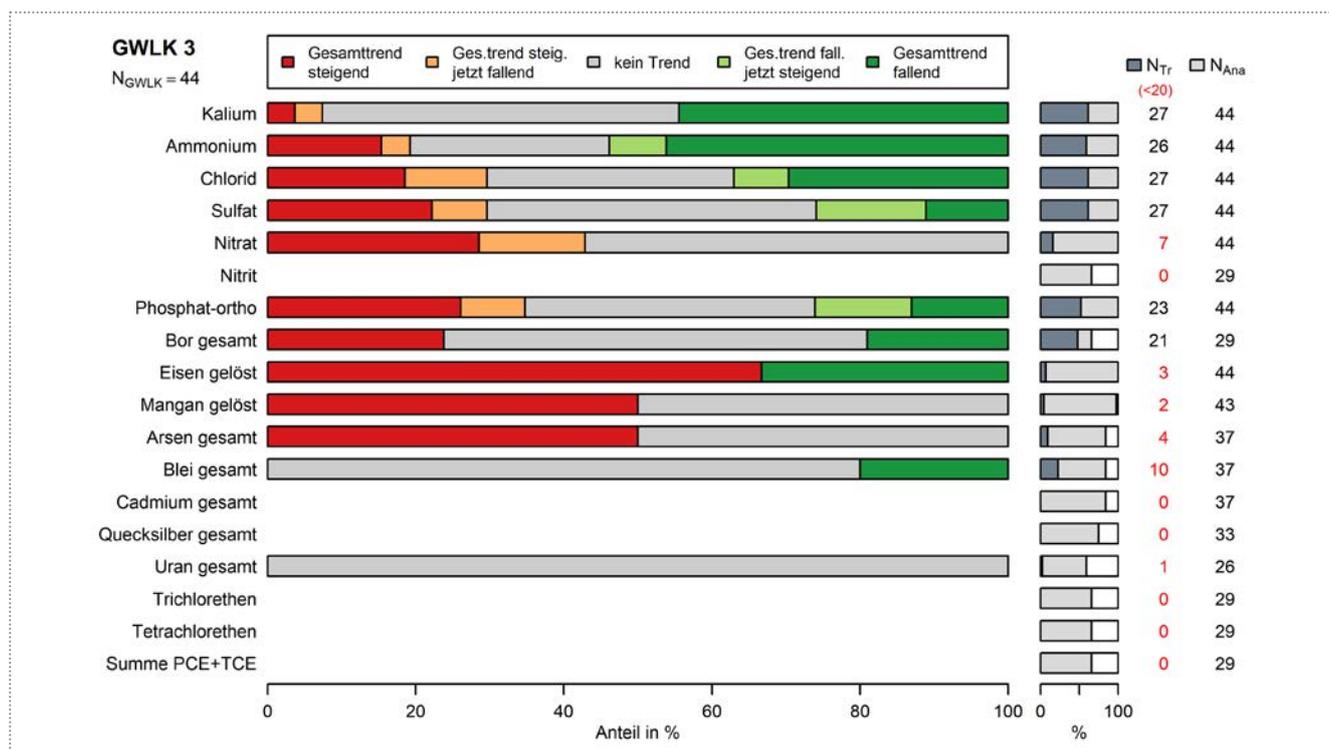


Abb. 8.7 Ergebnisse der Trendanalyse für den GWLK 3. N<sub>GWLK</sub> = Anzahl Messstellen im GWLK, N<sub>Ana</sub> = Anzahl Messstellen mit Analysen für den Parameter, N<sub>Tr</sub> = Anzahl Messstellen, für die eine Trendberechnung möglich war (rot = für weniger als 20 Messstellen)

## 8.4 Hydrochemischer Vergleich von Mehrfachmessstellen

Für die 39 Standorte mit Mehrfachmessstellen wurden komprimierte Darstellungen zur Grundwasserbeschaffenheit der einzelnen Messstellen erstellt. Die Methodik und Datengrundlage ist in 6.6 beschrieben. Es werden Beeinflussungstypen und ausgewählte hydrochemische Parameter teufenorientiert dargestellt, um Beschaffenheitsentwicklungen vor allem innerhalb der Grundwasserleiterkomplexe zu verfolgen und gegebenenfalls Anpassungen an das Messnetz abzuleiten.

Im Folgenden werden Gruppen mit ähnlichen Beschaffenheitsentwicklungen innerhalb der Grundwasserleiterkomplexe an Beispielen erläutert.

### Geringe hydrochemische Unterschiede innerhalb der Grundwasserleiterkomplexe

In dieser Gruppe unterscheiden sich die einzelnen Messstellen innerhalb jeweils eines Grundwasserleiterkomplexes nur wenig. Sie weisen identische oder sehr ähnliche Beeinflussungstypen auf und die GEBAH-Lagepunkte bewegen sich kaum. Teilweise sind die flacheren Messstellen etwas stärker mineralisiert oder weisen stärkere anthropogene Einflüsse auf.

In dieser Gruppe befinden sich 10 Messstellenstandorte.

Abb. 8.8 zeigt ein Beispiel einer Messstellengruppe in den ehemaligen Riesefeldern südlich Berlins. Dort sind je zwei Messstellen im Grundwasserleiterkomplex 1 und 2 ausgebaut. Die Grundwasserleiterkomplexe sind an dieser Stelle nicht durch einen Grundwasserhemmer getrennt, was die geringen Unterschiede zwischen den Grundwasserleiterkomplexen erklärt. Im Umfeld ist dieser Grundwasserhemmer jedoch meist verbreitet, was die Unterschiede zwischen den Grundwasserleiterkomplexen erklärt.

### Markante hydrochemische Unterschiede innerhalb der Grundwasserleiterkomplexe

Die größte Gruppe stellen Mehrfachmessstellen dar, bei denen sich innerhalb der Grundwasserleiterkomplexe deutliche Änderungen zwischen der oberen und unteren Messstelle abzeichnen, beziehungsweise bei denen sich bei mehr als zwei Messstellen im Grundwasserleiterkomplex ein Sprung in der Beschaffenheitsentwicklung zeigt. Dies geht häufig auf

- den Wegfall anthropogener Beeinflussungen (Beeinflussungstypen 1 bis 5) oder
- Redoxentwicklungen (Milieu in der Tiefe meist reduzierender)

zurück.

In dieser Gruppe befinden sich 19 Standorte.

Ein Beispiel für diese Gruppe findet sich in Abb. 8.9 (Messstellengruppe im Fläming). Die Filter im Grundwasserleiterkomplex 2 (MP1 und MP2) sind hier durch einen 8 m mächtigen Grundwasserhemmer getrennt. MP1 und MP2 scheinen hinsichtlich zahlreicher Beschaffenheitsparameter aber auch hinsichtlich der Beeinflussungstypen einen Übergang zwischen OP (Grundwasserleiterkomplex 1) und UP (Grundwasserleiterkomplex 3) zu vermitteln.

### Stetige oder komplexe Beschaffenheitsentwicklung im Grundwasserleiterkomplex

Mehrfachmessstellen in dieser Gruppe, mit mehr als zwei Messstellen pro Grundwasserleiterkomplex, zeigen zum Teil stetige (nicht sprunghafte, wie in der vorigen Gruppe) Beschaffenheitsentwicklungen, zum Beispiel ein mit der Tiefe zunehmend reduzierendes Milieu. Insbesondere bei den mit vielen Filtern ausgebauten Messstellen der ehemaligen Rieselfelder südlich Berlins zeigen sich auch etwas komplexere Beschaffenheitsprofile.

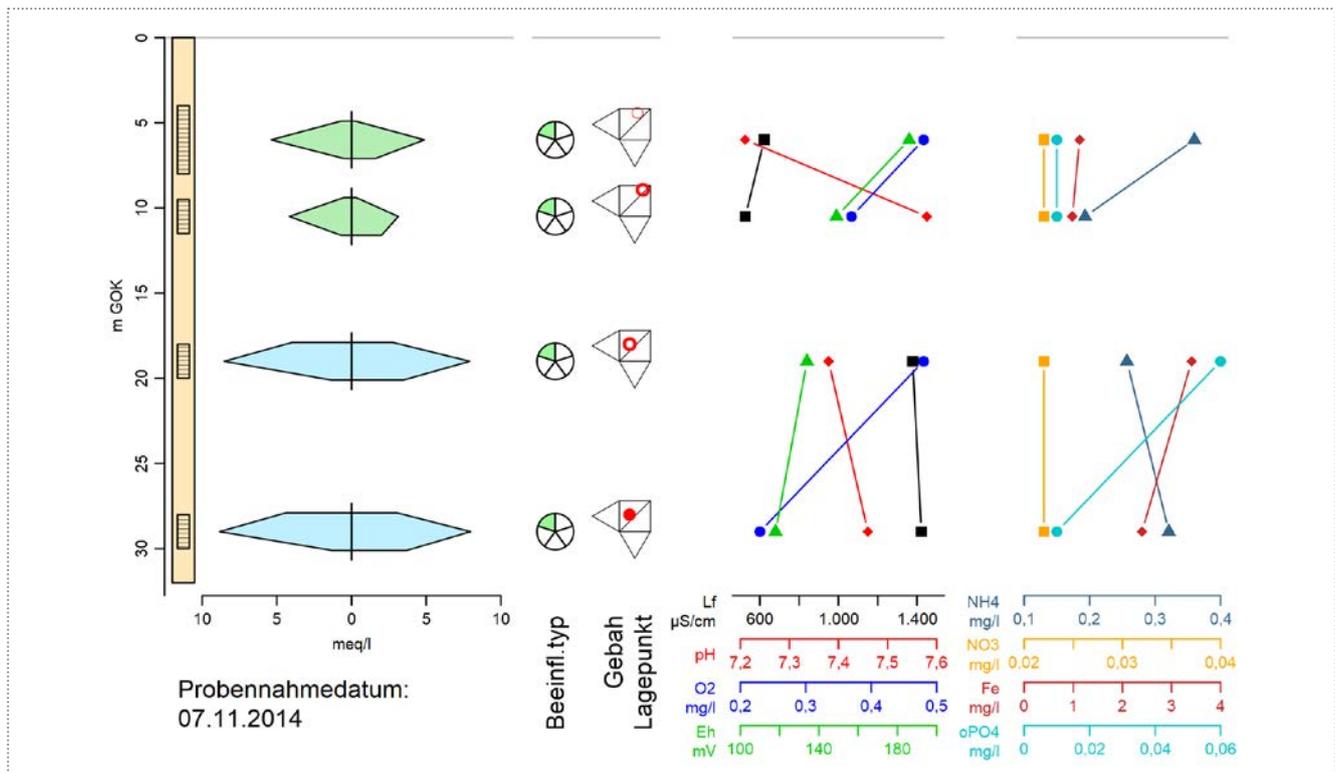


Abb. 8.8 Beschaffenheitsprofil einer Messstellengruppe im Bereich der ehemaligen Rieselfelder südlich Berlins mit geringen hydrochemischen Unterschieden innerhalb der Grundwasserleiterkomplexe

In dieser Gruppe befinden sich 10 Standorte (davon 6 auf den ehemaligen Rieselfeldern).

Die Messstellengruppe RF116/93 (ehemalige Rieselfelder, Abb. 8.10) zeigt als Beispiel eine deutliche Redoxentwicklung mit der Tiefe: bei kontinuierlich abnehmenden Werten für pH, Eh und Sauerstoff geht Nitrat zurück und Ammonium, Eisen und Mangan nehmen zu. Die Zunahme von Sulfat vor allem im MP3 („Ausbeulung“ unten rechts im Stiff-Diagramm) könnte auf

Sulfatfreisetzung bei der Denitrifikation (Pyritoxidation) hindeuten. Analysen von Uran liegen nicht vor. Im Profil sind noch weitere Muster hinsichtlich der vergangenen Belastung zu erkennen. Bor und LHKW finden sich hauptsächlich in MP2 bis UP, die auch alle den Beeinflussungstyp 1 *Schadstoffe* aufweisen. Die flachste untersuchte Messstelle (MP1) hat nur den Typ 5.1 *Anzeichen Schadstoffe* und ist deutlich geringer mineralisiert. Im Stiff-Diagramm zeigen sie auch niedrigere Anteile von Natrium, Chlorid und Sulfat.

