



LAND  
BRANDENBURG

Ministerium für Landwirtschaft,  
Umwelt und Klimaschutz

Wasserversorgung



# Rohwasserbeschaffenheit Land Brandenburg 2010 – 2019



Landesamt für Umwelt

### **Herausgeber**

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK)  
Referat Öffentlichkeitsarbeit  
Henning-von-Tresckow-Straße 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) oder [agrар-umwelt.brandenburg.de](http://agrар-umwelt.brandenburg.de)

### **Redaktion**

Landesamt für Umwelt (LfU)  
Abteilung Wasserwirtschaft 1  
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)

### **Autorinnen und Autoren**

GCI GmbH  
Florian Jenn, Silvia Dinse, Franziska Gebhard, Patrick Wieder.

### **Titelbild**

Foto: Jürgen Hohmuth

### **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.*

<b>Abbildungsverzeichnis</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> . . . . .	<b>9</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> . . . . .	<b>10</b>
<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	<b>12</b>
<b>1 Einleitung</b> . . . . .	<b>14</b>
<b>2 Überblick zur Datenerhebung in den Jahren 2009 bis 2019</b> . . . . .	<b>15</b>
2.1 Aktualisierung der Angaben zu Wasserwerken und zu deren Einzugsgebieten . . . . .	15
2.2 Aktualisierung der Jahresfördermengen mit den Daten von 2019 . . . . .	16
2.3 Veränderungen bei der Anzahl von Wasserwerken, Brunnen und Grundwassermessstellen . . . . .	18
2.4 Stand der Erhebung von Analysen . . . . .	19
<b>3 Plausibilitätsprüfung der erhobenen Analysen</b> . . . . .	<b>20</b>
<b>4 Auswertung, Bewertung und Darstellung der Analyseergebnisse</b> . . . . .	<b>22</b>
4.1 Auswahl der Beurteilungsparameter und Vergleichswerte . . . . .	22
4.2 Überschreitung von Vergleichswerten . . . . .	22
4.3 Primärstatistische Auswertung . . . . .	28
4.3.1 Tabellen der statistischen Kennwerte . . . . .	28
4.3.2 Häufigkeitsverteilungen . . . . .	30
4.3.3 Spannweitendiagramme . . . . .	33
4.4 Statistische Trendanalyse . . . . .	35
4.4.1 Methodik . . . . .	36
4.4.2 Ergebnisse . . . . .	37
4.4.3 Trendkategorien und Kartendarstellung . . . . .	41
4.5 Parameterbezogene Bewertung von Wasserwerken auf Basis von univariater Statistik und Prüferten (Maluspunktmethode) . . . . .	42
4.5.1 Methodik zur Bewertung von Einzelparametern . . . . .	42
4.5.2 Elektrische Leitfähigkeit . . . . .	46
4.5.3 Nitrat . . . . .	48
4.5.4 Ammonium . . . . .	50
4.5.5 Chlorid . . . . .	52
4.5.6 Sulfat . . . . .	55
4.5.7 Kalium . . . . .	58
4.5.8 ortho-Phosphat . . . . .	60
4.5.9 Bor . . . . .	63
4.5.10 Pflanzenschutzmittel . . . . .	65

4.6	Gesamtbewertung der Rohwasserbeschaffenheit der Wasserwerke anhand von sieben Leitparametern und Ableitung von anthropogenen Einflussgraden . . . . .	66
4.6.1	Methodik der Gesamtbewertung . . . . .	66
4.6.2	Ergebnisse der Gesamtbewertung. . . . .	67
4.7	Bewertung weiterer Belastungsparameter . . . . .	70
4.8	Geogen salinare Belastung von Wasserwerken . . . . .	73
4.8.1	Methodischer Ansatz. . . . .	73
4.8.2	Auswertung zur salinaren Beeinflussung der Wasserwerke . . . . .	76
4.9	Pflanzenschutzmittelbelastung von Wasserwerken . . . . .	79
4.10	Uranbelastung von Wasserwerken . . . . .	80
<b>5</b>	<b>Vergleich der Ergebnisse 2018/2019 mit vorherigen Auswertungen . . . . .</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>85</b>
<b>Anlagen</b>	<b>. . . . .</b>	<b>88</b>
Anlage 1	Karte der Wasserwerke in Brandenburg . . . . .	88
Anlage 2	Karte der Bewertung des Parameters „Elektrische Leitfähigkeit“. . . . .	89
Anlage 3	Tabellen der statistischen Kennwerte für die Leitparameter . . . . .	90
Anlage 3.1	Nitrat . . . . .	90
Anlage 3.2	Ammonium . . . . .	92
Anlage 3.3	Chlorid . . . . .	94
Anlage 3.4	Sulfat . . . . .	96
Anlage 3.5	Kalium . . . . .	98
Anlage 3.6	ortho-Phosphat . . . . .	100
Anlage 3.7	Bor . . . . .	102

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Aktive und stillgelegte Wasserwerke (WW) in Brandenburg (Stand 2019). . . . .	15
Abb. 2.2	Häufigkeitsverteilung der durchschnittlichen Tagesfördermenge im Teilprojekt 6 (Daten 2007) . . . . .	17
Abb. 2.3	Häufigkeitsverteilung der durchschnittlichen Tagesfördermenge im Teilprojekt 11 (Daten von 2019, ersatzweise 2018) . . . . .	17
Abb. 2.4	Räumliche Verteilung der durchschnittlichen Tagesförderung 2019 in den aktiven Wasserwerken . . . . .	18
Abb. 3.1	Häufigkeitsverteilung des Ionenbilanzfehlers der Analysen im Zeitraum 2018/2019 . . . . .	21
Abb. 4.1	Anteile von Messwerten $< BG$ , $\geq BG$ bis $\leq VW$ und $> VW$ . . . . .	25
Abb. 4.2	Häufigkeitsverteilung der Chloridkonzentration für Brunnen und Rohmischwasser . . . . .	31
Abb. 4.3	Häufigkeitsverteilung der Chloridkonzentration für Grundwassermessstellen . . . . .	31
Abb. 4.4	Häufigkeitsverteilung der ortho-Phosphat-Konzentration für Brunnen und Rohmischwasser . . . . .	32
Abb. 4.5	Häufigkeitsverteilung der ortho-Phosphat-Konzentration für Grundwassermessstellen. . . . .	32
Abb. 4.6	Aufbau eines Boxplots . . . . .	33
Abb. 4.7	Spannweitendiagramme für Sulfat, untergliedert nach Landnutzung sowie Brunnen und Grundwassermessstellen . . . . .	34
Abb. 4.8	Spannweitendiagramme für Kalium von Grundwassermessstellen im unbedeckten Grundwasserleiter, untergliedert nach Landnutzung und Filterlage	35
Abb. 4.9	Parameterbezogene Übersicht zu den Ergebnissen der Trendberechnung mit und ohne Überschreitung des Vergleichswertes (VW) . . . . .	38
Abb. 4.10	Trendverhalten für Ammonium in Abhängigkeit von der Grundwasserleiterbedeckung, der Filterlage und der Flächennutzung am Standort . . . . .	39

Abb. 4.11	Trendverhalten für Sulfat in Abhängigkeit von der Grundwasserleiterbedeckung, der Filterlage und der Flächennutzung am Standort . . . . .	40
Abb. 4.12	Prüfung der Perzentile von Sulfat gegen den Prüfwert (PW) 130 mg/l (Beispiel WW B) . . . . .	45
Abb. 4.13	Häufigkeiten der Maluspunkte für elektrische Leitfähigkeit bei Wasserwerken und GWMS. . . . .	47
Abb. 4.14	Häufigkeiten der Maluspunkte für Nitrat bei Wasserwerken und GWMS. . . . .	48
Abb. 4.15	Ausschnitt der Parameterkarte Nitrat. . . . .	49
Abb. 4.16	Trendergebnisse für Nitrat . . . . .	49
Abb. 4.17	Häufigkeiten der Maluspunkte für Ammonium bei Wasserwerken und GWMS . . . . .	50
Abb. 4.18	Ausschnitt der Parameterkarte Ammonium. . . . .	51
Abb. 4.19	Trendergebnisse für Ammonium . . . . .	51
Abb. 4.20	Ausschnitt der Parameterkarte Chlorid. . . . .	53
Abb. 4.21	Häufigkeiten der Maluspunkte für Chlorid bei Wasserwerken und GWMS. . . . .	53
Abb. 4.22	Trendergebnisse für Chlorid . . . . .	54
Abb. 4.23	Häufigkeiten der Maluspunkte für Sulfat bei Wasserwerken und GWMS . . . . .	55
Abb. 4.24	Ausschnitt der Parameterkarte Sulfat . . . . .	56
Abb. 4.25	Trendergebnisse für Sulfat . . . . .	56
Abb. 4.26	Ausschnitt der Karte der Trendergebnisse für Sulfat . . . . .	57
Abb. 4.27	Ausschnitt der Parameterkarte Kalium . . . . .	59
Abb. 4.28	Häufigkeiten der Maluspunkte für Kalium bei Wasserwerken und GWMS. . . . .	59
Abb. 4.29	Trendergebnisse für Kalium . . . . .	60
Abb. 4.30	Häufigkeiten der Maluspunkte für ortho-Phosphat bei Wasserwerken und GWMS . . . . .	61

Abb. 4.31	Ausschnitt der Parameterkarte ortho-Phosphat . . . . .	62
Abb. 4.32	Trendergebnisse für ortho-Phosphat . . . . .	62
Abb. 4.33	Häufigkeiten der Maluspunkte für Bor bei Wasserwerken und GWMS. . . . .	63
Abb. 4.34	Ausschnitt der Parameterkarte Bor. . . . .	64
Abb. 4.35	Trendergebnisse für Bor . . . . .	64
Abb. 4.36	Häufigkeiten der Maluspunkte für Pflanzenschutzmittel-Einzelstoffe bei Wasserwerken und GWMS. . . . .	65
Abb. 4.37	Ausschnitt der Parameterkarte Pflanzenschutzmittel. . . . .	66
Abb. 4.38	Ausschnitt der Karte der Gesamtbewertung . . . . .	67
Abb. 4.39	Gesamtbewertung der Wasserwerke (Brunnen und Rohmischwasser) für den Zeitraum 2000 – 2019 (Teilprojekt 11) . . . . .	69
Abb. 4.40	Gesamtbewertung der Grundwassermessstellen für den Zeitraum 2000 – 2019 (Teilprojekt 11) . . . . .	69
Abb. 4.41	Darstellung der Überschreitungen der Stoffgruppen weiterer Parameter . . . . .	71
Abb. 4.42	Beispiel für die Darstellung der Überschreitungen weiterer Parameter . . . . .	71
Abb. 4.43	Häufigkeit der Überschreitungen bei den weiteren Belastungsparametern . . . . .	72
Abb. 4.44	Regionale Verteilung der 290 Wasserwerke mit der Anzahl von zur Auswertung mit GEBAH nutzbaren Analysen (Stand 2015) . . . . .	73
Abb. 4.45	Fließdiagramm der sechs Klassen zur Ausweisung der salinaren Beeinflussung von Wasserwerken . . . . .	75
Abb. 4.46	Ergebnis der Einteilung in die sechs Klassen zur Beurteilung des salinaren Einflusses (Stand 2015) . . . . .	77
Abb. 4.47	Zeitliche Entwicklung der Abhängigkeit zwischen hoher Chloridkonzentration und niedrigem Genetischen Grundverhältnis (GGV) – in Form von Ganglinien . . . . .	78
Abb. 4.48	Zeitliche Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit einer Messstelle aus dem nicht salinaren in den salinaren Einflussbereich – in Form von Ganglinien . . . . .	78

Abb. 4.49	Anteile der 15 meistverkauften Wirkstoffe am Herbizid-Gesamtumsatz in Brandenburg für 2014 und deren Anteile in den Erhebungen 1998/99, 2001, 2003 und 2009 . . . . .	79
Abb. 4.50	Häufigkeitsverteilung der Urankonzentration für Brunnen und Rohmischwasser	80
Abb. 4.51	Häufigkeitsverteilung der Urankonzentration für Grundwassermessstellen . . .	81
Abb. 5.1	Veränderung der Gesamtbewertung der Wasserwerke (Brunnen und Rohmischwasser) gegenüber Teilprojekt 6 . . . . .	83



# Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Vergleich der Anzahl aktiver Wasserversorgungsunternehmen (WVU), Wasserwerke (WW), Brunnen und Grundwassermessstellen (GWMS) in den Teilprojekten 8A – 11 . . . . .	19
Tab. 2.2	Anzahl Analysen und Messwerte in der Projektdatenbank nach Messstellenart (Stand 2019) . . . . .	19
Tab. 3.1	Qualitätssicherungs- (QS-) Klassen und Betrag des Ionenbilanzfehlers ( IBF ) .	20
Tab. 3.2	Unterschiede von berechnetem Ionenbilanzfehler (IBF) und Laborangabe . . . .	21
Tab. 4.1	Anzahl der Brunnen und Grundwassermessstellen (GWMS) mit mindestens zweimaliger Überschreitung des jeweiligen Vergleichswertes (VW) im Zeitraum 2015 – 2019 . . . . .	24
Tab. 4.2	Beurteilungskriterien (Vergleichswerte, VW) und Parameterauswahl zur Auswertung von Analysen . . . . .	25
Tab. 4.3	Statistische Kennwerte für Chlorid mit farbiger Hervorhebung von Überschreitungen der Vergleichswerte . . . . .	29
Tab. 4.4	Übersicht zu Datengrundlage und Ergebnissen der Trendberechnung . . . . .	37
Tab. 4.5	Zusammenstellung der Parameterrends. . . . .	38
Tab. 4.6	Trendkategorien für Wasserwerke auf Basis der Trendergebnisse von Brunnen	41
Tab. 4.7	Klassifizierung der Parameterkonzentrationen mittels der Perzentil- oder Maximalkonzentrationsauswertung. . . . .	43
Tab. 4.8	Beispiel für wasserwerksbezogene statistische Kennzahlen von vier der sieben Leitparameter und Auswertung der Maluspunktzahlen für die klassifizierte Darstellung . . . . .	44
Tab. 4.9	Gesamtbewertung der Wasserwerke anhand von vier anthropogenen Einflussgraden . . . . .	68
Tab. 4.10	Analysenbezogene Klassifizierung der GEBAH-Ergebnisse . . . . .	74
Tab. 5.1	Anzahl der Änderungen des anthropogenen Einflussgrads von Wasserwerken gegenüber Teilprojekt 6 . . . . .	84

# Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
Ana.	Analyse(n)
Anz.	Anzahl
AOX	adsorbierbare organisch gebundene Halogene
BG	Bestimmungsgrenze
Br.	Brunnen
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff (dissolved organic carbon)
einschl.	einschließlich
EK	Eingangskontrolle
EPA	Environmental Protection Agency
FOK	Filteroberkante
FUK	Filterunterkante
GCI	Grundwasser Consulting Ingenieurgesellschaft
GEBAH	Genetische Bewertung von Analysen der Hydrosphäre
GFS	Geringfügigkeitsschwellenwert (nach LAWA)
GGV	Genetisches Grundverhältnis
GIS	Geografisches Informationssystem
GMS	Grundwassermonitoringsystem
GOK	Geländeoberkante
GOW	Gesundheitlicher Orientierungswert (des UBA)
GrwV	Grundwasserverordnung
GW	Grenzwert
GWL	Grundwasserleiter
GWMS	Grundwassermessstelle
HGW	Hintergrundwert
HÜK200	Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland im Maßstab 1 : 200.000
IBF	Ionenbilanzfehler
Ident.-Nr.	Identifikationsnummer
k. A.	keine Angabe
Konz.	Konzentration
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LfU	Landesamt für Umwelt Brandenburg
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen
LHKW	leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
logarithm.	logarithmisch
LUGV	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz
Max.	Maximum
max.	maximal
mind.	mindestens
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MUNR	Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung
N	Anzahl (in Formeln)
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	polychlorierte Biphenyle
PCE	Perchlorethen (Tetrachlorethen)

<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
Perz.	Perzentil
PK	Prüfkriterium
PN	Probennahme
PSM	Pflanzenschutzmittel
PW	Prüfwert
QA	Quartilsabstand
QS-Klasse	Qualitätssicherungsklasse
RMW	Rohmischwasser
SW	Schwellenwert
TCE	Trichlorethen
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff (total organic carbon)
TP	Teilprojekt
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UBA	Umweltbundesamt
VW	Vergleichswert
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WVU	Wasserversorgungsunternehmen
WW	Wasserwerk
$\mu$	Mittelwert einer Verteilungsfunktion
$\sigma$	Standardabweichung einer Verteilungsfunktion

# Zusammenfassung

Im Jahr 2003 initiierte das Land Brandenburg das Projekt „Erfassung belastungsrelevanter Parameter in Rohwasserproben von Wasserwerken im Land Brandenburg“, um die Beschaffenheitsdaten der Wasserversorgungsunternehmen zu nutzen, den hydrochemischen Zustand des Grundwassers im Land besser zu beschreiben. Im Jahr 2010 wurden die Ergebnisse der ersten sechs Teilprojekte veröffentlicht. Mit der vorliegenden Broschüre werden die Ergebnisse der folgenden fünf Teilprojekte dokumentiert.

Das Projekt beinhaltet die regelmäßige Erfassung der Daten zu Brunnen und Grundwassermessstellen in einer GCI-GMS-Datenbank und deren Auswertung und Dokumentation.

Mit Stand September 2021 enthält die Datenbank Angaben zu 376 aktiven Wasserwerken von 84 Wasserversorgungsunternehmen, die 1.887 Betriebsbrunnen betreiben und 3.235 Grundwassermessstellen überwachen. In der Datenbank sind insgesamt 3.257 Brunnen und 3.246 Grundwassermessstellen erfasst. Von den zurzeit in Betrieb befindlichen Wasserwerken haben 121 eine Förderung von  $< 100 \text{ m}^3/\text{d}$ , 193 zwischen 100 und  $2.000 \text{ m}^3/\text{d}$  und 62 von  $> 2.000 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Für das letzte Teilprojekt (TP11) wurden 8.363 Analysen neu erfasst. Die Datenbank enthält damit insgesamt 52.421 Analysen zu Brunnenwasser, 8.849 zu Rohmischwasser, 8.960 zu Reinwasser und 25.321 aus Grundwassermessstellen. Die Analysen umfassen 3.785.897 Einzelmesswerte. Alle in der Datenbank neu erfassten Analysedaten wurden auf Plausibilität geprüft und gegebenenfalls korrigiert beziehungsweise für die Auswertung gesperrt.

Mit dem GCI-GMS-Tool „WRRL-Trend“ wurden aufschlussbezogenen Trendberechnungen für sieben Leitparameter (Nitrat, Ammonium, Chlorid, Sulfat, Kalium, ortho-Phosphat, Bor)

an 5.302 Datenreihen durchgeführt. Davon haben 1.073 einen signifikant fallenden, 1.282 einen signifikant steigenden Trend.

Für den Zeitraum 2015 – 2019 wurden Überschreitungen von Vergleichswerten (Schwellenwert der Grundwasserverordnung (GrwV), Geringfügigkeitsschwellenwert nach LAWA, Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV), Prüfwert nach LfU) für 62 Parameter geprüft. Überschreitungen der Vergleichswerte treten vor allem bei Eisen, Mangan, Ammonium, DOC und TOC auf.

Die 2005 entwickelte Methodik zur Bewertung der Wasserwerke wurde in allen Teilprojekten eingesetzt. Sie basiert auf der Klassifizierung der Analysen unter Anwendung von univariater Statistik und der Prüfung von statistischen Kennzahlen gegen Prüfwertkonzentrationen. Die Prüfwerte sind so gewählt, dass bei ihrer Überschreitung eine Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit anzunehmen ist. Die Bewertung erfolgt getrennt für Brunnen- und Rohmischwasseranalysen einerseits und Grundwassermessstellenanalysen andererseits, da Brunnen- und Rohmischwasseranalysen integrale Auskünfte über die Grundwasserbeschaffenheit der Wasserwerkseinzugsgebiete geben, während Grundwassermessstellenanalysen punktuelle Informationen zur Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit in begrenzten Zuflusszonen von Wasserfassungen liefern können. Die Bewertungsmethodik wurde für die sieben Leitparameter sowie für die Parameter „elektrische Leitfähigkeit“ und „Pflanzenschutzmittel“ angewendet. Aus den sieben Leitparametern wurde als zusammenfassende Gesamtbewertung ein anthropogener Einflussgrad für die Wasserwerke und Grundwassermessstellen abgeleitet. 41 % der Wasserwerke (Brunnen- und Rohmischwasser) weisen keine oder nur eine geringe Beeinflussung des Grundwassers auf. 32 % sind erkennbar und 17 % deutlich erkennbar

in ihrer Qualität beeinträchtigt. Der Anteil der auffälligen Grundwassermessstellen ist deutlich höher (68 % erkennbar beziehungsweise deutlich erkennbar beeinflusst).