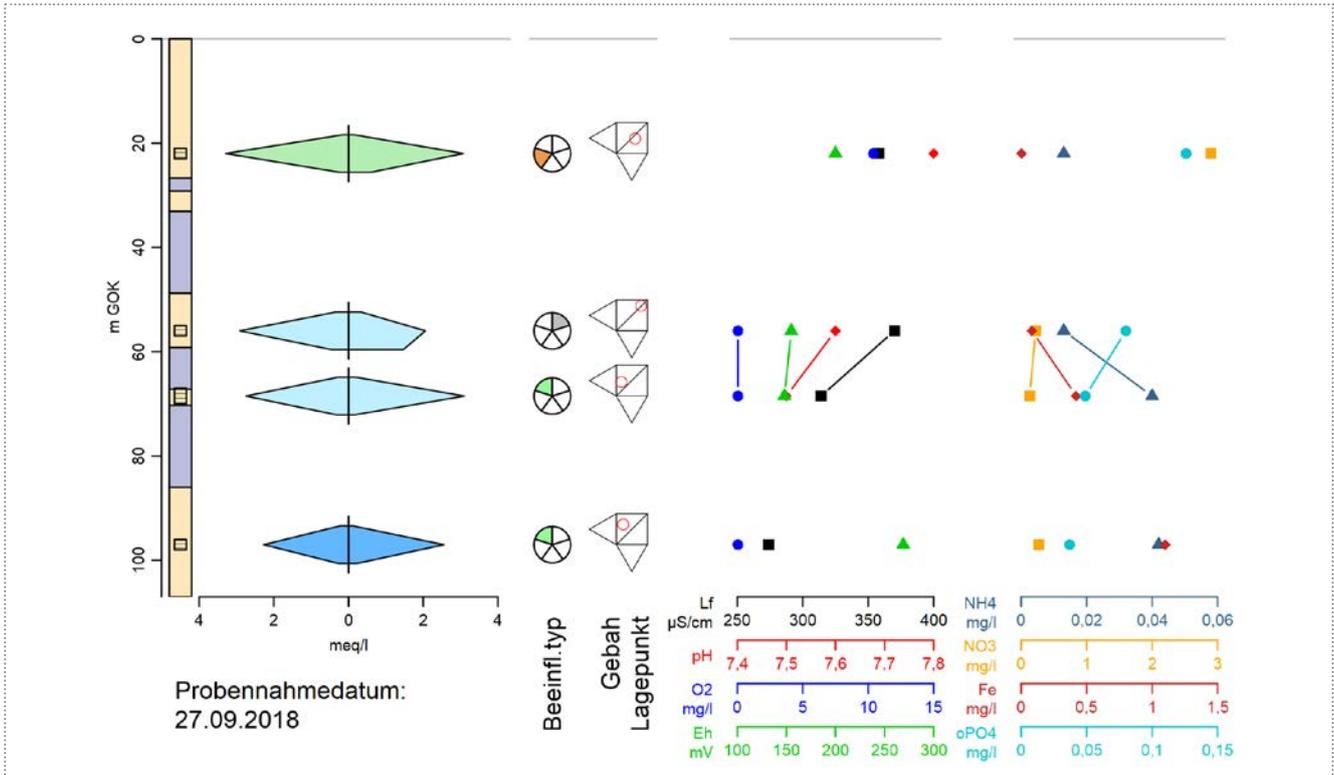


Abb. 8.9 Beschaffenheitsprofil einer Messstellengruppe im Fläming mit markanten hydrochemischen Unterschieden innerhalb des Grundwasserleiterkomplex

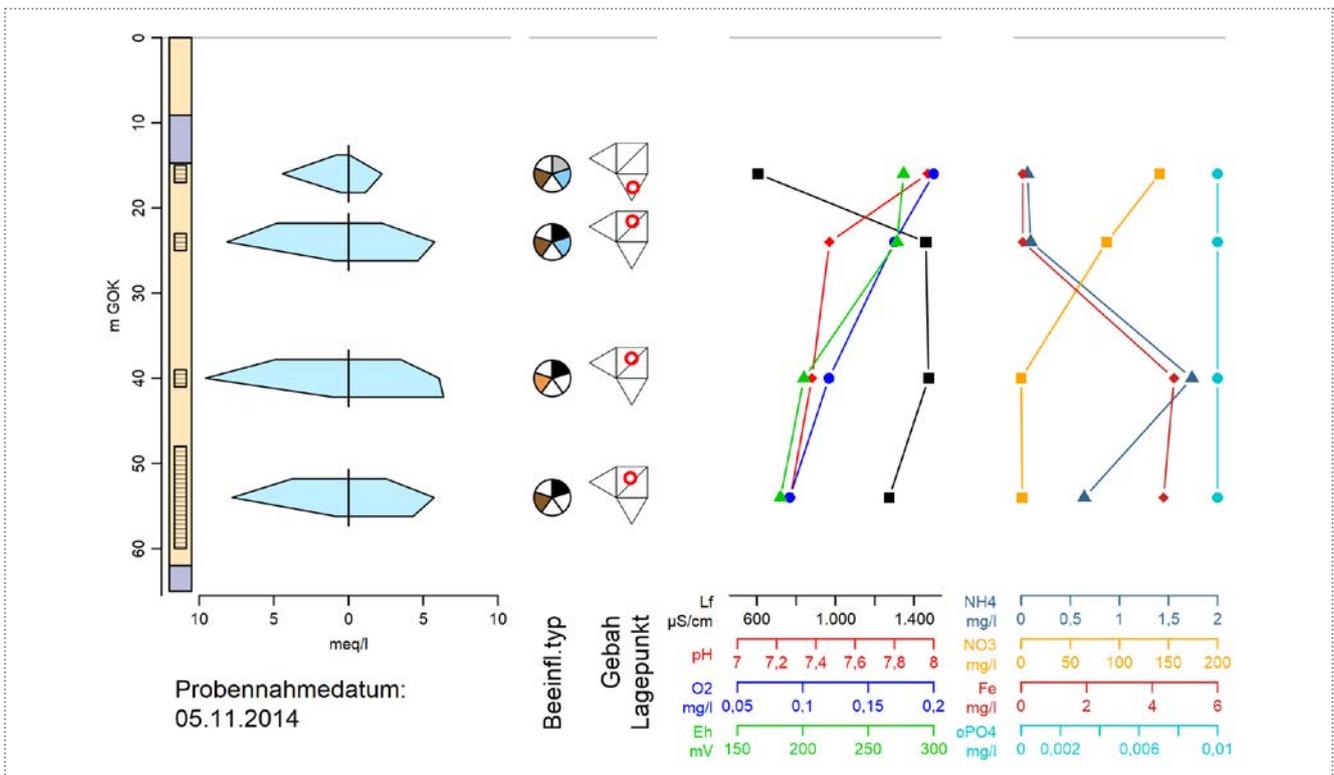


Abb. 8.10 Beschaffenheitsprofil einer Messstellengruppe im Bereich der ehemaligen Rieselfelder südlich Berlins mit komplexer Beschaffenheitsentwicklung innerhalb des Grundwasserleiterkomplex

# Literatur- und Quellenverzeichnis

- AfS Berlin-Brandenburg (2017): Statistischer Bericht C III 4–3j/16 Viehbestände im Land Brandenburg 1. März 2016. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg.
- Appelo, C. A. J.; Postma, D. (2005): *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2. Aufl.: Balkema.
- Beier, M. (2008): *Urbane Beeinflussung des Grundwassers: Stoffemissionen und -immissionen am Beispiel Darmstadts*. Dissertation. TU Darmstadt.
- BML Österreich (2015): *Urangehalte im Grundwasser – Bericht und Karte*. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus Österreich. Online verfügbar unter <https://info.bml.gv.at/themen/wasser/wasserqualitaet/uran-GW.html>.
- BbgWG: Brandenburgisches Wassergesetz (02.03.2012). Fundstelle: GVBl.I/12 Nr. 20, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Dezember 2017 (GVBl.I/17 Nr. 28).
- Brose, Dietmar (2017): *GEBAH – Eine Software für die konzentrationsunabhängige Früherkennung von Salzwasserintrusionen in Süßwasser führende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer*. In: *Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge* 24 (1/2), S. 69–82. Online verfügbar unter [https://lbgr.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/BGB-1-2\\_17\\_Brose\\_69-82.pdf](https://lbgr.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/BGB-1-2_17_Brose_69-82.pdf), zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- BTU Cottbus (2011): *Genetische Interpretation erhöhter Ammonium-Konzentrationen zur Überprüfung der Grundwassergüte und der Analyse anthropogener und geogener Einflüsse in den Grundwasserkörpern Oderbruch, Prenzlau, Schwedt und Schlepzig*. Teil A, Abschlussbericht. Brandenburgische Technische Universität Cottbus: Jahnke, Christoph. Cottbus (unveröffentlicht).
- BTU Cottbus (2013): *Genetische Interpretation erhöhter Ammonium-Konzentrationen zur Überprüfung der Grundwassergüte und der Analyse anthropogener und geogener Einflüsse in den Grundwasserkörpern Oderbruch, Prenzlau, Schwedt und Schlepzig*. Teil C, Bewertung im Landesmaßstab. Brandenburgische Technische Universität Cottbus: Jahnke, Christoph. Cottbus (unveröffentlicht).
- BVL (2020): *Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland, Ergebnisse der Meldungen gemäß § 64 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2018; (korrigierte Version März 2020)*. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit.
- WRRL: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie). Europäische Gemeinschaft (23.10.2000), Fassung vom 23.10.2000.
- GWRL: Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (Grundwasserrichtlinie, Tochterrichtlinie der Wasserrahmenrichtlinie). Europäische Gemeinschaft (12.12.2006), Fassung vom 12.12.2006.
- Kubier, Andreas; Budziak, Dörte; Vries, Dieter de; Elbracht, Jörg; Hamer, Kay; Pichler, Thomas (2020): *Cadmium im Grundwasser Nordwestdeutschlands – Herkunft, Mobilisierung und Bewertung nach EU-Wasserrahmenrichtlinie*. In: *Grundwasser und Flusseinzugsgebiete – Prozesse, Daten und Modelle*. Tagung der FH-DGGV. Leipzig (Schriftenreihe der FH-DGGV, 2). Online verfügbar unter <https://link.springer.com/article/10.1007/s00767-021-00488-w>.
- Kümmerer, Klaus (2001): *Arzneimittel, Diagnostika und Desinfektionsmittel in der Umwelt – Beurteilung und Risikomanagement*. In: *Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie* 13 (5), S. 269–276. Online verfügbar unter <https://enveurope.springeropen.com/counter/pdf/10.1065/uwsf2001.08.062.pdf>.
- Kunkel, Ralf; Hannappel, Stephan; Voigt, Hans-Jürgen; Wendland, Frank (2002): *Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit ausgewählter hydrostratigrafischer Einheiten in Deutschland*. Endbericht zum FuE-Vorhaben im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser und Boden“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2006): *2. Bericht zum Sondermessprogramm Arzneistoffe im Grundwasser, in Fließgewässern und in Zu- und Abläufen von kommunalen Kläranlagen des Landes Sachsen-Anhalt (Zeitraum 2004 bis 2005)*, 2006
- Landtag Brandenburg (2012): *Antwort der Landesregierung auf die Kleine Anfrage 2053, Drucksache 5/5853. Rückstände des Wirkstoffs Glyphosat in Lebens- und Futtermitteln sowie im Wasser durch Sikkation (Reifebeschleunigung von Feldfrüchten durch Pestizideinsatz)*. Online verfügbar unter [https://www.parlamentsdokumentation.brandenburg.de/starweb/LBB/ELVIS/parladoku/w5/drs/ab\\_5800/5853.pdf](https://www.parlamentsdokumentation.brandenburg.de/starweb/LBB/ELVIS/parladoku/w5/drs/ab_5800/5853.pdf).

- LAWA (1993): Grundwasser – Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 3 – Grundwasserbeschaffenheit. Grundwasserrichtlinie 3/93. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Online verfügbar unter [https://www.lawa.de/documents/grundwasser\\_richtlinien\\_beobachtung\\_auswertung\\_teil\\_3\\_grundwasserbeschaffenheit\\_1993\\_1552306535.pdf](https://www.lawa.de/documents/grundwasser_richtlinien_beobachtung_auswertung_teil_3_grundwasserbeschaffenheit_1993_1552306535.pdf), zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- LAWA (2016): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. Aktualisierte und überarbeitete Fassung. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Stuttgart. Online verfügbar unter [https://www.lawa.de/documents/geringfuegigkeits\\_beicht\\_seite\\_001-028\\_1552302313.pdf](https://www.lawa.de/documents/geringfuegigkeits_beicht_seite_001-028_1552302313.pdf), zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- LAWA (2019): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit – Pflanzenschutzmittel – Berichtszeitraum 2013 bis 2016. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser.
- LfU Bayern (2012): UmweltWissen – Schadstoffe, Ammoniak und Ammonium. Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- LfU Brandenburg (2015a): Prüfwerte Grundwasser des Landesamts für Umwelt Brandenburg, 2015. Interne Dokumentation.
- LfU Brandenburg (2015b): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit im Land Brandenburg 2006–2012. Landesamt für Umwelt Brandenburg.
- LfU Brandenburg (2019): Mittlere Abflussspende für die Zeitreihe 1986–2015, Wasserhaushaltsmodell Bagluva. Landesamt für Umwelt Brandenburg; Wieneke, Stefan. Online verfügbar unter <https://data.geobasis-bb.de/geofachdaten/Wasser/Wasserhaushalt/bagluva.zip>.
- LfU Brandenburg (2022): Auskunftsplattform Wasser – Thematische Karten – 3.1 Grundwasserisolinien 2015 Frühjahr. Landesamt für Umwelt Brandenburg. Online verfügbar unter [https://apw.brandenburg.de/?feature=showNodesInTree\[256.399,256.444,256.411,256.445\],true&th=GW\\_ISO\\_15F](https://apw.brandenburg.de/?feature=showNodesInTree[256.399,256.444,256.411,256.445],true&th=GW_ISO_15F), zuletzt geprüft am 21.03.2024.
- LfU Brandenburg (2023): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Beiträge des Landes Brandenburg zu den Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder für den Zeitraum 2016–2021. Landesamt für Umwelt Brandenburg. (in Vorbereitung).
- LHW Sachsen-Anhalt (2012): Bericht zur Beschaffenheit des Grundwassers in Sachsen-Anhalt 2001–2010. Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt. Online verfügbar unter [https://lhw.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/Landesbetriebe/LHW/neu\\_PDF/5.0\\_GLD/Dokumente\\_GLD/Berichte\\_Dokumente\\_GW/GW\\_Guetebericht\\_ST\\_2001-2010\\_.pdf](https://lhw.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/Landesbetriebe/LHW/neu_PDF/5.0_GLD/Dokumente_GLD/Berichte_Dokumente_GW/GW_Guetebericht_ST_2001-2010_.pdf), zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- Licha, T. (2011): Spurenorganika im Grundwasser – neue Perspektiven in der Hydrogeologie. Vortrag HLOG-Seminar Altlasten und Schadensfälle. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wetzlar, 25.05.2011. Online verfügbar unter [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/Archiv/Seminar2011/Licha\\_Spurenorganika\\_im\\_Grundwasser\\_HLOG-Seminar\\_5-2011.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/Archiv/Seminar2011/Licha_Spurenorganika_im_Grundwasser_HLOG-Seminar_5-2011.pdf)
- LUBW (2020): Grundwasserüberwachungsprogramm – Ergebnisse 2018 und 2019. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10189>, zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- Manhenke, Volker (2002): Hydrostratigrafische Gliederung der känozoischen Lockergesteine von Brandenburg. In: *Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge* 9 (1/2), S. 59–64.
- Manhenke, Volker; Hannemann, Martin; Rechlin, Berthold (1995): Gliederung und Bezeichnung der Grundwasserleiterkomplexe im Lockergestein des Landes Brandenburg. Kurzmittteilung. In: *Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge* 2 (1), S. 12.
- Merkel, Broder; Sperling, Barbara (1996): Hydrochemische Stoffsysteme Teil 1: DVKW Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau.
- Merten, Oliver (2003): Versauerungserscheinungen in quartären Lockergesteinsgrundwasserleitern unter besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Stoffeinträge. Dissertation. BTU Cottbus, Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik; Landesumweltamt Brandenburg. Potsdam (Studien und Tagungsberichte, 45). Online verfügbar unter <https://opus4.kobv.de/opus4-slbp/frontdoor/index/index/year/2015/docId/4683>, zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- MLUK Brandenburg (2022): Plausibilitätsprüfung von Grundwasseranalysen. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg (Fachbeiträge des Landesumweltamtes Brandenburg, 163). Online verfügbar unter <https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/fachbeitrag-163.pdf>, zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- Rechlin, Berthold (2008): Eine Methode zur konzentrationsunabhängigen Früherkennung von Salzwasserintrusionen in süßwasserführende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer. In: *Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge* 15 (1/2), S. 57–68.
- Reddersen, Kirsten (2004): Das Verhalten von Arzneimittelrückständen im Wasserkreislauf Berlins. Dissertation. Technische Universität Berlin.
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (Hg.) (2015): Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem. Online verfügbar unter [https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02\\_Sondergutachten/2012\\_2016/2015\\_01\\_SG\\_Stickstoff\\_HD.html](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2012_2016/2015_01_SG_Stickstoff_HD.html).