Für 5 % der Wasserwerke hat sich der Zustand im Vergleich zum Teilprojekt 6 (Veröffentlichung 2010) verbessert, für 6 % jedoch verschlechtert.

Die Auswertung weiterer Belastungsparameter aus sechs Stoffgruppen ergab Überschreitungen des Geringfügigkeitsschwellenwert nach LAWA oder des Grenzwerts nach TrinkwV in Brunnen, Rohmischwasser oder Grundwassermessstellen bei 39 Wasserwerken (vor allem bei LHKW/Vinylchlorid, anorganischen Stoffen und Pflanzenschutzmitteln).

Uran stellt einen Belastungsparameter dar, der in einigen Brandenburger Wasserwerken und den zugehörigen Grundwassermessstellen bereits Konzentrationen in der Größenordnung des Grenzwerts der TrinkwV erreicht. Die erhöhten Urankonzentrationen resultieren im Wesentlichen aus dem Abbau des durch Düngung eingetragenen Nitrats.

Als Konsequenz aus der Bewertung der Salinarbelastung von Wasserwerken ist es erforderlich, die weitere Überwachung der salinaren Beeinflussung regelmäßig durchzuführen. Dies ist eine grundlegende Aufgabe der Wasserversorgungsunternehmen, aber auch des jeweiligen Bundeslandes.

Die in Brandenburg täglich geförderten circa 465.000 m<sup>3</sup> Grundwasser zeichnen sich überwiegend durch eine gute Rohwasserbeschaffenheit aus. Diese ermöglicht es, über kostengünstige naturnahe Aufbereitungsverfahren Trinkwasser zu produzieren, das den Qualitätsanforderungen der Trinkwasserverordnung entspricht.

Die festgestellten Beeinträchtigungen in einzelnen Wasserwerken zeigen aber die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Beobachtung und Auswertung der Grundwasserbeschaffenheit. Gerade im Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels ist die Sicherstellung einer guten Grundwasserqualität eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, die es zu bewältigen gilt.

# 1 Einleitung

In Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG, „EU-WRRL“) ist unter anderem der hydrochemische Grundwasserzustand nach definierten Vorgaben zu überwachen. Artikel 7 beinhaltet konkrete Anforderungen zum Monitoring des Trinkwassers und Artikel 8 zum Monitoring des Grundwassers und der Schutzgebiete. In der LAWA-Arbeitshilfe zur Umsetzung der WRRL wird darauf verwiesen, dass die Nutzung von Daten aus Trink- und Rohwasseranalysen der Wasserversorgungsunternehmen zur Beschreibung von Grundwasserkörpern und die Einbeziehung dieser Daten in Überwachungsprogrammen erforderlich ist. Sie sind dafür besonders geeignet, da sie den Zustand von großen Grundwassereinzugsgebieten gut repräsentieren. Weiterhin ergänzen diese Daten die Untersuchungen im Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit, die in den Berichten zur Grundwasserbeschaffenheit ausgewertet werden<sup>1, 2</sup>.

Das Landesamt für Umwelt erfasst seit 2003 auf Grundlage des Erlasses W/16/1999

des damaligen MUNR Brandenburg belastungsrelevante Parameter aus Rohwasseranalysen der Wasserwerke und ihrer Vorfeldmessstellen, Wasserstände und Entnahmemengen sowie die Stammdaten (einschließlich Schichtenverzeichnisse und Ausbaudaten) von den Brunnen und Grundwassermessstellen der Wasserwerke in einer Datenbank. Die Daten werden im Turnus von zwei bis drei Jahren abgefragt und ausgewertet.

Bisher wurden seit 2003 elf Teilprojekte mit dem Datenstand März 2020 realisiert. Die Ergebnisse der Teilprojekte 1 bis 6 wurden 2010 in einer Broschüre des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg zusammenfassend veröffentlicht<sup>9</sup>. Die vorliegende Broschüre schreibt die Dokumentation der Teilprojekte 7A bis 11<sup>3, 4, 5, 6, 7</sup> fort. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem aktuellen Teilprojekt 11, in dem die Daten der Jahre 2018 und 2019 erhoben und ausgewertet wurden<sup>7</sup>.

### 2.1 Aktualisierung der Angaben zu Wasserwerken und zu deren Einzugsgebieten

In den Teilprojekten wurden bei den Wasserversorgungsunternehmen Informationen zu den Wasserwerken, insbesondere Stilllegungen und Inbetriebnahmen angefragt.

Zum Zeitpunkt des Teilprojekts 6 (2009) waren 91 Wasserversorgungsunternehmen mit 909 Wasserwerken (WW), von denen 480 betrieben wurden, bekannt. Von 264 Wasserwerken lagen hydrodynamische Einzugsgebiete vor.<sup>9</sup>

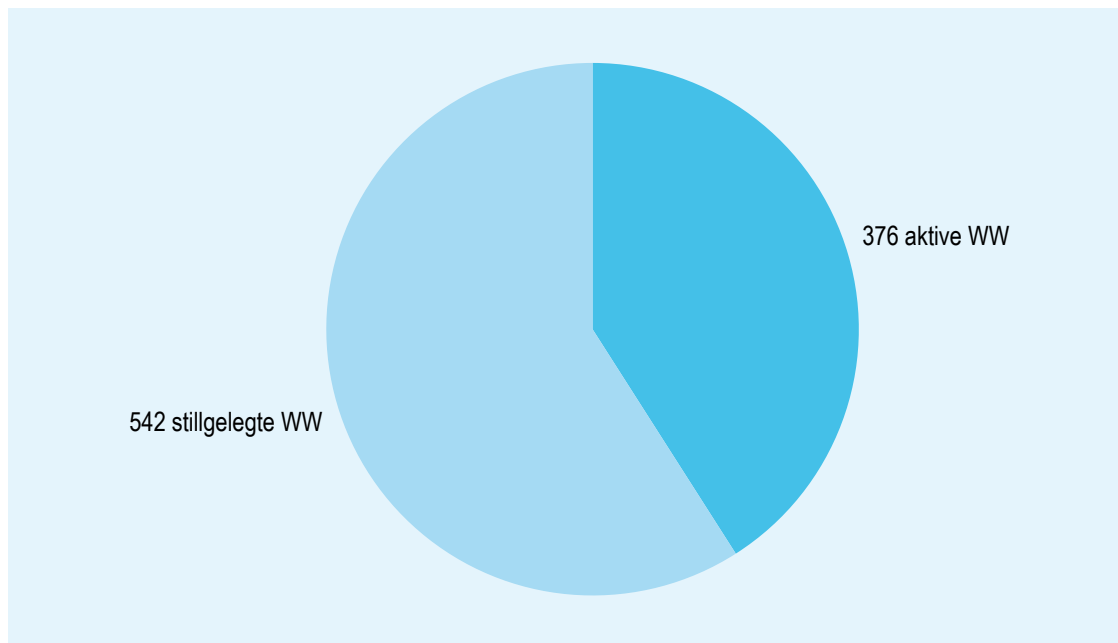
Im Erfassungszeitraum des Teilprojekts 11 (2018 – 2019) wurden keine neuen Wasserwerke in Betrieb genommen. Fünf Wasserwerke wurden stillgelegt. Zum Projekt-

abschluss 2021 waren in der Datenbank 84 Wasserversorgungsunternehmen mit 918 Wasserwerken abgelegt, von denen 376 betrieben werden (Abbildung 2.1). Die Zahl der aktiven Wasserwerke hat sich somit merklich verringert. Die Karte in Anlage 1 zeigt die Wasserwerksstandorte mit der mittleren Förderung, die Grundwassermessstellen der Wasserversorgungsunternehmen und die Anzahl der verfügbaren Analysen.

Vom LfU Brandenburg wurden die Einzugsgebiete der Wasserwerke mit Stand 2018 zusammengestellt und als Shapefile veröffentlicht<sup>8</sup>. Darin sind unterirdische Einzugsgebiete von 285 Wasserwerken enthalten. Für 17 Wasserwerke konnten insgesamt 47 voneinander unterscheidbare Fassungen beziehungsweise Brunnengalerien ausgewiesen werden.

Abb. 2.1

Aktive und stillgelegte Wasserwerke (WW) in Brandenburg (Stand 2019)



## 2.2 Aktualisierung der Jahresfördermengen mit den Daten von 2019

Im Teilprojekt 6 lagen Fördermengen zu 480 aktiven Wasserwerken für das Jahr 2007 vor (Abbildung 2.2). Das Gesamtfördervolumen in Brandenburg betrug circa 400.000 m<sup>3</sup>/d. 403 Wasserwerke förderten weniger als 1.000 m<sup>3</sup>/d, was einen Anteil von circa 84 % an den aktiven Wasserwerken darstellt. Eine durchschnittliche Tagesförderung von über 2.000 m<sup>3</sup>/d wurde von 52 Wasserwerken (11 %) erreicht. Die mit Abstand höchste Entnahmemenge wies das WW Stolpe der Berliner Wasserbetriebe mit rund 55.990 m<sup>3</sup>/d (14 % der Gesamtförderung in Brandenburg) auf.

Im Teilprojekt 11 wurden die Fördermengen der Wasserentgeltstelle aus dem Jahr 2019 (für einige Wasserwerke wegen fehlender Daten ersatzweise 2018) für 376 Wasserwerke ausgewertet (Abbildung 2.3). Die durchschnittliche Gesamtfördermenge in Brandenburg erhöhte sich auf 465.000 m<sup>3</sup>/d im Vergleich zu 400.000 m<sup>3</sup>/d im Jahr 2007. 285 Wasserwerke (circa 76 %) entnahmen

weniger als 1.000 m<sup>3</sup>/d. Eine durchschnittliche Tagesförderung von über 2.000 m<sup>3</sup>/d wurde von 62 Wasserwerken (16 %) erreicht. Die mit Abstand höchste Entnahmemenge wies wiederum das WW Stolpe mit rund 66.750 m<sup>3</sup>/d (im Wesentlichen unverändert 14 % der Gesamtförderung in Brandenburg) auf.

Sowohl die Anzahl als auch der Anteil der Wasserwerke mit weniger als 1.000 m<sup>3</sup>/d haben sich gegenüber dem Teilprojekt 6 (Fördermengen von 2007) deutlich verringert, was vor allem auf einen Rückgang der sehr kleinen Wasserwerke (unter 100 m<sup>3</sup>/d) zurückzuführen ist. Auch der Anteil der Wasserwerke mit weniger als 1.000 m<sup>3</sup>/d an der Gesamtförderung in Brandenburg ging merklich zurück auf 13 %.

Im Gegenzug erhöhte sich der Anzahl der großen Wasserwerke mit einer Förderung von über 2.000 m<sup>3</sup>/d um zehn Wasserwerke (5 %).

Die Karte in Abbildung 2.4 zeigt die räumliche Verteilung der durchschnittlichen täglichen Entnahmen im Land Brandenburg mit Stand 2019.



Abb. 2.2

Häufigkeitsverteilung der durchschnittlichen Tagesfördermenge im Teilprojekt 6 (Daten 2007)

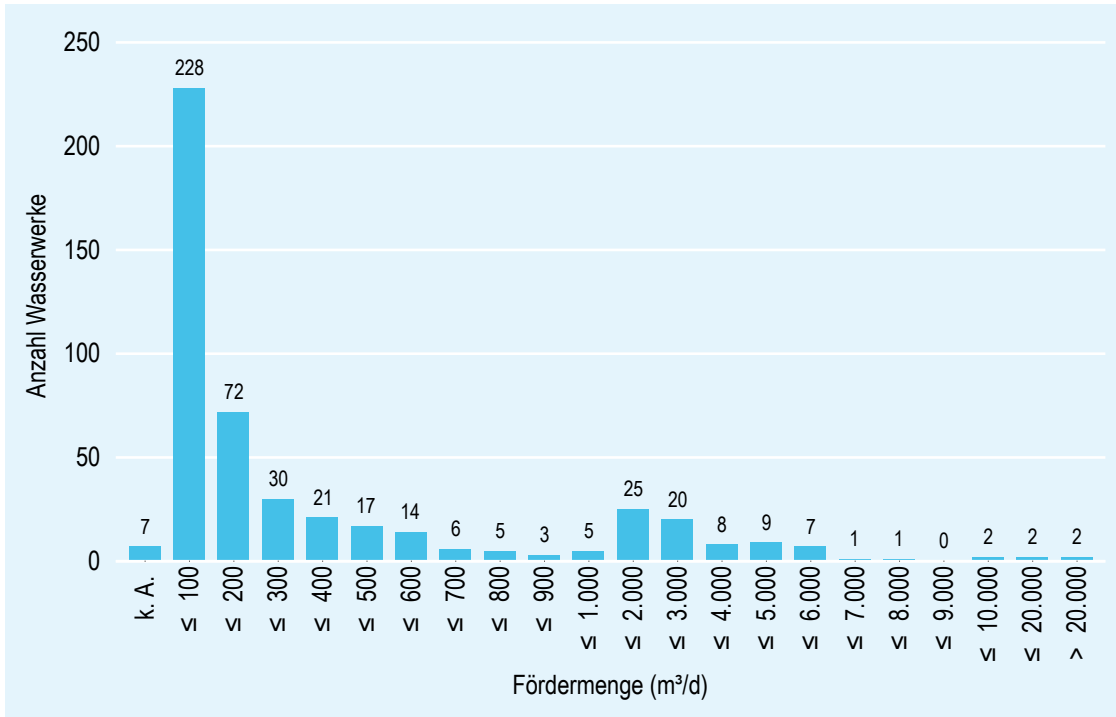


Abb. 2.3

Häufigkeitsverteilung der durchschnittlichen Tagesfördermenge im Teilprojekt 11 (Daten von 2019, ersatzweise 2018)

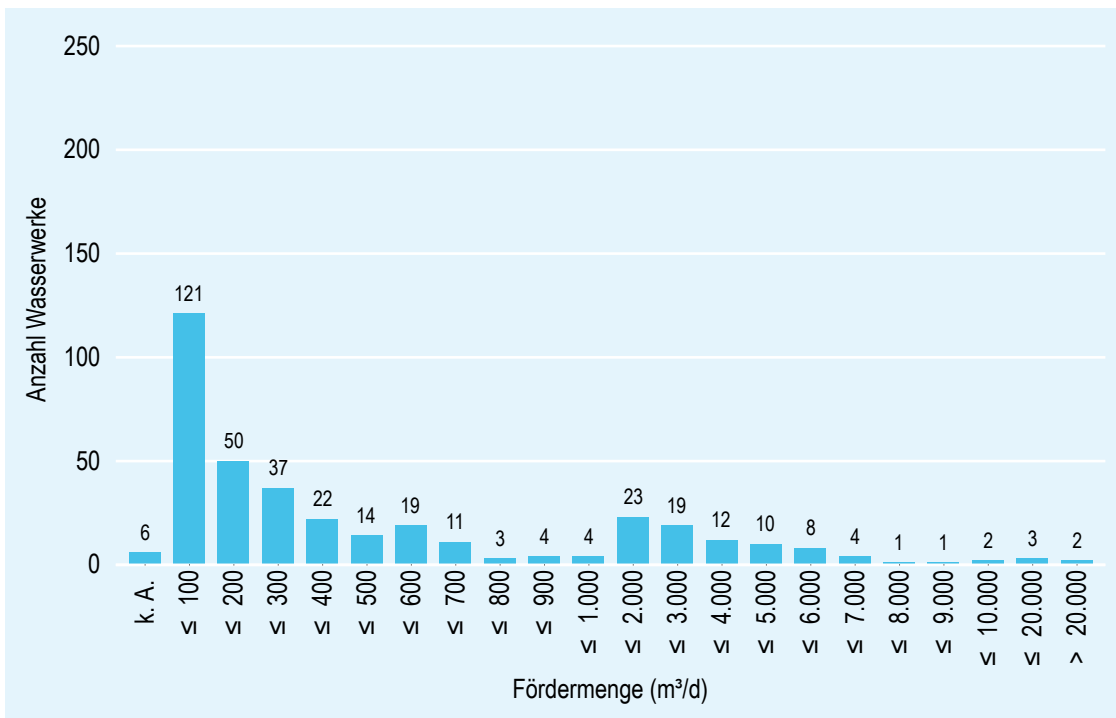
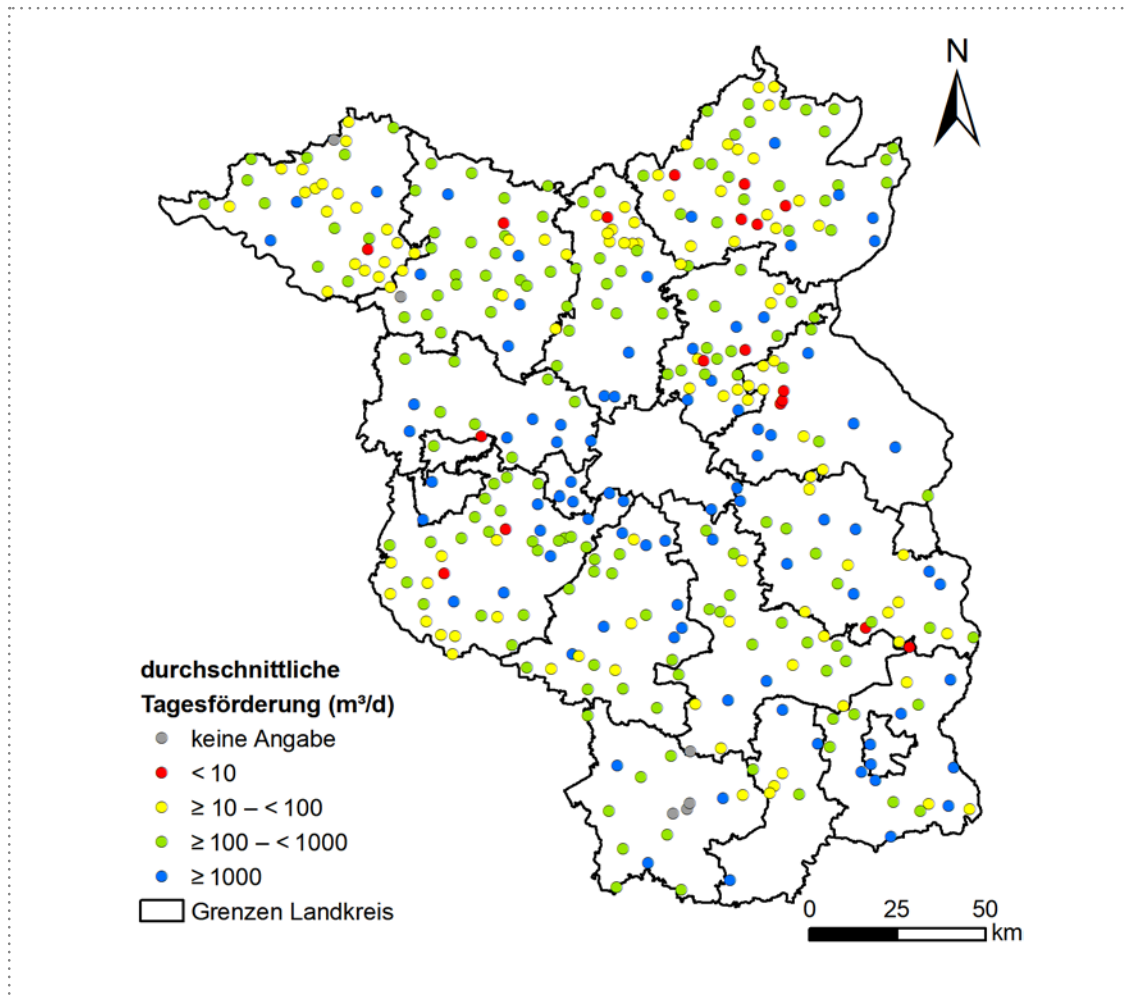


Abb. 2.4

### Räumliche Verteilung der durchschnittlichen Tagesförderung 2019 in den aktiven Wasserwerken



### 2.3 Veränderungen bei der Anzahl von Wasserwerken, Brunnen und Grundwassermessstellen

Im Erfassungszeitraum des Teilprojekts 11 haben 16 Wasserversorgungsunternehmen insgesamt 27 Brunnen und sechs Grundwassermessstellen stillgelegt. 21 Wasserversorgungsunternehmen haben neue Brunnen oder Grundwassermessstellen errichtet. In den letzten Teilprojekten nahm die Anzahl von Grundwassermessstellen kontinuierlich

zu, die Anzahl der aktiven Brunnen veränderte sich hingegen nur wenig. Tabelle 2.1 stellt die Anzahl von Wasserversorgungsunternehmen, aktiven Wasserwerken, Brunnen und Grundwassermessstellen in den Teilprojekten 8A bis 11 dar.

In den vorherigen Teilprojekten und im Teilprojekt 11 war festzustellen, dass kleinere Wasserwerke oft über keine oder nur eine unvollständige Dokumentation ihrer Brunnen und Grundwassermessstellen verfügen.