- Schenke, U. (2016): Hydrochemische Klassifizierung der anthropogenen und geogenen Beeinflussung des oberflächennahen Grundwassers im Bundesland Brandenburg. Masterarbeit. Universität Potsdam
- Senator für Umwelt, Bau und Verkehr Bremen (2013): Grundwassergütebericht der Freien Hansestadt Bremen 2013. Online verfügbar unter [https://umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/GW-Bericht\\_I\\_neu.pdf](https://umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/GW-Bericht_I_neu.pdf), zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- Stackebrandt, Werner; Andreae, Anneliese; Strahl, Jaqueline (2010): Atlas zur Geologie von Brandenburg. 4. Aufl.
- Umweltbundesamt (2003): Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit beim Umweltbundesamt. In: *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* (46), S. 249–251. DOI: 10.1007/s00103-002-0576-7.
- Umweltbundesamt (2008): Trinkwasserhygienische Bewertung stoffrechtlich nicht relevanter Metaboliten von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser. Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit beim Umweltbundesamt. In: *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 51, S. 797–801. DOI: 10.1007/s00103-008-0589-3.
- Umweltbundesamt (2014): Arzneimittel in der Umwelt – vermeiden, reduzieren, überwachen (Hintergrundpapier). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/arzneimittel-in-der-umwelt-vermeiden-reduzieren>, zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- Umweltbundesamt (2019): Liste der nach GOW bewerteten Stoffe. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/liste\\_der\\_nach\\_gow\\_bewerteten\\_stoffe\\_201903-1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/liste_der_nach_gow_bewerteten_stoffe_201903-1.pdf), zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- Umweltbundesamt (2020): Umweltbundesamt (2020): Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für nicht relevante Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln (PSM) Fortschreibungsstand: November 2021. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5620/dokumente/gowpflanzenschutzmetabolite-20211109\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5620/dokumente/gowpflanzenschutzmetabolite-20211109_0.pdf), zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- Umweltbundesamt (2021): Arzneimittel. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/arzneimittel>, zuletzt aktualisiert am 16.12.2021, zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- TrinkwV: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung) (21.05.2001). Fundstelle: Bekanntmachung vom 10.03.2016 (BGBl. I S. 459), zuletzt geändert durch Artikel 99 der Verordnung vom 19.07.2020 (BGBl. I S. 1328).
- GrwV: Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung) (09.11.2010). Fundstelle: BGBl. I S. 1513, zuletzt geändert 04.05.2017 (BGBl. I S. 1044).
- Wolter, Rüdiger (2014): Die Belastungen des Grundwassers mit Spurenstoffen in Deutschland. Probennehmertage 2014. Neuseddin, 21.11.2014.

# Anhang

## Anhang 1 Übersicht der in den einzelnen Auswertungen betrachteten Parameter

Parametergruppe	Parameter	Häufigkeitsverteilungen	Statist. Kennw.	Spannweiten-diagramme	Trend-analyse	Überschreitung BW
<b>Vor-Ort-Parameter</b>	Leitfähigkeit PN (25°C)	x	x	x		x
	pH-Wert	x	x	x		x
	Sauerstoff	x	x	x		x
	Redoxpotential	x	x	x		x
<b>Hauptinhaltsstoffe</b>	Natrium	x	x	x		x
	Kalium	x	x	x	x	x
	Calcium	x	x	x		
	Magnesium	x	x	x		
	Ammonium	x	x	x	x	x
	Chlorid	x	x	x	x	x
	Hydrogenkarbonat	x	x	x		
	Sulfat	x	x	x	x	x
	Nitrat	x	x	x	x	x
	Nitrit	x	x	x	x	x
	Phosphat-ortho	x	x	x	x	x
	Phosphor gesamt	x	x	x		x
	Bromid gesamt		x	x		
	Fluorid	x	x	x		x
Silikat	x	x	x			
<b>Halbmetalle</b>	Bor gesamt	x	x	x	x	x
	Arsen gesamt	x	x	x	x	x
<b>Metalle</b>	Eisen gelöst	x	x	x	x	x
	Eisen gesamt	x	x	x		x
	Mangan gelöst	x	x	x	x	x
	Mangan gesamt	x	x	x		x
	Aluminium gesamt	x	x	x		x
	Barium gesamt		x	x		x
	Blei gesamt	x	x	x	x	x
	Cadmium gesamt	x	x	x	x	x
	Chrom gesamt	x	x	x		x
	Kupfer gesamt	x	x	x		x
	Nickel gesamt	x	x	x		x
	Quecksilber gesamt	x	x	x	x	x
	Uran gesamt	x	x	x	x	x
	Zink gesamt	x	x	x		x
<b>Summenparameter</b>	AOX	x	x	x		
	TOC	x	x	x		
	DOC	x	x	x		

Parametergruppe	Parameter	Häufigkeitsverteilungen	Statist. Kennw.	Spannweiten-diagramme	Trend-analyse	Überschreitung BW
<b>Arzneistoffe</b>	Ibuprofen		x	x		
	Diclofenac		x	x		
	Bezafibrat		x	x		
	Clofibrinsäure		x	x		
	Carbamazepin		x	x		
	Primidon		x	x		
<b>LHKW, Aromaten</b>	Dichlormethan		x	x		
	Trichlormethan		x	x		
	Tetrachlormethan		x	x		
	1,2-Dichlorethan		x	x		
	1,1,1-Trichlorethan		x	x		
	1,1,2-Trichlorethan		x	x		
	Vinylchlorid		x	x		
	1,2-Dichlorethen-cis		x	x		
	1,2-trans-Dichlorethen		x	x		
	Trichlorethen (TCE)	x	x	x	x	
	Tetrachlorethen (PCE)	x	x	x	x	
	Summe PCE+TCE	x	x	x	x	x
	Summe LHKW		x	x		x
	Cumol		x	x		x
Hexachlorbutadien		x	x		x	
<b>BTEX</b>	Benzol		x	x		
	Toluol		x	x		
	Ethylbenzol		x	x		
	Xylole		x	x		
	Summe BTEX		x	x		x
<b>PAK</b>	Fluoranthren		x	x		
	Benzo-(a)-Anthracen		x	x		
	Benzo-(b)-Fluoranthren		x	x		
	Benzo-(k)-Fluoranthren		x	x		
	Benzo-(a)-Pyren		x	x		
	Indeno-(1,2,3-cd)-Pyren		x	x		
	Benzo-(ghi)-Perylen		x	x		
	Dibenz-(a,h)-Anthracen		x	x		
	Naphthalin		x	x		
	Acenaphthylen		x	x		
	Acenaphthen		x	x		
	Fluoren		x	x		
	Phenanthren		x	x		
	Anthracen		x	x		
	Pyren		x	x		
	Chrysen		x	x		
Summe PAK		x	x		x	
<b>PSM-Summe</b>	Summe PSM-Wirkstoffe und relevante Metabolite	x	x	x		

Parametergruppe	Parameter	Häufigkeitsverteilungen	Statist. Kennw.	Spannweiten-diagramme	Trend-analyse	Überschreitung BW
<b>PSM 1a: Chlororganika</b>	DDT-p,p					
	DDE-p,p					
	DDD-p,p					
	Endosulfan, alpha					
	Endosulfan, beta					
	HCH, alpha					
	Aldrin					
	Heptachlor					
<b>PSM 1b: Phosphor-säureester</b>	Azinphos-ethyl					
	Azinphos-methyl					
	Dimethoat					
	Parathion-ethyl					
	Parathion-methyl					
	Trifluralin					
	Dichlorvos					
	Fenitrothion					
	Malathion					
<b>PSM 2: Saure Herbizide (Phenoxy-carbonsäuren)</b>	2,4-D-Säure					
	2,4-DB		x	x		x
	2,4,5-T-Säure					
	2,4,5-TP					
	Dichlorprop					
	Mecoprop		x	x		x
	MCPA					
	MCPB					
	Bentazon		x	x		x
	Bromoxynil					
	Fluroxypyr		x	x		x
	Quinmerac		x	x		x
<b>PSM 3: Triazine und Phenylharn- stoffe</b>	Atrazin		x	x		x
	Desethylatrazin		x	x		x
	Desisopropylatrazin		x	x		x
	Simazin		x	x		x
	Metribuzin					
	Terbuthylazin		x	x		x
	Terbutryn		x	x		x
	Desethylterbuthylazin		x	x		x
	Chloridazon					
	Chlortoluron		x	x		x
	Diuron		x	x		x
	Isoproturon		x	x		x
	Dimethachlor		x	x		x
	Metazachlor		x	x		x
	Metolachlor		x	x		x
Fenuron		x	x		x	

Parameter- gruppe	Parameter	Häufigkeits- verteilungen	Statist. Kennw.	Spannweiten- diagramme	Trend- analyse	Überschreitung BW
	Pirimicarb		x	x		x
	Diflufenican		x	x		x
	Pendimethalin		x	x		x
	Metamitron		x	x		x
<b>PSM 4: Metabolite der Triazine und Phenyl- harnstoffe</b>	Desphenyl-Chloridazon		x	x		x
	Methyl-Desphenyl- Chloridazon		x	x		x
	Dimethachlorsäure		x	x		x
	Dimethachlorsulfon- säure		x	x		x
	Dimethachlor-Metabolit 369873		x	x		x
	Dimethachlor-Metabolit 373464		x	x		x
	2,6-Dichlorbenzamid		x	x		x
	Metazachlorsäure		x	x		x
	Metazachlorsulfonsäure		x	x		x
	S-Metolachlorsäure		x	x		x
	S-Metolachlorsulfon- säure		x	x		x
	S-Metolachlor-Metabolit NOA 413173		x	x		x
	S-Metolachlor-Metabolit 357704		x	x		x
	S-Metolachlor-Metabolit 368208		x	x		x
<b>PSM 5: Glyphosat</b>	Glyphosat		x	x		x
	AMPA		x	x		x

## Anhang 2 Beurteilungswerte und Hintergrundwerte (HGW) nach HÜK200

(SW: Schwellenwert der GrwV (2017), GFS: Geringfügigkeitsschwellenwert der LAWA (2016), GW: Grenzwert der TrinkwV (2018), GOW: Gesundheitlicher Orientierungswert des UBA (2020), PW: Prüfwert des LfU Brandenburg (2015), HGW: Hintergrundwerte nach HÜK200)

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	GOW	PW	HGW
Elektr. Leitfähigkeit PN (25 °C)	µS/cm			2.790		800	224 – 549
pH-Wert				6,5/9,5			6,63 – 7,52
Sauerstoff	mg/l						
Redoxpotential	mV						
Natrium	mg/l			200			10,8 – 20,4
Kalium	mg/l					7	1,81 – 3,99
Calcium	mg/l						29,7 – 102
Magnesium	mg/l						5,64 – 14,3
Ammonium	mg/l	0,5		0,5		0,5	0,112 – 0,301
Chlorid	mg/l	250	250	250		50	18,8 – 35,1
Hydrogenkarbonat	mg/l						62,2 – 279
Sulfat	mg/l	250	250	250		130	40,1 – 130
Nitrat	mg/l	50		50		2	
Nitrit	mg/l	0,5		0,5			
Phosphat-ortho	mg/l	0,5				0,3	0 – 0,121
Phosphor gesamt	mg/l					0,3	
Bromid	µg/l						0 – 0,0465
Fluorid	µg/l		750	1.500			0 – 0,152
Siliciumdioxid	µg/l						11,1 – 17,9
Bor	µg/l		180	1.000		150	8,41 – 62,5
Eisen	mg/l			0,2			0,495 – 4,58
Mangan	mg/l			0,05			0,0995 – 0,507
Aluminium	µg/l			200			0 – 30
Arsen	µg/l	10	3,2	10			0,32 – 0,688
Barium	µg/l		175				
Blei	µg/l	10	1,2	10			0,0353 – 0,419
Cadmium	µg/l	0,5	0,3	3			0 – 0,804
Chrom	µg/l		3,4	50			
Kupfer	µg/l		5,4	2.000			0,0429 – 1,79
Nickel	µg/l		7	20			0,0598 – 4,08
Quecksilber	µg/l	0,2	0,1	1			0 – 0,0156
Uran	µg/l			10			0 – 0,198
Zink	µg/l		60				0,18 – 17,1
Summe LHKW	µg/l		20	10			
Tri- + Tetrachlorethen	µg/l	10	10	10			
Vinylchlorid	µg/l		0,5	0,5			
Summe BTEX	µg/l		20				
Summe PAK	µg/l		0,2 <sup>1</sup>	0,1 <sup>2</sup>			
Pflanzenschutzmittel Einzelstoff	µg/l	0,1	0,1	0,1			
Pflanzenschutzmittel relevanter Metabolit	µg/l	0,1	0,1	0,1			
Pflanzenschutzmittel nicht relevanter Metabolit	µg/l				1,0/3,0		
Summe Pflanzenschutzmittel	µg/l	0,5	0,5	0,5			
Summe Pflanzenschutzmittel	µg/l	0,5	0,5	0,5			

<sup>1</sup> nach EPA ohne Naphtalin

<sup>2</sup> nur Benzo-(b)-fluoranthen, Benzo-(k)-fluoranthen, Benzo-(ghi)-perylen und Indeno-(1,2,3-cd)-pyren

## Anhang 3 Versauerungskriterien nach Merten für die Beeinflussungstypen

Versauerungskriterien nach Merten<sup>1</sup> und Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit 2006–2012<sup>2</sup> /2/, Abschnitt 9.2.4. Sofern keine Einheiten angegeben sind, sind Äquivalentkonzentrationen (mmol(eq)/l) zu verwenden.