## 2.4 Stand der Erhebung von Analysen

Im Rahmen des Teilprojekts 11 wurden von den Wasserversorgungsunternehmen insgesamt 8.363 Analysen übergeben. Die Gesamtzahl der in der Projektdatenbank vorliegenden Analysen und Messwerte, untergliedert nach der Messstellenart, ist in Tabelle 2.2 zusammengestellt. Es sind un-

gefähr doppelt so viele Brunnenanalysen wie Analysen von Grundwassermessstellen vorhanden. Roh- und Reinwasseranalysen machen nur einen nachgeordneten Anteil aus.

Gegenüber dem Teilprojekt 6 erhöhte sich die Anzahl von Brunnenanalysen um etwa 22.300 und die Anzahl von Grundwassermessstellenanalysen um etwa 13.700.

Tab. 2.1 Vergleich der Anzahl aktiver Wasserversorgungsunternehmen (WVU), Wasserwerke (WW), Brunnen und Grundwassermessstellen (GWMS) in den Teilprojekten 8A – 11						
Stand	WVU	aktive WW	aktive Brunnen	aktive GWMS		
				gesamt	FUK ≤ 50 m	FUK > 50 m
Sep. 2014 TP8A	86	428	1.870	2.056		
Okt. 2017 TP9B	84	390	1.849	3.028		
März 2019 TP10	83	384	1.824	3.174	1.916	507
März 2021 TP11	84	376	1.887	3.235	2.146	564

Tab. 2.2 Anzahl Analysen und Messwerte in der Projektdatenbank nach Messstellenart (Stand 2019)		
Messstellenart	Anzahl Analysen	Anzahl Messwerte
GWMS	25.321	1.116.730
Brunnen	52.421	2.195.364
Rohmischwasser	8.849	242.778
Reinwasser	8.960	231.025

### 3 Plausibilitätsprüfung der erhobenen Analysen

In jedem Teilprojekt wurden die bei den Wasserwerken neu erhobenen Beschaffenheitsanalysen auf Plausibilität geprüft. Im Folgenden werden Vorgehensweise und Ergebnisse der Prüfung im Teilprojekt 11 (Erfassungszeitraum der Daten 2018 – 2019) beschrieben.

Zur Plausibilisierung der Analysen existiert im Programm GCI-GMS ein neues Werkzeug, die sogenannte „Plausibilitätsprüfung Grundwasserbeschaffenheit“. Sie umfasst zum einen die Eingangskontrollen (EK), bei denen zum einen formale Angaben zur Analyse geprüft werden und zum anderen die Prüfkriterien (PK), die die hydrogeochemische Plausibilität von einzelnen Messwerten, Parameterpaaren und ganzen Analysen bewerten<sup>10</sup>.

Mithilfe der LfU-Plausibilitätsprüfung konnten zahlreiche fehlerhafte Analysen identifiziert und berichtigt werden, gegebenenfalls in Rücksprache mit den Wasserversorgungsunternehmen und ihren Laboren.

Eine wesentlichen Kriterium für die Bewertung der Plausibilität ist der Ionenbilanzfehler

(IBF, berechnet in PK 3.1), der die prozentuale Abweichung der Summe der Ladungen vom theoretischen Sollwert 0 ausdrückt. Anhand des Betrags des Ionenbilanzfehlers (|IBF|) wird den Analysen eine Qualitätssicherungsklasse (QS-Klasse) zugeordnet. Die QS-Klassen sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst. In knapp der Hälfte der Analysen liegen nicht alle Hauptionen vor (QS-Klasse 5), mehr als ein Viertel der Analysen hat einen sehr guten IBF von unter 2 % (QS-Klasse 1). Die Abbildung 3.1 zeigt die Häufigkeitsverteilung des Ionenbilanzfehlers.

Zu 2.272 Analysen teilten die Labore einen Ionenbilanzfehler mit. Dieser unterscheidet sich häufig von der Berechnung der LfU-Plausibilitätsprüfung (PK 3.2, Tabelle 3.2). Kleinere Unterschiede können aus unterschiedlichen Berechnungsansätzen (insbesondere bei Hydrogenkarbonat und Säurekapazität) herrühren. Die Ursachen der gravierenden Abweichungen sind unklar. Berechnungsfehler oder die Nichtberücksichtigung einzelner Ionen können zugrunde liegen.

QS-Klasse	IBF  (%)	Anzahl Analysen	Anteil an Gesamtanalysezahl (%)
1	0 – < 2	2.375	28,3
2	≥ 2 – < 5	1.518	18,1
3	≥ 5 – < 10	214	2,6
4	≥ 10	162 (davon 56 Analysen > 20 %)	1,9 (0,7)
5	unvollständige Analyse	4.111	49,1

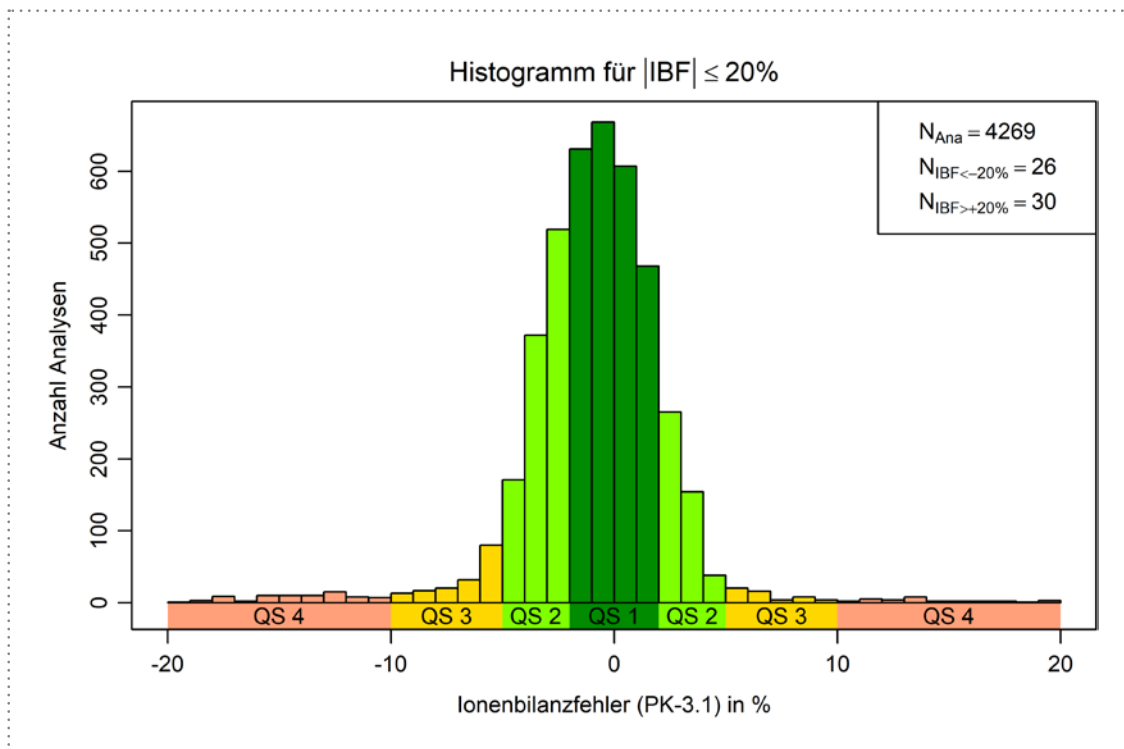
Tab. 3.2

Unterschiede von berechnetem Ionenbilanzfehler (IBF) und Laborangabe

Differenz berechn. IBF – Angabe Labor	Anzahl
≥ -175 ... -20	194
≥ -20 ... -10	10
≥ -10 ... -5	218
≥ -5 ... -2	506
≥ -2 ... +2	1.144
≥ +2 ... +5	128
≥ +5 ... +10	59
≥ +10 ... +20	2
≥ +20 ... +175	11

Abb. 3.1

Häufigkeitsverteilung des Ionenbilanzfehlers der Analysen im Zeitraum 2018/2019



# Auswertung, Bewertung und Darstellung der Analyseergebnisse

Das LfU lässt im Turnus von zwei bis drei Jahren landesweit wasserwerksbezogene Daten aus- und bewerten. Im Zeitraum 2009 – 2019 wurden fünf wasserwerksübergreifende Auswertungen und eine wasserwerksbezogene Auswertung der Analysen von Brunnen, Rohmischwasser und Grundwassermessstellen (GWMS) durchgeführt<sup>3, 4, 5, 6, 7</sup>. Hierbei wurden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Häufigkeit der Überschreitung von Vergleichswerten
- primärstatistische Auswertung:
  - tabellarische Zusammenstellung von statistischen Kennwerten für ausgewählte Parameter
  - grafische Darstellung der Häufigkeitsverteilungen (Histogramme) für ausgewählte Parameter
  - Spannweitendiagramme (Boxplots) für ausgewählte Parameter
- Trendanalyse für sieben Leitparameter
- Bewertung von neun Parametern
- Gesamtbewertung anhand der sieben Leitparameter

Im Folgenden werden die Auswertungsverfahren, die zugrunde liegende Parameterauswahl und verwendeten Vergleichswerte sowie die Ergebnisse der Auswertungen für den Zeitraum 2018/2019 (Teilprojekt 11) vorgestellt.

## 4.1 Auswahl der Beurteilungsparameter und Vergleichswerte

Zur Beurteilung von Beschaffenheitsparametern liegen Werte aus verschiedenen Quellen mit unterschiedlicher rechtlicher Verbindlichkeit vor. Als Überbegriff für diese Werte wird der Begriff „Vergleichswert“ (VW) eingeführt. In den Projekten zur Rohwasserbeschaffenheit werden folgende Vergleichswerte verwendet, in der Reihenfolge absteigender Priorität:

1. Schwellenwert (**SW**) der Grundwasserverordnung (GrwV 2017)
2. Geringfügigkeitsschwellenwert (**GFS**) der LAWA (2016)
3. Grenzwert (**GW**) der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2019)
4. Prüfwert (**PW**) des LfU Brandenburg (2015)
5. Hintergrundwert (**HGW**) der Hydrogeologischen Übersichtskarte Deutschland 1 : 200.000 (HÜK200 2014)

Tabelle 4.1 zeigt die vorhandenen Vergleichswerte für die in den Projekten ausgewerteten Parameter. Fett hervorgehoben sind dabei jeweils die verwendeten Vergleichswerte. Weiterhin zeigt die Tabelle, für welche Parameter Tabellen mit statistischen Kennwerten und statistischen Diagrammen (Häufigkeitsverteilungen, Spannweitendiagramme) erstellt wurden und welche Parameter als Leitparameter für die Trendanalyse und die wasserwerksbezogene Bewertung verwendet wurden.

## 4.2 Überschreitung von Vergleichswerten

*Betrachtungszeitraum: 5 Jahre (2015 – 2019)*

Die insgesamt 18.988 Analysen von Brunnen, Rohmischwasser und Grundwassermessstellen wurden auf Überschreitung der Vergleichswerte geprüft. Das Balkendiagramm in Abbildung 4.1 (links) zeigt für 22 ausgewählte Parameter die prozentualen Anteile von Messwerten unter beziehungsweise über der analytischen Bestimmungsgrenze (BG) und über dem Vergleichswert. Das Balkendiagramm rechts zeigt den Anteil an Analysen, die einen Messwert für den jeweiligen Parameter enthalten. Hauptinhaltsstoffe wie Chlorid oder Eisen werden häufiger als beispielsweise Schwermetalle oder organische Verbindungen untersucht.

Auffällig ist die hohe Anzahl von Überschreitungen von Eisen und Mangan. Dabei ist jedoch zu beachten, dass *Grundwasser* aus Grundwassermessstellen und Brunnen betrachtet und mit den entsprechenden Grenzwerten von *Trinkwasser* verglichen wird, die sich auf aufbereitetes Wasser im Leitungsnetz beziehen. Diese liegen mit 0,2 mg/l für Eisen und 0,05 mg/l für Mangan deutlich unter den typischen geogenen Konzentrationen. Die Hintergrundwerte der Grundwässer Brandenburgs liegen nach der Hydrogeologischen Übersichtskarte Deutschland (HÜK200) im Bereich 0,5 – 4,6 mg/l für Eisen beziehungsweise 0,1 – 0,5 mg/l für Mangan. Eisen und Mangan können durch die Aufbereitung des Rohwassers in den Wasserwerken entfernt werden, sodass aus den hier beobachteten Überschreitungen generell keine Beeinträchtigung für die Wasserversorgung und die Grundwasserbeschaffenheit abgeleitet werden kann.

Der Parameter mit dem ansonsten am häufigsten überschrittenen Vergleichswert ist Ammonium. Die Vergleichswerte für die anderen Stickstoffspezies und von ortho-Phosphat werden deutlich seltener überschritten.

Für Uran liegen nur 1.647 Analysen vor, da dieser Parameter noch nicht zum üblichen Untersuchungsumfang gehörte. Der Anteil von Grenzwertüberschreitungen ist im Vergleich zu anderen Parametern relativ hoch. Die Analysen mit den Überschreitungen stammen von nur fünf Wasserwerken und konzentrieren sich auf ein Wasserwerk, bei dem Uran bereits als relevanter Belastungs-

parameter identifiziert wurde. Weil hauptsächlich in Wasserwerken mit bekannter Uranbelastung dieser Parameter untersucht wird und somit weniger Messwerte von unbelasteten Wasserwerken vorliegen, weisen die erfassten Daten eine systematische statistische Verzerrung auf. Uran wird im Abschnitt 4.10 eingehender diskutiert.

Von allen Parametern der Tabelle 4.2, für die Vergleichswerte vorliegen, wurden die Brunnen und Grundwassermessstellen ermittelt, bei denen im Zeitraum 2015 – 2019 der Vergleichswert wiederholt (das heißt mindestens zweimal) überschritten wurde. Tabelle 4.1 fasst die Ergebnisse zusammen. Auch hier fällt die große Anzahl von Brunnen und Grundwassermessstellen mit wiederholter Überschreitung des Grenzwerts nach TrinkwV für Eisen und Mangan auf. Bei den organischen Belastungen werden vor allem die Prüfwerte der unspezifischen Summenparameter AOX, DOC und TOC häufiger wiederholt überschritten. Der organische Einzelstoff mit den häufigsten wiederholten Überschreitungen ist Vinylchlorid. Die Belastungen konzentrieren sich hierbei auf zehn Wasserwerke, insbesondere im Umfeld von Berlin. In elf Brunnen und Grundwassermessstellen wurde der Schwellenwert der GrwV für die Pflanzenschutzmittel Bentazon, Dichlorprop oder Mecoprop wiederholt überschritten. In fünf dieser Brunnen und Grundwassermessstellen betraf dies sowohl Dichlorprop als auch Mecoprop. Pflanzenschutzmittel werden im Abschnitt 4.9 eingehender diskutiert.

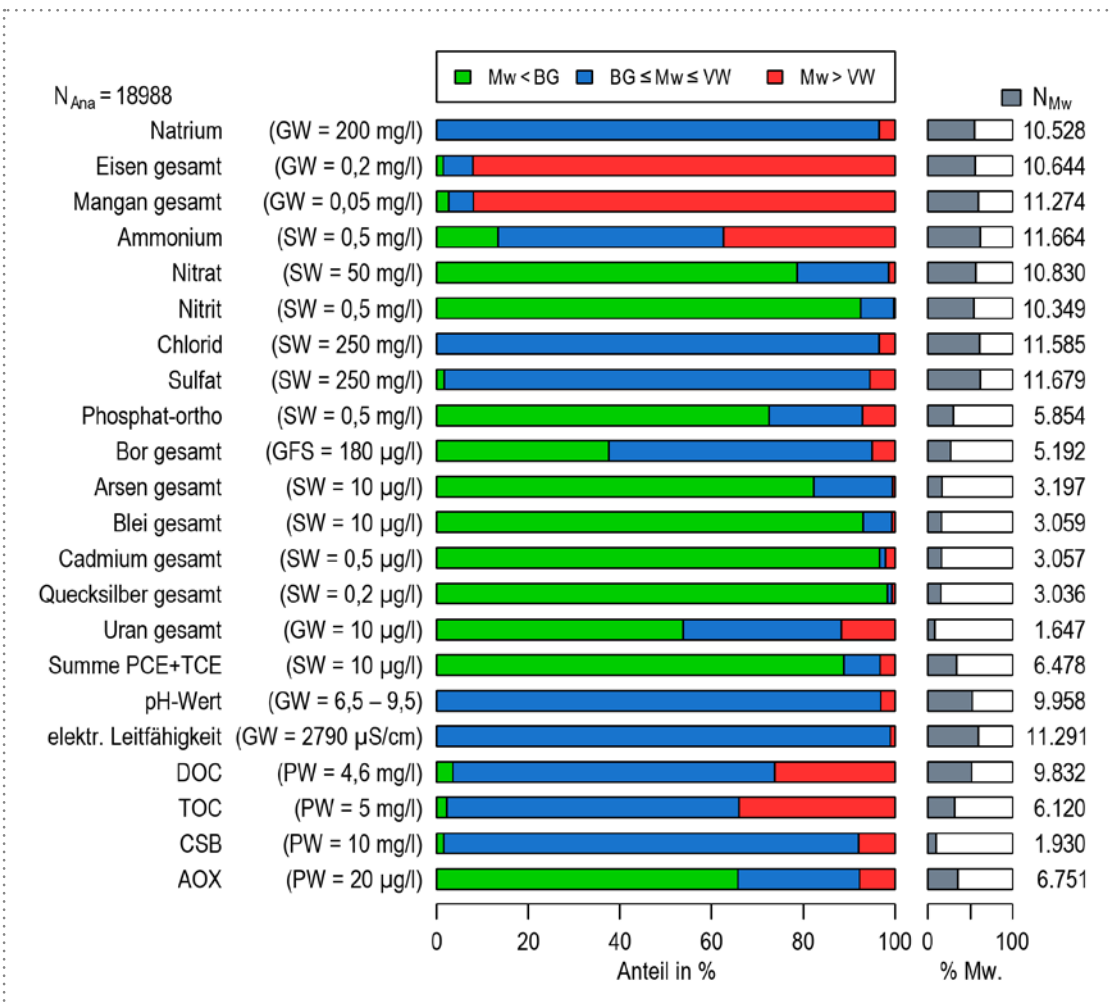
**Tab. 4.1** Anzahl der Brunnen und Grundwassermessstellen (GWMS) mit mindestens zweimaliger Überschreitung des jeweiligen Vergleichswertes (VW) im Zeitraum 2015 – 2019

Parameter	VW	Anzahl GWMS	Anzahl Brunnen
elektrische Leitfähigkeit	GW	26	2
pH-Wert	GW	32	25
Natrium	GW	66	6
Ammonium	SW	316	394
Chlorid	SW	71	9
Nitrat	SW	28	2
Sulfat	SW	64	19
Nitrit	SW	2	
ortho-Phosphat	SW	32	39
Bor gesamt	GFS	39	15
Arsen gesamt	SW	4	
Eisen gesamt	GW	781	1.102
Mangan gesamt	GW	769	1.088
Aluminium gesamt	GW	13	8
Barium gesamt	GFS	3	4
Blei gesamt	SW	3	1
Cadmium gesamt	SW	4	
Chrom gesamt	GFS	4	
Kupfer gesamt	GFS	5	6
Nickel gesamt	GFS	12	5
Uran gesamt	GW	7	4
Zink gesamt	GFS	19	
AOX	PW	85	24
TOC	PW	217	169
DOC	PW	270	300
CSB	PW	28	3
1,2-Dichlorethan	GFS	1	2
Vinylchlorid	GFS	47	38
Summe PCE+TCE	SW	3	4
Summe LHKW	GFS	16	8
Benzol	GFS	4	
Summe Benzo-(ghi)-Perylen + Indeno-(1,2,3-cd)-Pyren	GFS		1
Dichlorprop	SW	5	4
Mecoprop	SW	4	2
Bentazon	SW	1	



Abb. 4.1

Anteile von Messwerten < BG, ≥ BG bis ≤ VW und > VW. Der zugrunde gelegte VW (Vergleichswert) ist beim jeweiligen Parameter aufgeführt. BG = Bestimmungsgrenze, Mw = Messwert, N<sub>Ana</sub> = Anzahl aller ausgewerteten Analysen, N<sub>Mw</sub> = Anzahl der ausgewerteten Messwerte für den jeweiligen Parameter.