Kriterien (Verwendung Mittelwert aktuellste 2 Analysen)	Bewertung	Punkte
pH < 7 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> < 1,5	ggf. Hinweis auf Versauerung	0,5
6,5 < pH < 7 Al > 10 µg/l	ggf. Hinweis auf Versauerung	0,2
pH < 6,5 Al > 10 µg/l	Hinweis auf Versauerung	1
(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )/ΣAnionen > 65 %	mit hoher Wahrscheinlichkeit liegt Versauerung vor	1
pH < 6,5 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /ΣAnionen > 50 % SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Fe ≥ 30	Hinweis auf Versauerung	0,5
pH < 6,5 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /ΣAnionen > 50 % 5 ≤ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Fe < 30	Versauerung (teilweise Pyritverwitterung möglich)	1
pH < 6,5 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /ΣAnionen > 50 % SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Fe < 5	starke Versauerung (Pyritverwitterung hochwahrscheinlich)	3

Zusätzliche Versauerungskriterien für den Beeinflussungstyp 5.3 „Anzeichen Versauerung“, angepasst nach Tab. 5.2 in <sup>3</sup>. Sofern keine Einheiten angegeben sind, sind Äquivalentkonzentrationen (mmol(eq)/l) zu verwenden.

Kriterien (Verwendung Mittelwert aktuellste 2 Analysen)	Bezeichnung in <sup>5</sup>	Punkte
6,5 ≤ pH ≤ 7 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /ΣAnionen > 50 %	A	0,5
6,5 ≤ pH ≤ 7 (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )/ΣAnionen > 65 %	B	0,5
6,5 ≤ pH ≤ 7 Cl <sup>-</sup> > 50 mg/l und K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup> > 0,1	C	1
6,5 ≤ pH ≤ 7 Cl <sup>-</sup> < 50 mg/l	C	1

*Kriterium C dient dem Ausschluss von Messstellen, die möglicherweise von geogener Versalzung beeinflusst sind.*

1 Merten, O. (2003):  
Versauerungserscheinungen in quartären Lockergesteinsgrundwasserleitern unter besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Stoffeinträge. Dissertation BTU Cottbus. Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam. *Studien und Tagungsberichte* 45, 2003. Online verfügbar unter <https://opus4.kobv.de/opus4-slbp/frontdoor/index/index/year/2015/docId/4683>, zuletzt geprüft am 20.05.2021

2 Dinse, S.; Hecht, A.; Schmidt, K.; Ziesche, M. (2015):  
Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit 2006–2012 des Landes Brandenburg. GCI GmbH, Königs Wusterhausen, 18.03.2015

3 Schenke, U. (2016):  
Hydrochemische Klassifizierung der anthropogenen und geogenen Beeinflussung des oberflächennahen Grundwassers im Bundesland Brandenburg. Masterarbeit. Universität Potsdam

## Anhang 4 Kennwerttabellen

### Anhang 4.1 Ammonium

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Messwerte, die die o. g. Beurteilungswerte überschreiten, werden in der entsprechenden Farbe markiert. Die Priorität der Beurteilungswerte und der zugehörigen Einfärbung nimmt von links nach rechts ab.									
		GrwV (2017)	LAWA (2016)	TrinkwV (2018)	LfU (2015)	HÜK200 (2014)										
Ammonium	mg/l	0,5		0,5	0,5	0,54 – 1,02										
Statistische Kennwerte ohne Sondermessnetz WRRL-Bergbau und Landesmessnetz Salz																
	alle Mst.	Grundwasserleiterkomplex			Filterlage (FOK unter GOK)					Beeinflussungstyp						
		GWLK 1	GWLK 2	GWLK 3	≤ 5 m	5 – 10 m	10 – 25 m	25 – 50 m	> 50 m	1 Schadst.	2 PSM	3 Ver-sauer.	4 Nährst.	6 geog. sal.	7 un-beeinfl.	
Anzahl Mst. ges.	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110	
Anzahl unters. Mst.	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110	
Anzahl Mst. immer <BG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Anteil Mst. immer <BG (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Mst. mind. 1 Wert >BG	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110	
Mst. mind. 1 Wert >BG (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Anzahl Messw.	5243	3611	1420	212	721	1558	1492	793	282	204	413	166	2144	89	992	
Anzahl <BG	120	97	22	1	14	30	46	18	2	9	3	6	64	2	8	
Anteil <BG (%)	2,3	2,7	1,5	0,5	1,9	1,9	3,1	2,3	0,7	4,4	0,7	3,6	3,0	2,2	0,8	
Min.	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,007	0,003	0,005	0,005	0,003	0,003	0,003	
5. Perzentil	0,019	0,016	0,031	0,052	0,015	0,017	0,019	0,026	0,052	0,013	0,026	0,023	0,013	0,03	0,045	
10. Perzentil	0,039	0,033	0,052	0,064	0,028	0,039	0,037	0,052	0,064	0,018	0,039	0,064	0,026	0,043	0,064	
25. Perzentil	0,077	0,075	0,09	0,10	0,077	0,077	0,071	0,082	0,10	0,068	0,077	0,121	0,064	0,077	0,10	
Median	0,17	0,17	0,17	0,225	0,17	0,19	0,14	0,14	0,24	0,171	0,16	0,23	0,138	0,13	0,18	
Mittelw.	0,785	0,525	1,47	0,648	0,484	1,25	0,339	0,682	1,34	0,701	0,541	0,484	1,33	0,676	0,337	
75. Perzentil	0,49	0,49	0,46	1,0	0,486	0,53	0,36	0,44	0,758	0,54	0,45	0,483	0,49	0,39	0,42	
90. Perzentil	1,2	1,34	0,965	1,5	1,17	1,74	0,67	1,01	1,39	1,55	1,2	1,33	1,9	2,81	0,809	
95. Perzentil	2,2	2,3	1,6	2,16	1,92	2,65	1,16	1,43	2,3	4,59	2,38	1,76	4,23	3,35	1,15	
Max.	143	15	143	6,7	11	143	11	28	36	7,52	11	5,26	143	8,21	2,8	
Stdabw.	5,04	1,05	9,5	0,83	0,962	8,71	0,713	2,79	4,46	1,4	1,15	0,753	7,82	1,32	0,406	
Bestimmungsgrenzen	0,005; 0,01; 0,013; 0,026; 0,05	0,005; 0,01; 0,013; 0,026; 0,05	0,005; 0,01; 0,013; 0,026	0,005	0,005; 0,01; 0,026	0,005; 0,01; 0,013; 0,026; 0,05	0,005; 0,01; 0,013; 0,026; 0,05	0,005; 0,01; 0,013; 0,026	0,005; 0,01; 0,013; 0,026	0,013; 0,026	0,005	0,01; 0,013	0,01; 0,013; 0,026	0,005; 0,01; 0,013; 0,026	0,005	0,005; 0,01; 0,013; 0,026; 0,05

## Anhang 4.2 Chlorid

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Messwerte, die die o. g. Beurteilungswerte überschreiten, werden in der entsprechenden Farbe markiert. Die Priorität der Beurteilungswerte und der zugehörigen Einfärbung nimmt von links nach rechts ab.								
		GrwV (2017)	LAWA (2016)	TrinkwV (2018)	LfU (2015)	HÜK200 (2014)									
<b>Chlorid</b>	mg/l	250	250	250	50	40,7 – 91,6									
<b>Statistische Kennwerte ohne Sondermessnetz WRRL-Bergbau und Landesmessnetz Salz</b>															
	alle Mst.	Grundwasserleiterkomplex			Filterlage (FOK unter GOK)					Beeinflussungstyp					
		GWLK 1	GWLK 2	GWLK 3	≤ 5 m	5 – 10 m	10 – 25 m	25 – 50 m	> 50 m	1 Schadst.	2 PSM	3 Ver-sauer.	4 Nährst.	6 geog. sal.	7 un-beeinfl.
<b>Anzahl Mst. ges.</b>	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
<b>Anzahl unters. Mst.</b>	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
<b>Anzahl Mst. immer &lt;BG</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Anteil Mst. immer &lt;BG (%)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Mst. mind. 1 Wert &gt;BG</b>	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
<b>Mst. mind. 1 Wert &gt;BG (%)</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
<b>Anzahl Messw.</b>	5245	3613	1420	212	721	1558	1494	793	282	204	413	166	2144	89	992
<b>Anzahl &lt;BG</b>	4	3	0	1	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	3
<b>Anteil &lt;BG (%)</b>	0,1	0,1	0,0	0,5	0,0	0,1	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
<b>Min.</b>	1,15	1,15	2,01	1,5	1,23	1,15	1,5	3,43	1,5	10	1,24	1,51	1,23	37	1,15
<b>5. Perzentil</b>	5,95	6,93	5,54	3,92	4,34	9,07	6,42	5,66	3,53	20	9,52	2,57	7,84	45	4,4
<b>10. Perzentil</b>	8,66	11	7,13	5,05	8,7	12	9,75	7,02	4,25	29	13	5,81	13	51	5,9
<b>25. Perzentil</b>	16	20	12	7,66	17	22	18	11	6,29	44	19	11	22	76	10,0
<b>Median</b>	33	35	27	11	33	38	32	20	15	76	32	28	35	169	21
<b>Mittelw.</b>	47	50	43	22	45	54	43	34	20	83	38	42	47	193	30
<b>75. Perzentil</b>	56	57	59	39	60	58	54	49	32	123	48	49	57	245	37
<b>90. Perzentil</b>	95	94	105	47	98	97	96	74	46	135	70	100	91	323	72
<b>95. Perzentil</b>	128	131	128	55	130	132	125	122	49	142	90	137	117	534	100
<b>Max.</b>	1035	1035	363	62	275	1035	363	167	76	189	174	363	598	598	166
<b>Stdabw.</b>	61	67	45	17	41	78	39	34	17	42	26	54	49	135	30
<b>Bestimmungsgrenzen</b>	3	3	–	3	–	3	3	–	3	–	–	–	–	–	3

### Anhang 4.3 Leitfähigkeit PN (25°C)

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Messwerte, die die o. g. Beurteilungswerte überschreiten, werden in der entsprechenden Farbe markiert. Die Priorität der Beurteilungswerte und der zugehörigen Einfärbung nimmt von links nach rechts ab.								
		GrwV (2017)	LAWA (2016)	TrinkwV (2018)	LfU (2015)	HÜK200 (2014)									
<b>Leitfähigkeit PN (25°C)</b>	µS/cm			2790	800	504–976									
<b>Statistische Kennwerte ohne Sondermessnetz WRRL-Bergbau und Landesmessnetz Salz</b>															
	alle Mst.	Grundwasserleiterkomplex			Filterlage (FOK unter GOK)					Beeinflussungstyp					
		GWLK 1	GWLK 2	GWLK 3	≤ 5 m	5–10 m	10–25 m	25–50 m	> 50 m	1 Schadst.	2 PSM	3 Ver-sauer.	4 Nährst.	6 geog. sal.	7 un-beinfl.
<b>Anzahl Mst. ges.</b>	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
<b>Anzahl unters. Mst.</b>	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
<b>Anzahl Mst. immer &lt;BG</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Anteil Mst. immer &lt;BG (%)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Mst. mind. 1 Wert &gt;BG</b>	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
<b>Mst. mind. 1 Wert &gt;BG (%)</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
<b>Anzahl Messw.</b>	5241	3610	1419	212	721	1557	1491	793	282	204	413	166	2144	89	992
<b>Anzahl &lt;BG</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Anteil &lt;BG (%)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Min.</b>	3,0	6,0	3,0	162	62	58	6,0	3,0	143	227	6,0	62	6,0	416	3,0
<b>5. Perzentil</b>	266	300	246	231	292	287	299	213	238	731	438	98	351	453	187
<b>10. Perzentil</b>	346	388	312	240	361	375	390	252	269	805	534	181	444	475	248
<b>25. Perzentil</b>	512	552	477	315	518	578	535	417	367	1006	650	313	613	747	371
<b>Median</b>	713	738	669	493	706	767	718	576	545	1176	806	656	780	1083	562
<b>Mittelw.</b>	767	783	761	518	760	793	796	666	574	1223	842	667	829	1131	601
<b>75. Perzentil</b>	944	946	1006	593	947	965	971	828	753	1489	1012	968	978	1322	739
<b>90. Perzentil</b>	1226	1192	1405	931	1189	1167	1316	1261	947	1586	1216	1251	1279	1772	1076
<b>95. Perzentil</b>	1456	1395	1532	944	1410	1319	1515	1471	1025	1634	1289	1331	1492	2206	1290
<b>Max.</b>	4710	4710	3260	969	2170	4710	3260	1695	1142	2010	2710	1988	3260	2540	1691
<b>Stdabw.</b>	380	371	405	243	343	380	377	360	247	300	299	419	349	497	316
<b>Bestimmungsgrenzen</b>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