Tab. 4.2

Beurteilungskriterien (Vergleichswerte, VW) und Parameterauswahl zur Auswertung von Analysen. Fett: verwendeter Vergleichswert zur Bewertung von Überschreitungen. (\*) = nur parameterbezogene Bewertung, nicht Teil der Gesamtbewertung

Parameter	Einheit	Vergleichswert (VW)				Art der Auswertung		
		SW GrwV (2017)	GFS LAWA (2016)	GW TrinkwV (2019)	PW LfU (2015)	Tabelle statistische Kennwerte	statistische Diagramme	Leitparameter Gesamtbewertung
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm			2.790	800	×	×	(*)
pH-Wert	–			6,5 – 9,5		×	×	
Natrium	mg/l			200		×	×	

Parameter	Einheit	Vergleichswert (VW)				Art der Auswertung		
		SW GrwV (2017)	GFS LAWA (2016)	GW TrinkwV (2019)	PW LfU (2015)	Tabelle statistische Kennwerte	statistische Diagramme	Leitparameter Gesamtbewertung
Kalium	mg/l				7	x	x	x
Calcium	mg/l					x	x	
Magnesium	mg/l					x	x	
Ammonium	mg/l	0,5		0,5	0,5	x	x	x
Chlorid	mg/l	250	250	250	50	x	x	x
Hydrogencarbonat	mg/l					x	x	
Sulfat	mg/l	250	250	250	130	x	x	x
Nitrat	mg/l	50		50	2	x	x	x
Nitrit	mg/l	0,5		0,5		x		
ortho-Phosphat	mg/l	0,5			0,3	x	x	x
Bromat	µg/l			10				
Fluorid	µg/l		900	1.500				
Bor gesamt	µg/l		180	1.000	150	x	x	x
Antimon gesamt	µg/l		5	5				
Arsen gesamt	µg/l	10	3,2	10		x		
Selen gesamt	µg/l		3	10				
Eisen gesamt	mg/l			0,2		x	x	
Mangan gesamt	mg/l			0,05		x	x	
Aluminium gesamt	µg/l			200				
Barium gesamt	mg/l		0,175					
Blei gesamt	µg/l	10	1,2	10		x		
Cadmium gesamt	µg/l	0,5	0,3	3		x		
Chrom gesamt	µg/l		3,4	50				
Kupfer gesamt	µg/l		5,4	2.000				
Nickel gesamt	µg/l		7	20				
Quecksilber gesamt	µg/l	0,2	0,1	1		x		
Uran gesamt	µg/l			10		x		
Zink gesamt	µg/l		60					
Cyanide, gesamt	µg/l			50				
AOX (adsorbierbare organisch gebundene Halogene)	µg/l				20	x		
TOC (gesamter organischer Kohlenstoff)	mg/l				5	x	x	
DOC (gelöster organischer Kohlenstoff)	mg/l				4,6	x	x	
CSB (chemischer Sauerstoffbedarf)	mg/l				10	x		

Parameter	Einheit	Vergleichswert (VW)				Art der Auswertung		
		SW GrwV (2017)	GFS LAWA (2016)	GW TrinkwV (2019)	PW LfU (2015)	Tabelle statistische Kennwerte	statistische Diagramme	Leitparameter Gesamtbewertung
Trichlormethan	µg/l		2,5					
1,2-Dibromethan	µg/l		0,02					
1,2-Dichlorethan	µg/l		3	3				
Vinylchlorid	µg/l		0,5	0,5				
Trichlorethen (TCE)	µg/l	5	5	5		×		
Tetrachlorethen (PCE)	µg/l	5	5	5		×		
Summe PCE + TCE	µg/l	10	10	10		×		
Summe LHKW	µg/l		20					
Benzol	µg/l		1	1				
Pentachlorbenzen	µg/l		0,007					
Hexachlorbenzen	µg/l		0,01					
Summe Chlorbenzole	µg/l		1					
Phenol beziehungsweise Phenolindex	µg/l		8					
Nonylphenol	µg/l		0,3					
Pentachlorphenol	µg/l		0,1					
Summe Chlorphenole	µg/l		1					
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	µg/l		0,01					
Epichlorhydrin	µg/l		0,1	0,1				
Kohlenwasserstoffe (MKW)	µg/l		100					
Fluoranthen	µg/l		0,1					
Benzo-(a)-Pyren	µg/l		0,01	0,01				
Dibenz-(a,h)-Anthracen	µg/l		0,01					
Anthracen	µg/l		0,1					
Summe Benzo-(b)-Fluoranthen + Benzo-(k)-Fluoranthen	µg/l		0,03					
Summe Benzo-(ghi)-Perylen + Indeno-(1,2,3-cd)-Pyren	µg/l		0,002					
Summe PAK nach EPA	µg/l		0,2					
PSM-Einzelstoffe (Wirkstoff oder relevanter Metabolit)	µg/l	0,1		0,1	0,1			(x)
PSM-Summe	µg/l	0,5		0,5				

## 4.3 Primärstatistische Auswertung

*Betrachtungszeitraum: 5 Jahre (2015 – 2019)*

Um einen landesweiten Überblick über die Grund- und Rohwasserbeschaffenheit zu erhalten, wurden für den Analysenbestand grundlegende statistische Auswertungen und Diagramme (Primärstatistik) erstellt, die in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben werden.

### 4.3.1 Tabellen der statistischen Kennwerte

Statistische Kennwerte wie der arithmetische Mittelwert, das 50. Perzentil (Median) und die 10. und 90. Perzentile eignen sich gut für orientierende Einschätzungen der Grund- und Rohwasserbeschaffenheit. Deshalb wurden für 28 Parameter (Tabelle 4.2) diese Kennwerte ermittelt:

- Anzahl der Messwerte
- Minimum, Maximum
- arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung
- 5. Perzentil, 10. Perzentil, 25. Perzentil, Median, 75. Perzentil, 90. Perzentil, 95. Perzentil
- Anzahl und Anteil der Messwerte unter Bestimmungsgrenze (< BG)
- Auflistung der angegebenen BG (BG mit  $\geq 3$  % aller Werte in Normalschrift, > 30 % in Fettschrift)

Die statistischen Kennwerte werden um Angaben zur Anzahl der Probennahmestellen (Brunnen, Rohmischwasser, Grundwassermessstellen) ergänzt:

- Anzahl Probennahmestellen gesamt
- Anzahl aktiver Probennahmestellen (das heißt weder Wasserwerk noch Probennahmestelle sind als stillgelegt markiert)
- Anzahl der auf diesen Parameter untersuchten Probennahmestellen

- Anzahl und Anteil der Probennahmestellen, in deren Analysen alle Messwerte < BG sind
- Anzahl und Anteil der Probennahmestellen mit mindestens einem Messwert > BG

Der Datenbestand des Zeitraums 2015 – 2019 wurde nach folgenden Kategorien untergliedert, für welche die statistischen Kennwerte jeweils berechnet und tabellarisch zusammengefasst wurden:

1. Brunnen, alle Messwerte
2. Brunnen mit Filterunterkante  $\leq 25$  m unter Geländeoberkante (GOK)
3. Brunnen mit Filterunterkante > 25 und  $\leq 50$  m unter GOK
4. Brunnen mit Filterunterkante > 50 m unter GOK
5. Brunnen, verfiltert im unbedeckten Grundwasserleiter (GWL)
6. Brunnen, verfiltert im bedeckten GWL
7. Grundwassermessstellen (GWMS), alle Messwerte
8. GWMS mit Filterunterkante  $\leq 25$  m unter GOK
9. GWMS mit Filterunterkante > 25 und  $\leq 50$  m unter GOK
10. GWMS mit Filterunterkante > 50 m unter GOK
11. GWMS, verfiltert im unbedeckten GWL
12. GWMS, verfiltert im bedeckten GWL
13. Rohmischwasser (RMW)
14. alle Werte aus Brunnen, GWMS und RMW

Waren in einer Kategorie über 50 % der Messwerte < BG, werden Mittelwert, Standardabweichung, Median und die weiteren Perzentile nicht angegeben. Überschreiten statistische Kennwerte einen Vergleichswert (Tabelle 4.2), werden sie farbig hervorgehoben. Die Tabellen zu den statistischen Kennwerten sind in Anlage 3 aufgeführt.

Tabelle 4.3 zeigt die statistischen Kennwerte für den Parameter Chlorid. An diesem Beispiel ist zu erkennen, dass bei den Brunnen (in allen Kategorien) nur der Maximalwert den Schwellenwert der GrwV von 250 mg/l überschreitet (violette Färbung). Bei den Analysen aller Grundwassermessstellen überschreitet das 95. Perzentil den Schwellenwert. Dies bedeutet, dass mindestens 5 % der Messwerte in dieser Kategorie über dem Schwellenwert liegen. Bei den tief verfilterten Grundwassermessstellen (FUK > 50 m

unter GOK) überschreitet bereits der Mittelwert den Schwellenwert. In dieser Kategorie liegen jedoch nur 218 der insgesamt 1.110 untersuchten Grundwassermessstellen. Insbesondere das 95. Perzentil und der Maximalwert sind sehr hoch, was auf einzelne geogen salinar beeinflusste Grundwassermessstellen zurückzuführen ist. Diese Kennwerte zeigen eine sehr schiefe Verteilung mit wenigen, aber sehr hohen Werten an, was zu einem hohen Mittelwert führt. Der Median wird davon nicht beeinflusst.

Tab. 4.3		Statistische Kennwerte für Chlorid mit farbiger Hervorhebung von Überschreitungen der Vergleichswerte													
Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW		Kennwerte, die die Vergleichswerte 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)									
Chlorid	mg/l	250	250	250	50	18,8 – 35,1									
Statistische Kennwerte															
	Brunnen						Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probennahmestellen	
	alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL				
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt			
Anzahl Probennahmestellen gesamt	3.257	559	1.164	941	1.077	1.852	3.246	1.477	708	577	1.539	1.251	621	7.124	
Anzahl aktive Probennahmestellen	1.856	375	742	629	719	1.066	3.136	1.436	685	554	1.505	1.192	370	5.362	
Anzahl untersuchte Probennahmestellen	1.393	281	560	465	507	826	1.110	535	295	218	549	479	56	2.559	
Anzahl Probennahmestellen immer <BG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Anteil Probennahmestellen 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	
Anzahl Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG	1.393	281	560	465	507	826	1.110	535	295	218	549	479	56	2.559	
Anteil Probennahmestellen mit mindestens 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	
Anzahl Messwerte	7.123	1.741	2.677	2.377	2.263	4.531	4.093	1.976	1.147	728	2.068	1.746	369	11.585	
Anzahl Messwerte <BG	3	0	1	1	0	3	1	1	0	0	1	0	0	4	
Anteil Messwerte <BG (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Minimum	0,05	4,65	1,68	1,99	1,68	0,05	0,50	0,50	3,2	2,0	0,50	2,0	4,79	0,05	
5. Perzentil	6,66	13	9,79	5,0	8,42	6,0	6,0	8,0	8,85	4,0	7,86	5,49	7,95	6,57	
10. Perzentil	9,73	19	13	6,0	11	8,86	9,0	12	13	6,0	11	7,98	11	9,42	
25. Perzentil	19	30	23	12	20	18	20	24	27	10	23	18	18	19	
Median	34	47	38	22	34	35	41	40	49	38	40	45	28	35	
Mittelwert	45	56	50	32	53	42	115	62	115	273	84	158	34	69	
75. Perzentil	54	78	53	43	60	54	80	70	107	167	71	99	40	61	
90. Perzentil	85	100	75	78	90	85	225	120	271	814	160	304	67	106	
95. Perzentil	107	130	107	93	123	100	388	199	428	1.297	306	622	71	184	
Maximum	1.260	279	1.260	269	1.260	269	8.702	774	3.260	8.702	2.196	8.702	139	8.702	
Standardabweichung	54	37	75	31	82	33	374	79	206	814	176	530	23	229	
Bestimmungsgrenzen	0,1; 5	-	5	5	-	0,1; 5	1	1	-	-	1	-	-	0,1; 1; 5	