## Anhang 4.4 Nitrat

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Messwerte, die die o. g. Beurteilungswerte überschreiten, werden in der entsprechenden Farbe markiert. Die Priorität der Beurteilungswerte und der zugehörigen Einfärbung nimmt von links nach rechts ab.								
		GrwV (2017)	LAWA (2016)	TrinkwV (2018)	LfU (2015)	HÜK200 (2014)									
Nitrat	mg/l	50		50	2										
Statistische Kennwerte ohne Sondermessnetz WRRL-Bergbau und Landesmessnetz Salz															
	alle Mst.	Grundwasserleiterkomplex			Filterlage (FOK unter GOK)					Beeinflussungstyp					
		GWLK 1	GWLK 2	GWLK 3	≤ 5 m	5 – 10 m	10 – 25 m	25 – 50 m	> 50 m	1 Schadst.	2 PSM	3 Ver-sauer.	4 Nährst.	6 geog. sal.	7 un-beinfl.
Anzahl Mst. ges.	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
Anzahl unters. Mst.	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
Anzahl Mst. immer <BG	12	7	5	0	2	4	3	2	0	0	0	0	3	0	4
Anteil Mst. immer <BG (%)	2,0	1,7	3,1	0,0	2,2	2,3	1,7	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	3,6
Mst. mind. 1 Wert >BG	580	406	154	20	88	172	174	79	26	27	44	17	257	10	106
Mst. mind. 1 Wert >BG (%)	98,0	98,3	96,9	100,0	97,8	97,7	98,3	97,5	100,0	100,0	100,0	100,0	98,8	100,0	96,4
Anzahl Messw.	5240	3609	1419	212	721	1556	1491	793	282	204	413	166	2141	89	992
Anzahl <BG	1871	1161	597	113	236	502	528	321	130	63	113	85	494	24	526
Anteil <BG (%)	35,7	32,2	42,1	53,3	32,7	32,3	35,4	40,5	46,1	30,9	27,4	51,2	23,1	27,0	53,0
Min.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,022	0,02	0,02	0,02	0,02	0,022	0,02
5. Perzentil	0,022	0,022	0,022		0,022	0,022	0,022	0,022	0,025	0,022	0,022		0,022	0,022	
10. Perzentil	0,022	0,022	0,022		0,022	0,022	0,022	0,022	0,025	0,022	0,022		0,022	0,022	
25. Perzentil	0,025	0,025	0,025		0,022	0,025	0,025	0,025	0,025	0,022	0,025		0,059	0,025	
Median	0,27	1,1	0,089		1,18	0,945	0,27	0,089	0,044	0,96	3,0		14	2,3	
Mittelw.	16	20	8,81		18	16	23	7,95	0,509	25	43		37	9,87	
75. Perzentil	9,48	20	1,19		18	16	19	1,1	0,31	36	82		53	16	
90. Perzentil	56	69	18		57	54	83	22	1,15	102	145		111	28	
95. Perzentil	99	110	61		100	97	140	64	2,59	145	177		147	46	
Max.	301	301	280	18	250	236	301	240	18	203	287	7,3	301	66	81
Stdabw.	38	41	30		35	34	49	25	1,53	45	65		52	15	
Bestimmungsgrenzen	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>	0,044; <b>0,05</b>	0,04; <b>0,044;</b> 0,05; 1	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>	<b>0,044;</b> <b>0,05</b>	0,04; <b>0,044;</b> <b>0,05</b>

Bei > 50% der Messwerte < BG werden folgende Kennwerte nicht ermittelt:  
arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung, alle Perzentile (einschließlich Median)

## Anhang 4.5 Sauerstoff

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW		Messwerte, die die o. g. Beurteilungswerte überschreiten, werden in der entsprechenden Farbe markiert. Die Priorität der Beurteilungswerte und der zugehörigen Einfärbung nimmt von links nach rechts ab.							
		GrwV (2017)	LAWA (2016)	TrinkwV (2018)	LfU (2015)	HÜK200 (2014)									
<b>Sauerstoff</b>															
<b>Statistische Kennwerte ohne Sondermessnetz WRRL-Bergbau und Landesmessnetz Salz</b>															
	alle Mst.	Grundwasserleiterkomplex			Filterlage (FOK unter GOK)					Beeinflussungstyp					
		GWLK 1	GWLK 2	GWLK 3	≤ 5 m	5 – 10 m	10 – 25 m	25 – 50 m	> 50 m	1 Schadst.	2 PSM	3 Ver-sauer.	4 Nährst.	6 geog. sal.	7 un-beinfl.
<b>Anzahl Mst. ges.</b>	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
<b>Anzahl unters. Mst.</b>	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
<b>Anzahl Mst. immer &lt;BG</b>	29	17	10	2	3	7	9	6	4	0	1	1	4	0	11
<b>Anteil Mst. immer &lt;BG (%)</b>	4,9	4,1	6,3	10,0	3,3	4,0	5,1	7,4	15,4	0,0	2,3	5,9	1,5	0,0	10,0
<b>Mst. mind. 1 Wert &gt;BG</b>	563	396	149	18	87	169	168	75	22	27	43	16	256	10	99
<b>Mst. mind. 1 Wert &gt;BG (%)</b>	95,1	95,9	93,7	90,0	96,7	96,0	94,9	92,6	84,6	100,0	97,7	94,1	98,5	100,0	90,0
<b>Anzahl Messw.</b>	5235	3603	1420	212	712	1557	1494	793	282	204	413	160	2143	89	992
<b>Anzahl &lt;BG</b>	1349	735	488	126	111	367	376	302	175	19	64	51	269	10	425
<b>Anteil &lt;BG (%)</b>	25,8	20,4	34,4	59,4	15,6	23,6	25,2	38,1	62,1	9,3	15,5	31,9	12,6	11,2	42,8
<b>Min.</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01
<b>5. Perzentil</b>	0,03	0,03	0,05		0,03	0,03	0,05	0,04		0,05	0,02	0,05	0,04	0,02	0,04
<b>10. Perzentil</b>	0,05	0,05	0,05		0,05	0,05	0,05	0,05		0,05	0,04	0,05	0,05	0,046	0,05
<b>25. Perzentil</b>	0,05	0,05	0,05		0,05	0,05	0,05	0,05		0,09	0,05	0,05	0,07	0,07	0,05
<b>Median</b>	0,10	0,12	0,10		0,12	0,11	0,13	0,09		0,15	0,12	0,13	0,17	0,16	0,055
<b>Mittelw.</b>	0,897	1,09	0,534		0,80	0,609	1,4	0,971		0,38	1,69	0,938	1,5	0,604	0,266
<b>75. Perzentil</b>	0,30	0,45	0,20		0,30	0,32	0,60	0,21		0,28	0,64	0,325	1,61	0,50	0,17
<b>90. Perzentil</b>	2,9	3,8	1,24		1,41	1,95	5,99	3,8		0,604	8,28	4,02	6,0	1,69	0,40
<b>95. Perzentil</b>	6,0	7,0	3,1		4,18	3,5	9,1	7,02		1,4	9,44	5,41	8,2	3,92	1,07
<b>Max.</b>	136	136	34	0,50	136	9,0	34	11	9,2	7,05	11	9,0	11	5,47	8,19
<b>Stdabw.</b>	2,79	3,19	1,58		5,27	1,26	2,89	2,34		0,859	3,22	1,9	2,63	1,18	0,761
<b>Bestimmungsgrenzen</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>

Bei > 50% der Messwerte < BG werden folgende Kennwerte nicht ermittelt:  
arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung, alle Perzentile (einschließlich Median)

## Anhang 4.6 Sulfat

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Messwerte, die die o. g. Beurteilungswerte überschreiten, werden in der entsprechenden Farbe markiert. Die Priorität der Beurteilungswerte und der zugehörigen Einfärbung nimmt von links nach rechts ab.								
		GrwV (2017)	LAWA (2016)	TrinkwV (2018)	LfU (2015)	HÜK200 (2014)									
Sulfat	mg/l	250	250	250	130	86,6–270									
Statistische Kennwerte ohne Sondermessnetz WRRL-Bergbau und Landesmessnetz Salz															
	alle Mst.	Grundwasserleiterkomplex			Filterlage (FOK unter GOK)					Beeinflussungstyp					
		GWLK 1	GWLK 2	GWLK 3	≤ 5 m	5–10 m	10–25 m	25–50 m	> 50 m	1 Schadst.	2 PSM	3 Ver-sauer.	4 Nährst.	6 geog. sal.	7 un-beinfl.
Anzahl Mst. ges.	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
Anzahl unters. Mst.	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
Anzahl Mst. immer <BG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anteil Mst. immer <BG (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mst. mind. 1 Wert >BG	592	413	159	20	90	176	177	81	26	27	44	17	260	10	110
Mst. mind. 1 Wert >BG (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Anzahl Messw.	5244	3612	1420	212	721	1557	1494	793	282	204	413	166	2144	89	992
Anzahl <BG	45	10	22	13	0	0	7	16	19	0	0	0	5	0	12
Anteil <BG (%)	0,9	0,3	1,5	6,1	0,0	0,0	0,5	2,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,2
Min.	0,50	0,50	0,50	0,50	2,39	4,35	0,50	0,50	0,50	55	14	12	0,50	6,7	0,50
5. Perzentil	7,51	26	3,39	0,50	20	36	19	3,21	0,50	96	36	26	22	18	3,87
10. Perzentil	23	37	6,68	2,56	32	44	34	5,54	1,96	121	41	48	36	34	7,5
25. Perzentil	57	64	36	3,82	56	77	66	23	4,26	152	80	98	65	58	28
Median	104	109	100	11	97	123	106	74	16	186	141	203	115	75	87
Mittelw.	122	128	118	51	112	137	136	93	54	189	153	217	129	91	95
75. Perzentil	169	167	186	95	146	185	179	144	101	227	214	295	168	124	119
90. Perzentil	242	244	248	134	217	246	270	230	134	263	258	377	238	164	191
95. Perzentil	289	291	295	180	261	288	324	263	174	278	302	533	291	233	297
Max.	863	863	557	210	863	656	695	356	210	350	629	629	863	289	695
Stdabw.	91	90	93	59	80	80	102	86	60	54	102	142	89	60	90
Bestimmungsgrenzen	1	1	1	1	-	-	1	1	1	-	-	-	1	-	1

## Anhang 5 Übersicht der untersuchten PSM-Wirkstoffe, relevanten und nicht relevanten Metaboliten

Erläuterung der Abkürzungen, Fettschrift und Farbmarkierungen am Ende der Tabelle.

Art	Wirkstoff/Metabolit	Zulassung	Inlandsabsatz 2018 (t)	hauptsächliches Einsatzgebiet/ Informationen zu PSM-Wirkstoffen und Metaboliten
W	1,2-Dichlorethan	1988 Verbot	–	ehemaliges Herbizid
W	DDT-p,p'	< 1966 – 1988	–	ehemaliges Insektizid zur Bekämpfung krankheitsübertragender Insekten
rM	<i>DDE-p,p'</i>			Metabolit des nicht mehr zugelassenen Insektizids DDT
rM	<i>DDD-p,p'</i>			Metabolit des nicht mehr zugelassenen Insektizids DDT
W	α-Endosulfan	< 1966 – 1994	–	ehemaliges Insektizid zur Bekämpfung von saugenden, kauenden und lästigen Insekten
W	β-Endosulfan	< 1966 – 1994	–	ehemaliges Insektizid zur Bekämpfung von saugenden, kauenden und lästigen Insekten
W	α-Hexachlorcyclohexan (alpha-HCH)	< 1966 – 1977	–	ehemaliges Insektizid für u. a. Obst und Gemüse
W	Aldrin	< 1966 – 1983	–	ehemaliges Insektizid u. a. für Mais/Getreide und Kartoffeln
W	Heptachlor	< 1966 – 1981	–	ehemaliges Insektizid zur Bekämpfung von verschiedenen Insekten (u. a. Termiten, Ameisen, Mücken); landwirtschaftliche und häusliche Anwendung
W	Azinphos-ethyl	< 1966 – 1992	–	ehemaliges Insektizid gegen saugende und kauende Schädlinge; Anwendung u. a. bei Tomaten, Kartoffeln, Hopfen, Äpfel
W	Azinphos-methyl	1971 – 1994	–	ehemaliges Insektizid gegen saugende und kauende Schädlinge; Anwendung u. a. für Obst und Gemüse
W	<b>Dimethoat</b>	seit 1966	100 – 250	Insektizide für Gemüseanbau
W	Parathion-ethyl	1971 – 2002	–	ehemaliges Herbizid für Getreide, Mais, Gemüse
W	Parathion-methyl	1971 – 2003	–	ehemaliges Herbizid für Getreide, Mais, Gemüse
W	Trifluralin	1971 – 2008	–	ehemaliges Vorlaufherbizid zur Bekämpfung von einjährigen Gräsern und breitblättrigen Unkräutern
W	Dichlorvos	< 1966 – 2007	–	ehemaliges Insektizid; Anwendung u. a. in nicht landwirtschaftlich genutzten Bereichen
W	Fenitrothion	1971 – 1994	–	ehemaliges Insektizid für u. a. Obst und Gemüse
W	Malathion	< 1966 – 1994	–	ehemaliges Insektizid zur Bekämpfung versch. Schädlinge
W	<b>2,4-Dichlorphenoxyessigsäure (2,4-D)</b>	seit 1966	25 – 100	Herbizid, u. a. für Getreide, Mais, Kern- und Steinobst (v. a. in Kombination mit Dicamba)
W	4-(2,4-Dichlorphenoxy)buttersäure (2,4-DB)	< 1966 – 1992	–	ehemaliges Herbizid gegen breitblättriges Unkraut
W	2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure (2,4,5-T)	< 1966 – 1985	–	ehemaliges Herbizid im Forst, in Kombination mit andere Herbiziden für Getreide, Weiden/Wiesen
W	Fenoprop (2,4,5-TP, 2-(2,4,5-Trichlorphenoxy)propionsäure)	1971 – 1974	–	ehemaliges Herbizid und Wachstumsregulator
W	Dichlorprop (2,4-Dichlorprop)	< 1966 – 1992	–	ehemaliges Herbizid für Getreide und Wachstumsregulator
W	Mecoprop (MCP) <b>Mecoprop-P (MCP)</b>	1971 – 1992 seit 1978	– 25 – 100	Herbizid für Getreide (Nachlaufherbizid)
W	<b>MCPA</b>	seit 1971	250 – 1.000	Herbizid für Getreide, Wiesen/Weiden
W	MCPB	< 1966 – 1992	–	ehemaliges Herbizid für Getreide, Gemüse, Wiesen/Weiden
W	<b>Bentazon</b>	1972 – 2018	< 25	Herbizid im Acker- u. Gemüsebau, in Kombi. mit Terbutylazin in Mais, in Kombination mit Dichlorprop in Getreide
W	<b>Bromoxynil</b>	seit 1971	25 – 100	Herbizid für Mais
W	<b>Fluroxypyr</b>	seit 1986	100 – 250	Herbizid für Getreide, Mais, Wiesen/Weiden
W	<b>Quinmerac</b>	seit 1994	100 – 250	Herbizid für Raps, Rüben
W	Atrazin	1971 – 1990	–	ehemaliges Herbizid für Mais, auf Bahngleisen
rM	<i>Desethylatrazin</i>			Metabolit des nicht mehr zugelassenen Herbizids Atrazin
rM	<i>Desisopropylatrazin</i>			Metabolit der nicht mehr zugelassenen Herbizide Atrazin, Simazin
W	Simazin	1971 – 1990; 1997 – 1998	–	ehemaliges Herbizid für Getreide und Mais, Breitbandherbizid auf nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen
W	<b>Metribuzin</b>	seit 1972	100 – 250	Herbizid für Getreide, Tomaten, Kartoffel, Spargel
W	<b>Terbutylazin</b>	seit 1971	250 – 1.000	Herbizid für Mais
W	Terbutryn	1971 – 2002	–	ehemaliges Vorlaufherbizid zur Bekämpfung einiger Gräser und breitblättriger Unkräuter sowie Algen

Art	Wirkstoff/Metabolit	Zulassung	Inlandsabsatz 2018 (t)	hauptsächliches Einsatzgebiet/ Informationen zu PSM-Wirkstoffen und Metaboliten
rM	<i>Desethylterbuthylazin</i>			Metabolit des Herbizids Terbuthylazin
W	<b>Chloridazon</b>	1966 – 2018	< 25	Herbizid für Zuckerrüben, Futterrüben
W	<b>Chlortoluron</b>	seit 1971	250 – 1.000	Herbizid für Getreide
W	Diuron	1971 – 2007	–	ehemaliges Herbizid, häufig auf Gleisanlagen eingesetzt
W	Isoproturon	1975 – 2016	–	ehemaliges Herbizid für Getreide
W	<b>Dimethachlor</b>	seit 1975	25 – 100	Herbizid für Raps
W	<b>Metazachlor</b>	seit 1981	250 – 1.000	Herbizid für Raps, Kohl, Rüben, Rettich
W	Metolachlor	1976 – 2003	–	Herbizid für Mais, Lupine; Metolachlor seit 2001 nur als S-Metolachlor zugelassen
W	<b>S-Metolachlor</b>	seit 2001	250 – 1000	
W	Fenuron	< 1966 – 1994	–	ehemaliges Herbizid gegen breitblättriges Unkraut, häufig für Rübenkulturen eingesetzt
W	<b>Pirimicarb</b>	seit 1971	25 – 100	Insektizid für Getreide
W	<b>Diflufenican</b>	seit 1966	250 – 1.000	Herbizid für Getreide
W	<b>Pendimethalin</b>	seit 1975	250 – 1.000	Herbizid für Getreide, Mais, Gemüse
W	<b>Metamitron</b>	seit 1977	1.000 – 2.500	Herbizid für Futterrübe, Zuckerrübe
nrM	<i>Desphenyl-Chloridazon</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids Chloridazon (GOW 3 µg/l)
nrM	<i>Methyl-Desphenyl-Chloridazon</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids Chloridazon (GOW 3 µg/l)
nrM	<i>Dimethachlorsäure</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids Dimethachlor (GOW 3 µg/l)
nrM	<i>Dimethachlorsulfonsäure</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids Dimethachlor (GOW 3 µg/l)
nrM	<i>Dimethachlor-Metabolit CGA 369873</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids Dimethachlor (GOW 1 µg/l)
nrM	<i>Dimethachlor-Metabolit CGA 373464</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids Dimethachlor (GOW 1 µg/l)
nrM	<i>2,6-Dichlorbenzamid</i>			nicht relevanter Metabolit des Fungizids Fluopicolid und des Herbizids Dichlobenil (GOW 3 µg/l)
nrM	<i>Metazachlorsäure</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids Metazachlor (GOW 3 µg/l)
nrM	<i>Metazachlorsulfonsäure</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids Metazachlor (GOW 3 µg/l)
nrM	<i>(S-)Metolachlorsäure</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids S-Metolachlor (GOW 3 µg/l)
nrM	<i>(S-)Metolachlor-sulfonsäure</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids S-Metolachlor (GOW 3 µg/l)
nrM	<i>(S-)Metolachlor Metabolit NOA 413173</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids S-Metolachlor (GOW 3 µg/l)
nrM	<i>S-Metolachlor-Metabolit CGA 357704</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids S-Metolachlor (GOW 1 µg/l)
nrM	<i>S-Metolachlor-Metabolit CGA 368208</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids S-Metolachlor (GOW 1 µg/l)
W	<b>Glyphosat</b>	seit 1975	2.500 – 10.000	Breitbandherbizid für Getreide, Mais, auf Brachen, Wiesen/Weiden, entlang Straßen, Bahngleisen; außerdem zugelassenes Sikkationsmittel v. a. von Getreide, Kartoffeln, Raps und Hülsenfrüchten (= Krautabtötung zur Terminierung des Ernteablaufes);
nrM	<i>AMPA (Aminomethylphosphonsäure)</i>			nicht relevanter Metabolit des Herbizids Glyphosat (ohne GOW; Vergleich mit 3 µg/l)

### Informationen zu den Markierungen

W = Wirkstoff	<b>PSM im Berichtszeitraum zugelassen</b>	Konz. PSM-W oder rM im Berichtszeitraum > 0,1 µg/l (SW GrwV)	Inlandsabsatz > 250 t/a <sup>1</sup>	nicht relevanter Metabolit, Konz. im Berichtszeitraum < GOW
rM = relevanter Metabolit				nicht relevanter Metabolit, Konz. im Berichtszeitraum > GOW
nrM = nicht relevanter Metabolit	nicht mehr zugelassen <i>Metabolit</i>			

<sup>1</sup> Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2020): Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland, Ergebnisse der Meldungen gemäß § 64 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2018; (korrigierte Version März 2020), 2020

## Anhang 6 Übersicht der in den einzelnen Auswertungen betrachteten Parameter

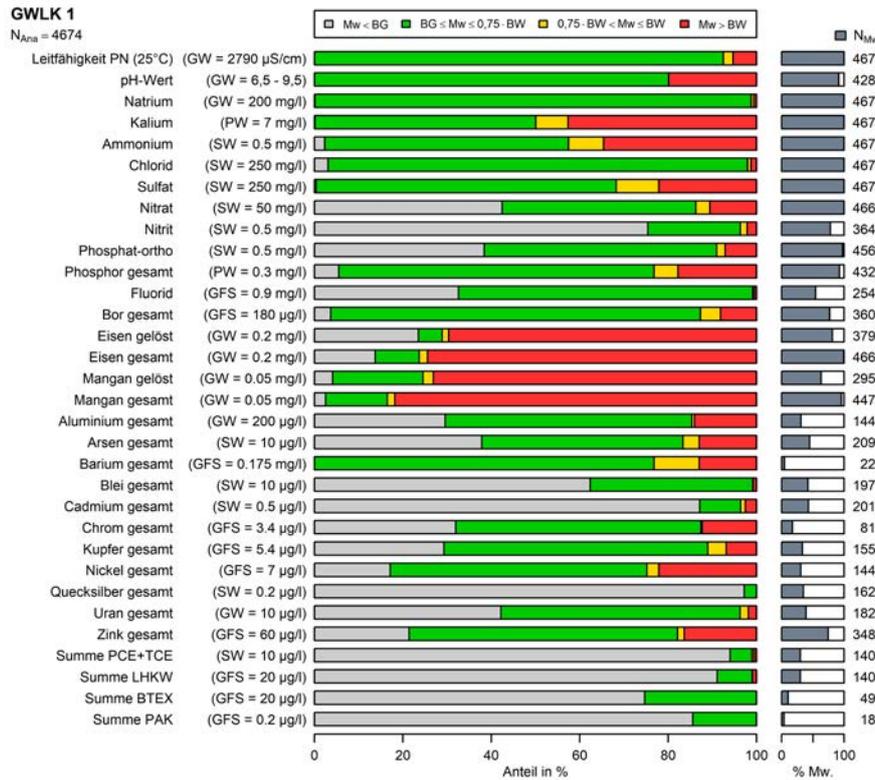


Abb. Anhang 6.1 Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten im GWLK 1

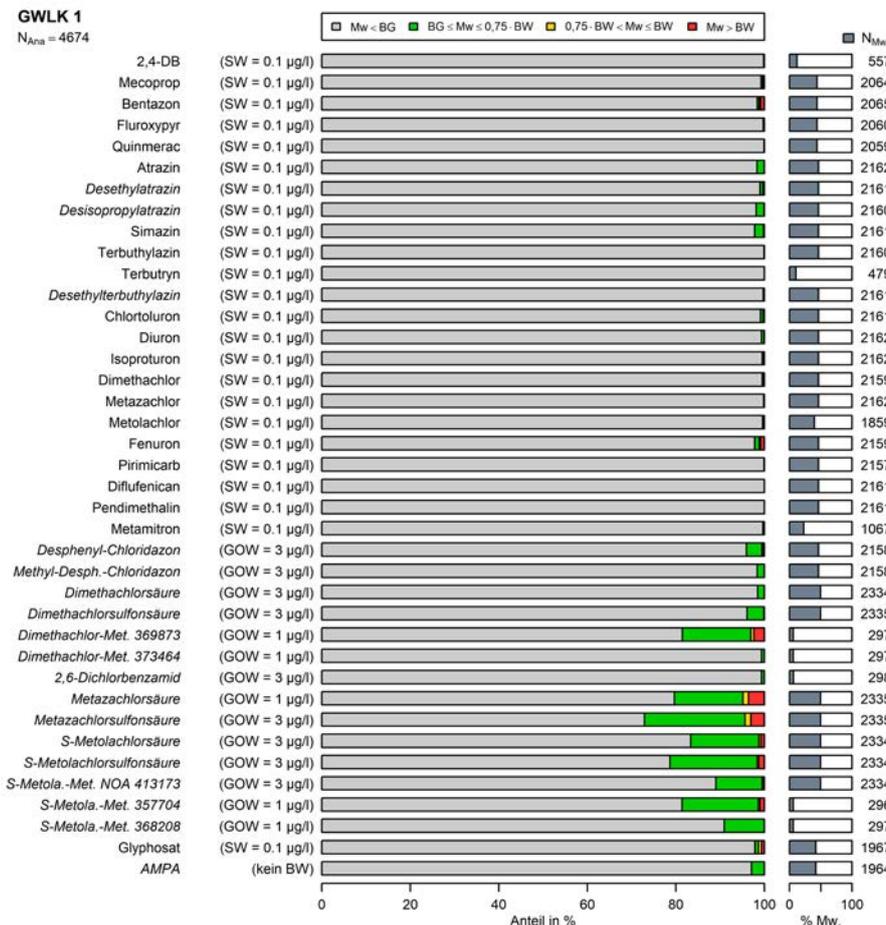


Abb. Anhang 6.2 Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten für PSM (Wirkstoffe und Metaboliten) im GWLK 1

**GWLK 2**

N<sub>Ana</sub> = 1527

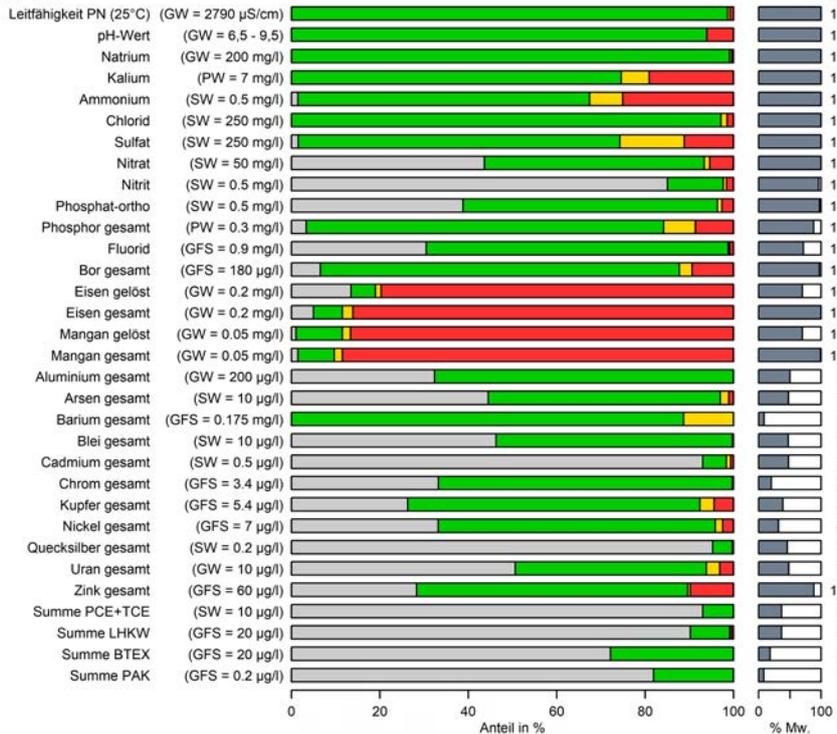


Abb. Anhang 6.3 Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten im GWLK 2

**GWLK 2**

N<sub>Ana</sub> = 1527

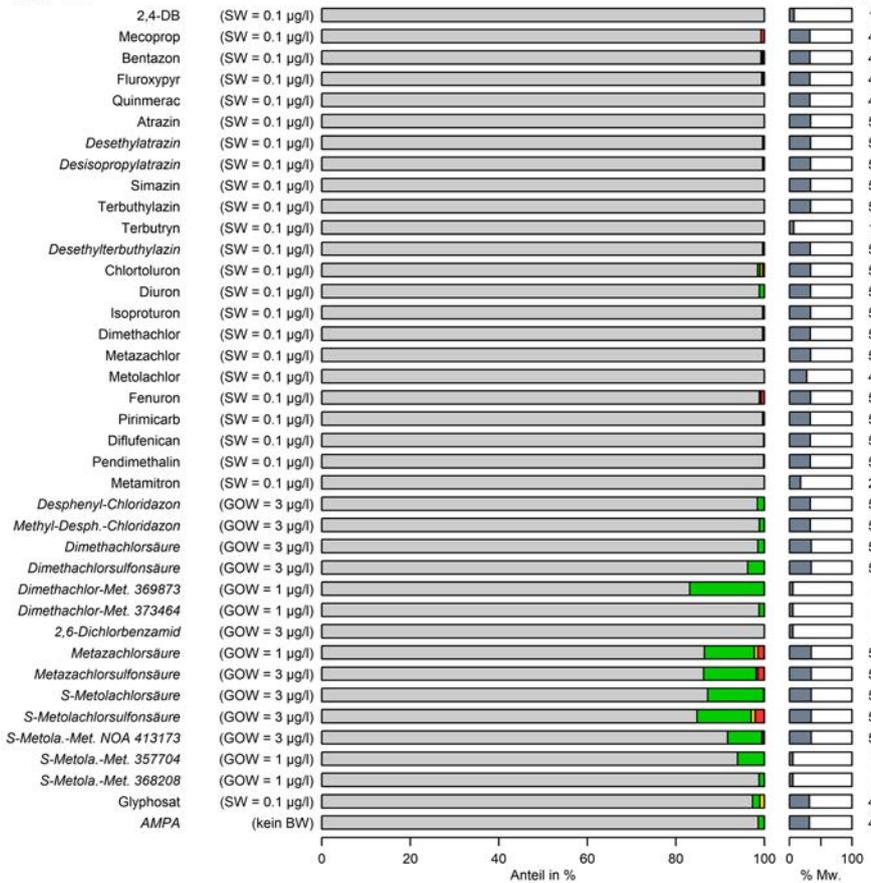


Abb. Anhang 6.4 Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten für PSM (Wirkstoffe und Metaboliten) im GWLK 2

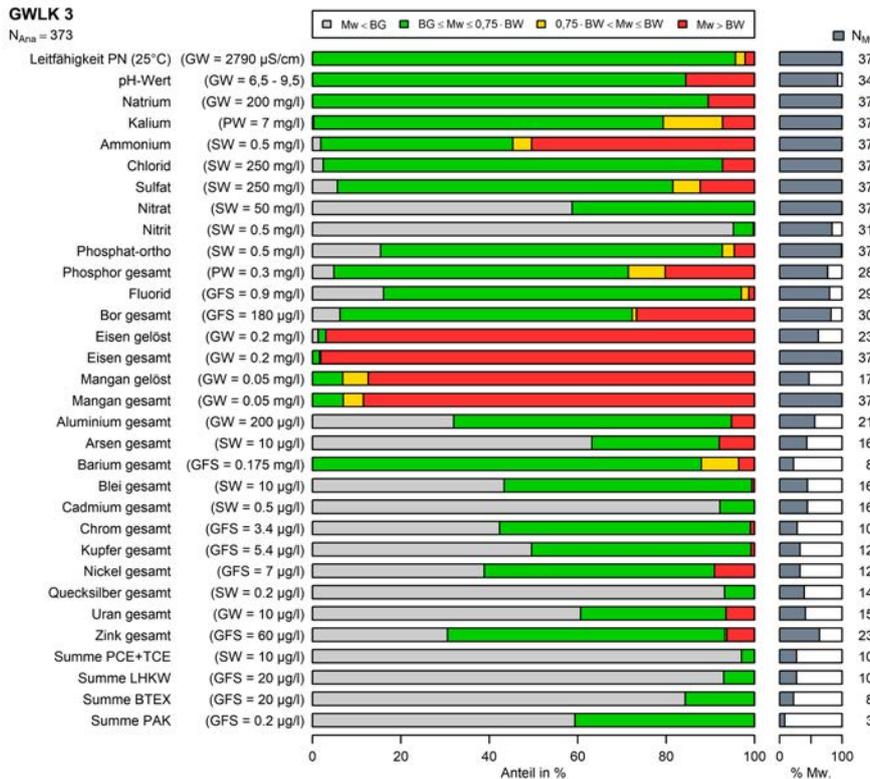


Abb. Anhang 6.5 Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten im GWLK 3

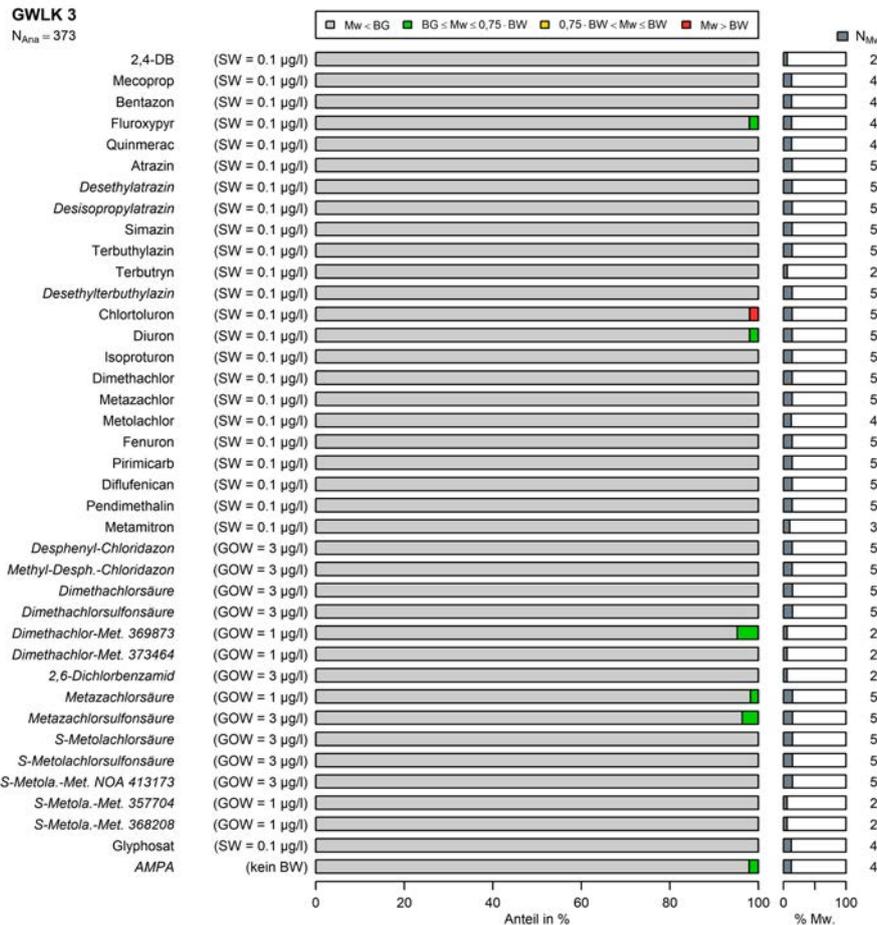


Abb. Anhang 6.6 Anteilige Überschreitung von Beurteilungswerten für PSM (Wirkstoffe und Metaboliten) im GWLK 3

**Anhang 7 Informationen zu den untersuchten Arzneistoffen  
(Reddersen 2004; LAU Sachsen-Anhalt 2006; Licha 2011)**

Stoff	Verwendung	Eigenschaften
Ibuprofen	Analgetikum, Antirheumatikum	biologisch abbaubar wenig wasserlöslich mittleres Adsorptionspotential
Diclofenac	Analgetikum, Antirheumatikum	persistent, schwer biologisch abbaubar wenig wasserlöslich mittleres Adsorptionspotential
Bezafibrat	Lipidsenker	biologisch abbaubar hohes Adsorptionspotential
Clofibrinsäure	Lipidsenker	schwer biologisch abbaubar, hohe Persistenz und Mobilität gut wasserlöslich geringes Adsorptionspotential
Carbamazepin	Antiepileptikum, Antikonvulsivum	persistent, schwer biologisch abbaubar wenig wasserlöslich geringes Adsorptionspotential hohe Mobilität
Primidon	Antiepileptikum, Antikonvulsivum	geringer Abbau in Kläranlagen im Grundwasser sehr persistent

## Anhang 8 Zusammenfassung Trendergebnisse GWLK 1 – 3

$N_{\text{GWLK}}$  = Anzahl Messstellen im GWLK,  $N_{\text{Ana}}$  = Anzahl Messstellen mit Analysen für den Parameter,  $N_{\text{Tr}}$  = Anzahl Messstellen, für die Trendberechnung möglich war, rot = weniger als 20 Trendberechnungen möglich

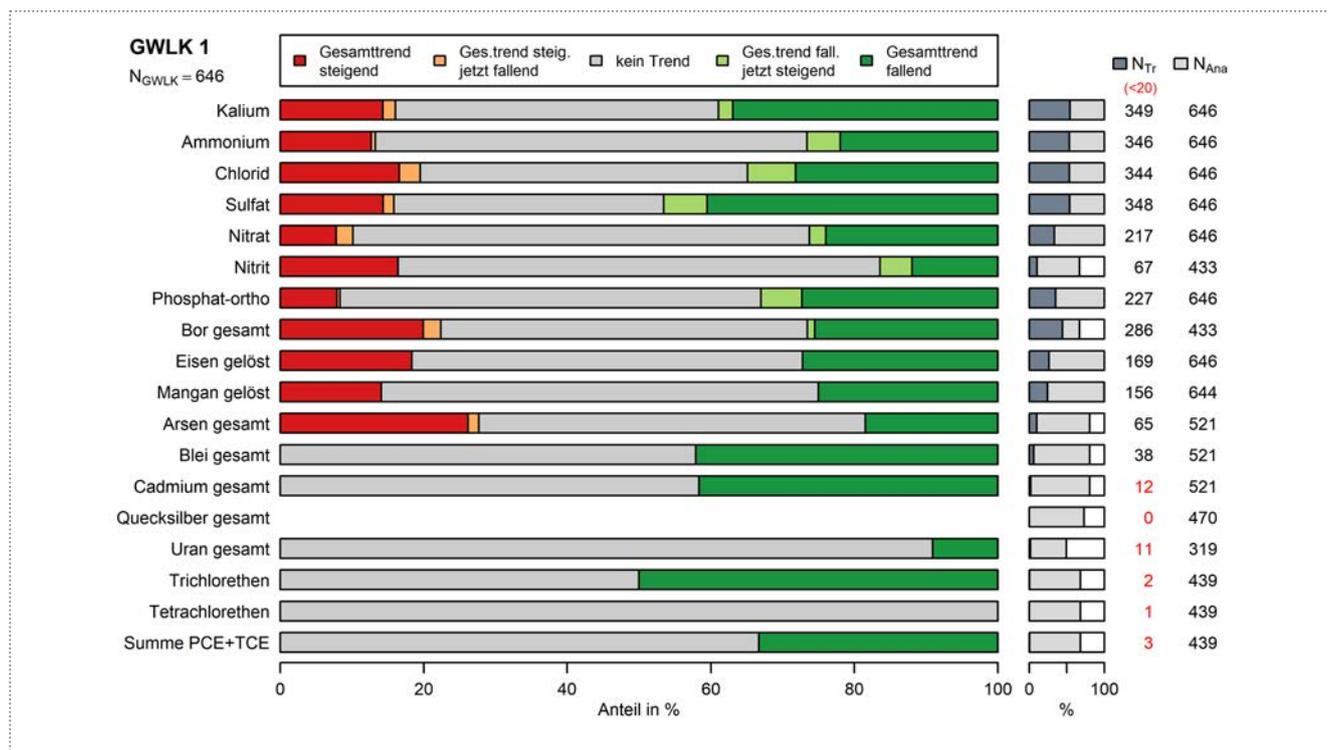


Abb. Anhang 8.1 Trendergebnisse GWLK 1

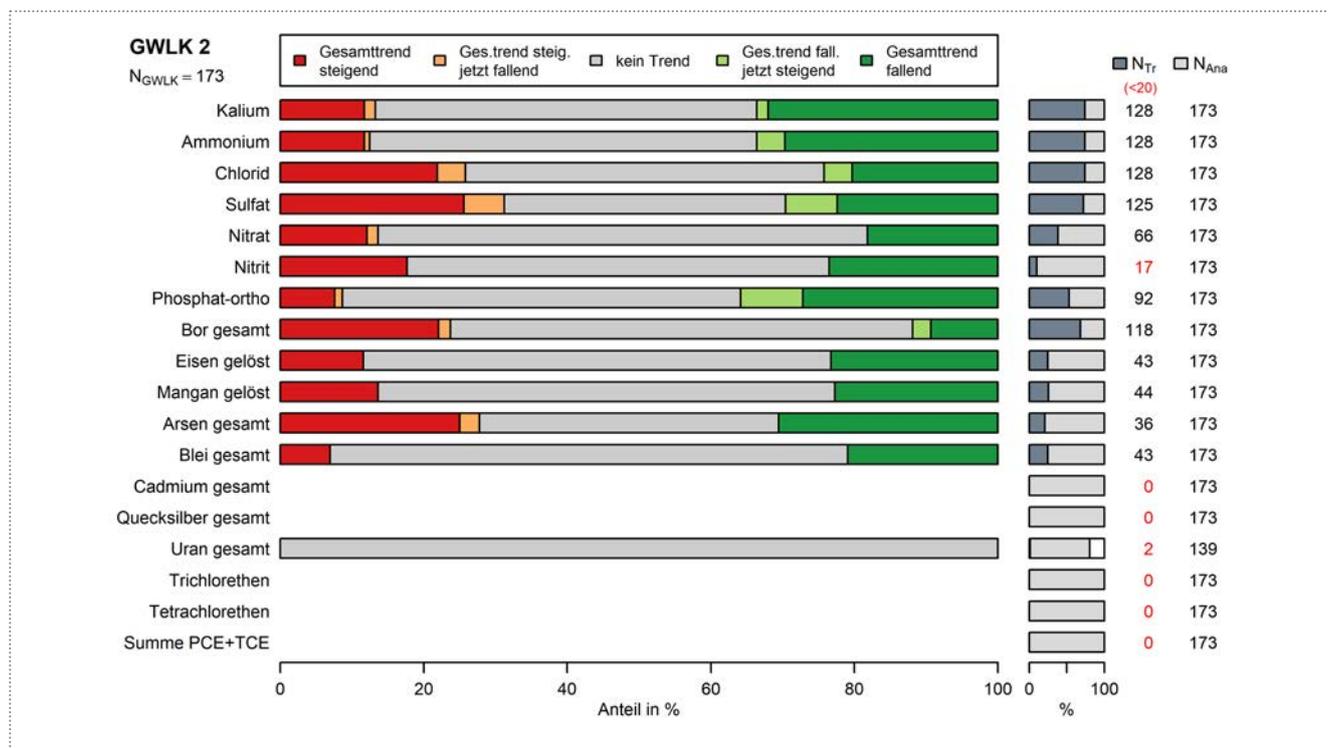


Abb. Anhang 8.2 Trendergebnisse GWLK 2

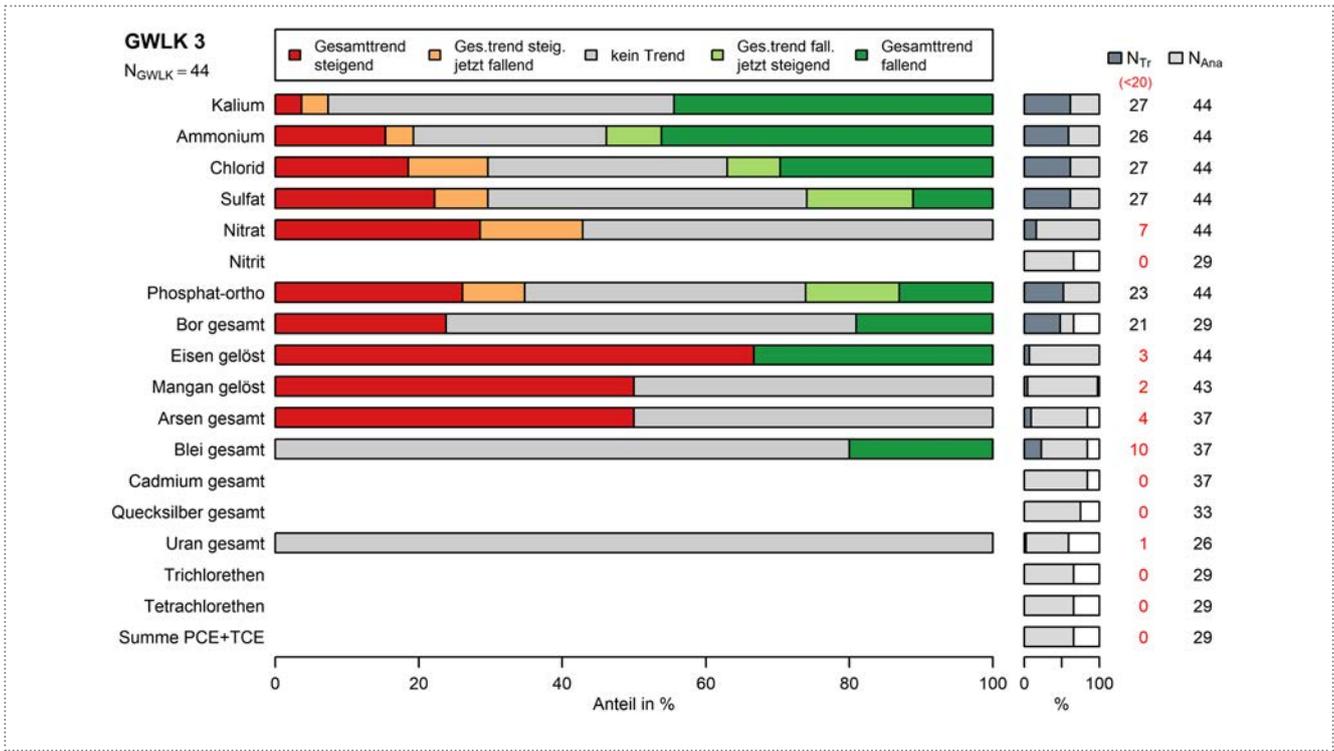


Abb. Anhang 8.3 Trendergebnisse GWLK 3

## Anhang 9 Gesamtmineralisation GWLK 2 – 3

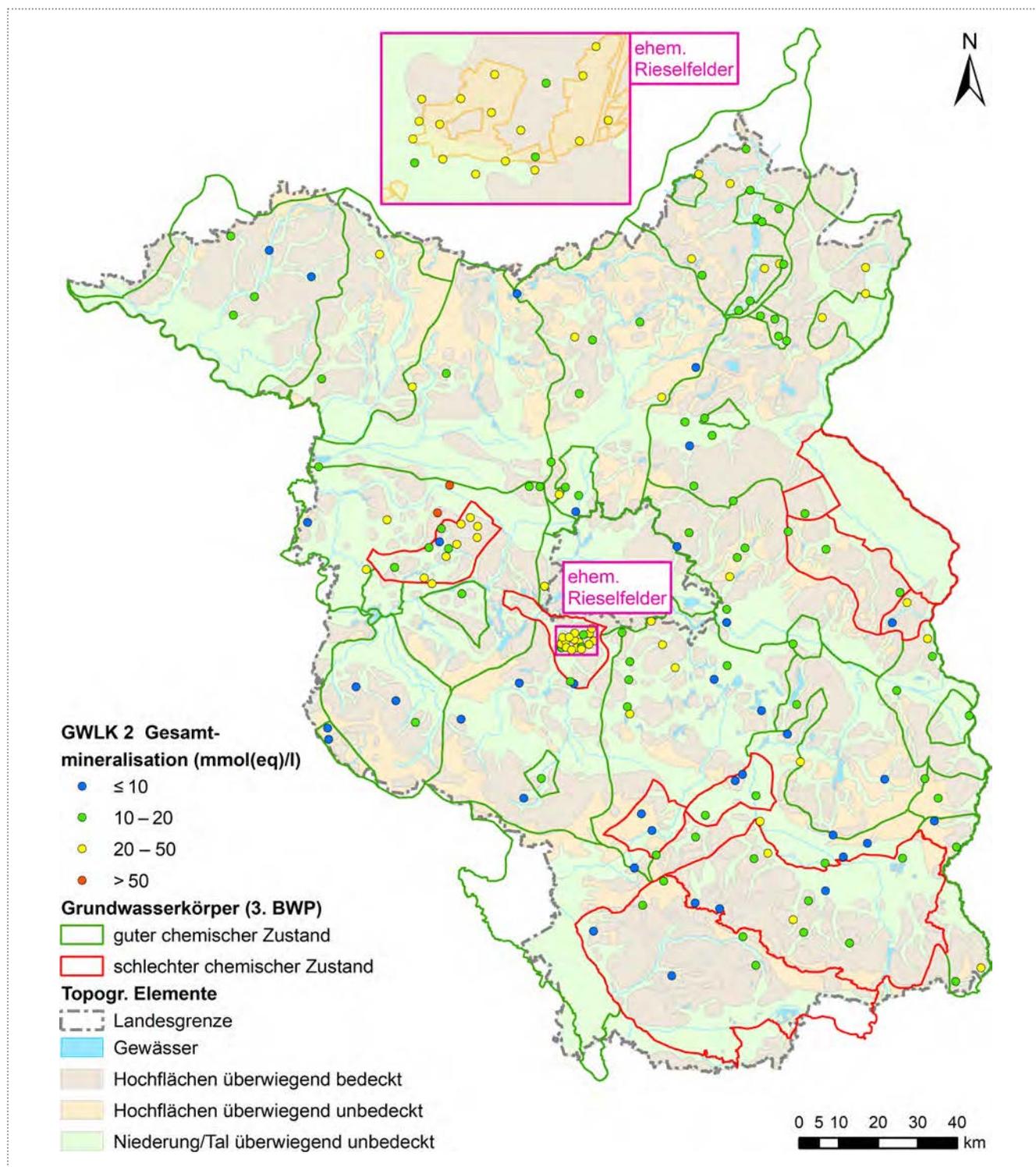


Abb. Anhang 9.1 Gesamtmineralisation im Grundwasserleiterkomplex 2, alle Messnetze

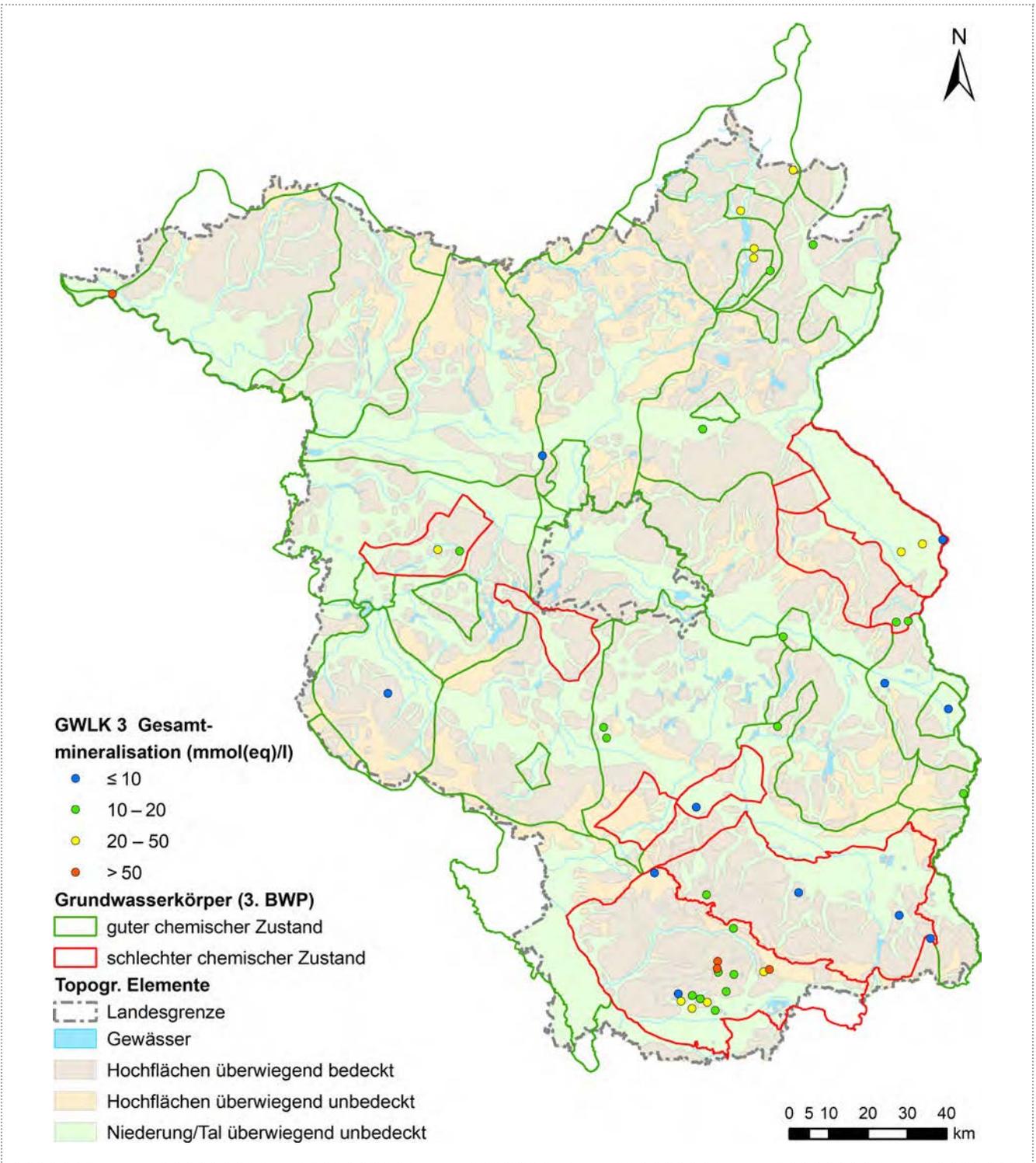


Abb. Anhang 9.2 Gesamtmineralisation im Grundwasserleiterkomplex 3, alle Messnetze

**Ministerium für Landwirtschaft,  
Umwelt und Klimaschutz  
des Landes Brandenburg**

Referat Öffentlichkeitsarbeit,  
Internationale Kooperation

Henning-von-Tresckow-Straße 2 – 13, Haus S  
14467 Potsdam

Telefon: 0331 866-7237  
E-Mail: [bestellung@mluk.brandenburg.de](mailto:bestellung@mluk.brandenburg.de)



[mluk.brandenburg.de](http://mluk.brandenburg.de)  
[agrar-umwelt.brandenburg.de](http://agrar-umwelt.brandenburg.de)  
[vimeo.com/mlukbrandenburg](https://vimeo.com/mlukbrandenburg)  
[x.com/mlukbrandenburg](https://x.com/mlukbrandenburg)