Hinweis: die Tabelle ist in größerer Auflösung auch Bestandteil von Anlage 3

### 4.3.2 Häufigkeitsverteilungen

Histogramme stellen die Häufigkeitsverteilung von Messwerten grafisch dar. Dazu wird der Wertebereich in Klassen eingeteilt und die Anzahl der Messwerte, die in eine Klasse fallen, durch die Höhe des Balkens wiedergegeben. Die Häufigkeitsverteilungen von Konzentrationen sind meist linkssteil beziehungsweise rechtsschief, das heißt die Häufigkeiten fallen von ihrem Maximum Richtung 0 (nach links) steil ab, während sie sich in Richtung hoher Werte (nach rechts) weiter erstrecken. Deshalb wird in den hier dargestellten Histogrammen eine logarithmierte Konzentrationsachse verwendet, auf der die niedrigen Konzentrationsbereiche feiner aufgelöst und die hohen Bereiche gestaucht sind.

Im Projekt wurden Histogramme für 17 Parameter (Tabelle 4.2) getrennt für

- Brunnen + Rohmischwasser
- Grundwassermessstellen

dargestellt. Die Klasseneinteilung der Histogramme wurde an den Vergleichswerten ausgerichtet und deckt den Wertebereich der jeweiligen Parameter weitgehend ab. Auf der Konzentrationsachse sind die Bestimmungsgrenzen, die mehr als 30 % der Werte < BG ausmachen, als schwarzes Dreieck, die Hälfte dieser Bestimmungsgrenzen als graues Dreieck und der Vergleichswert als rotes Dreieck gekennzeichnet. In der Legende sind alle Bestimmungsgrenzen, die mindestens 3 % aller Werte < BG ausmachen, aufgeführt. Die Bestimmungsgrenzen, die mehr als 30 % der Werte < BG betreffen, sind fett gesetzt (analog zu den Tabellen der statistischen Kennwerte, Abschnitt 4.3.1).

Theoretisch sollte die Häufigkeitsverteilung von Konzentrationen einer Lognormalverteilung folgen, das heißt sich in einem log-

arithmisch dargestellten Histogramm der Gaußschen Glockenkurve annähern. In den Diagrammen wurde deshalb eine Lognormalverteilung an die Daten angepasst (orange Linie) und in der Legende der Mittelwert  $\mu$  und die Standardabweichung  $\sigma$  (Maß für die Breite der Verteilung beziehungsweise Streuung der Daten) angegeben.

Als Beispiele sind in den Abbildungen 4.2 und 4.3 Häufigkeitsverteilungen von Chlorid dargestellt. Die Histogramme zeigen für die Brunnen- und Rohmischwasseranalysen eine eingipflige Lognormal-Verteilung mit einem Mittelwert von 31 mg/l. Die Verteilung der Grundwassermessstellen ist leicht rechtsschief mit einem Mittelwert von 43 mg/l und erstreckt sich weiter in Richtung höherer Konzentrationen. Dies weist darauf hin, dass die Grundwassermessstellen auch stärker mit Chlorid belastetes Grundwasser (zum Beispiel aus Altlasten oder geogenem Salzwassereinfluss) erfassen, während sich die Konzentrationen von Brunnen und Rohmischwasser enger um den berechneten Mittelwert scharen, das heißt, in geringerem Ausmaß belastete Wässer einbeziehen.

Die Abbildungen 4.4 und 4.5 zeigen am Beispiel von ortho-Phosphat Häufigkeitsverteilungen, die nicht der idealtypischen Lognormal-Verteilung folgen. Die häufigen Werte unter der Bestimmungsgrenze von 0,1 mg/l mit dem Ersatzwert 0,05 mg/l werden durch einen einzelnen hohen Balken der Klasse 0,05 – 0,11 mg/l in den Histogrammen angezeigt. Die Histogramme geben somit nicht die zugrundeliegende natürliche (aber aufgrund der niedrigen Konzentrationen nicht genau quantifizierbare) Häufigkeitsverteilung wieder. In der Kategorie Brunnen und Rohmischwasser ist eine weitere Häufung von Messwerten im Bereich um 0,23 – 0,5 mg/l zu erkennen. Der Schwellenwert nach Grundwasserverordnung und der Grenzwert nach Trinkwasserverordnung betragen

Abb. 4.2

Häufigkeitsverteilung der Chloridkonzentration für Brunnen und Rohmischwasser

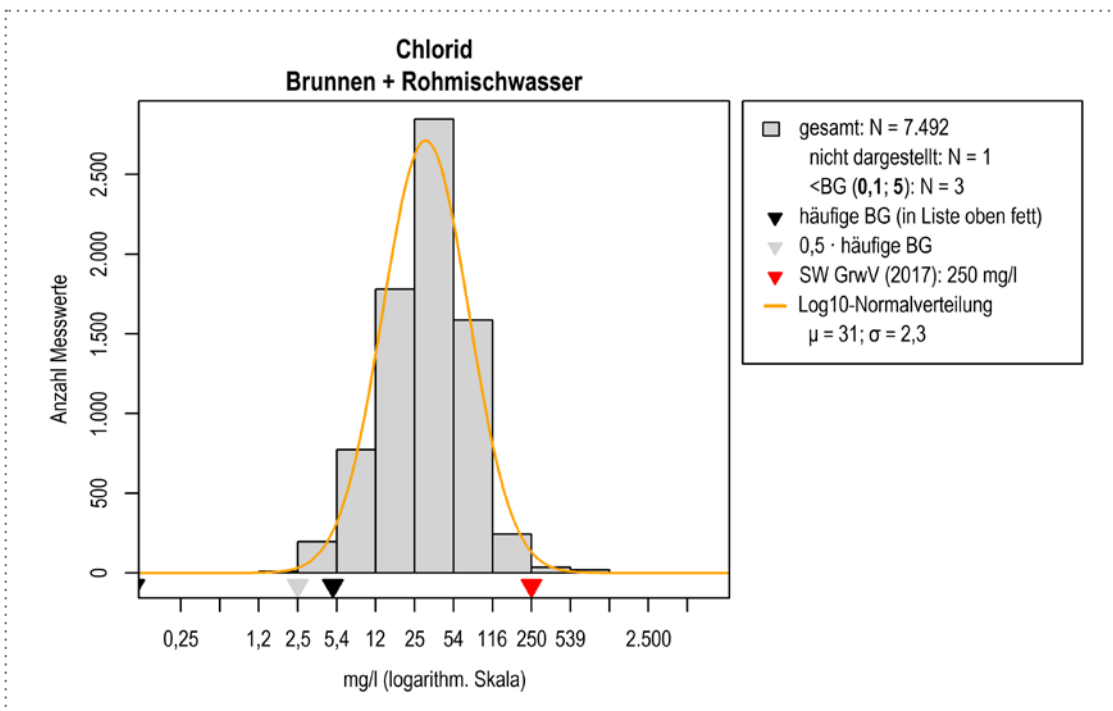


Abb. 4.3

Häufigkeitsverteilung der Chloridkonzentration für Grundwassermessstellen

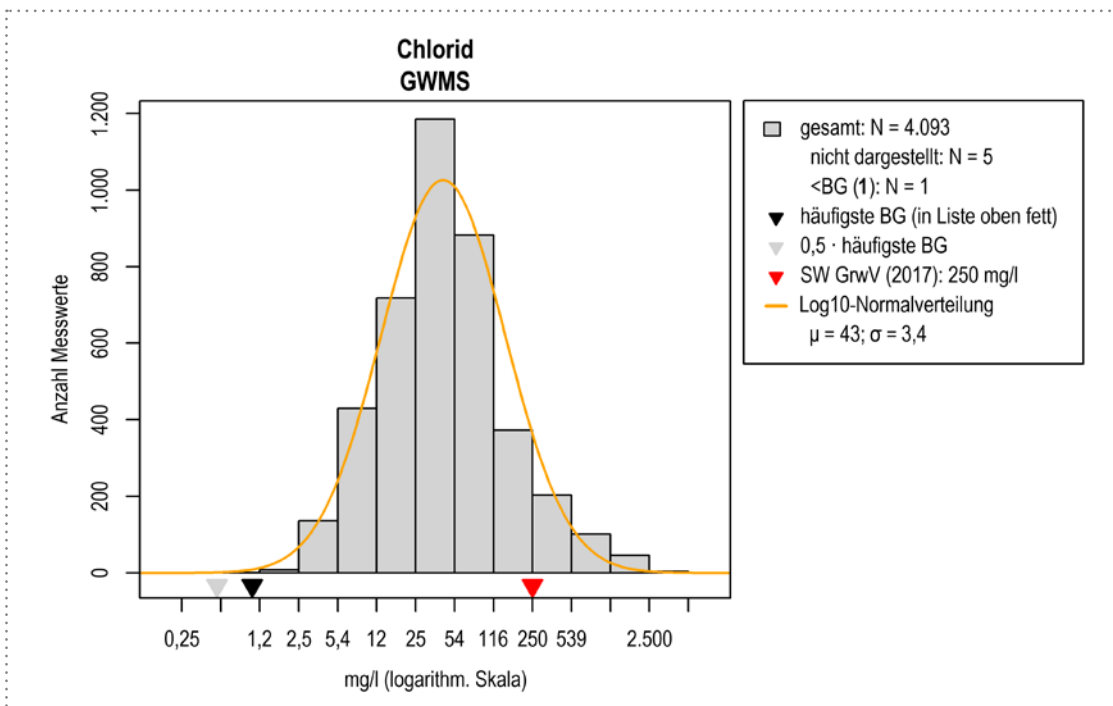


Abb. 4.4

Häufigkeitsverteilung der ortho-Phosphat-Konzentration für Brunnen und Rohmischwasser

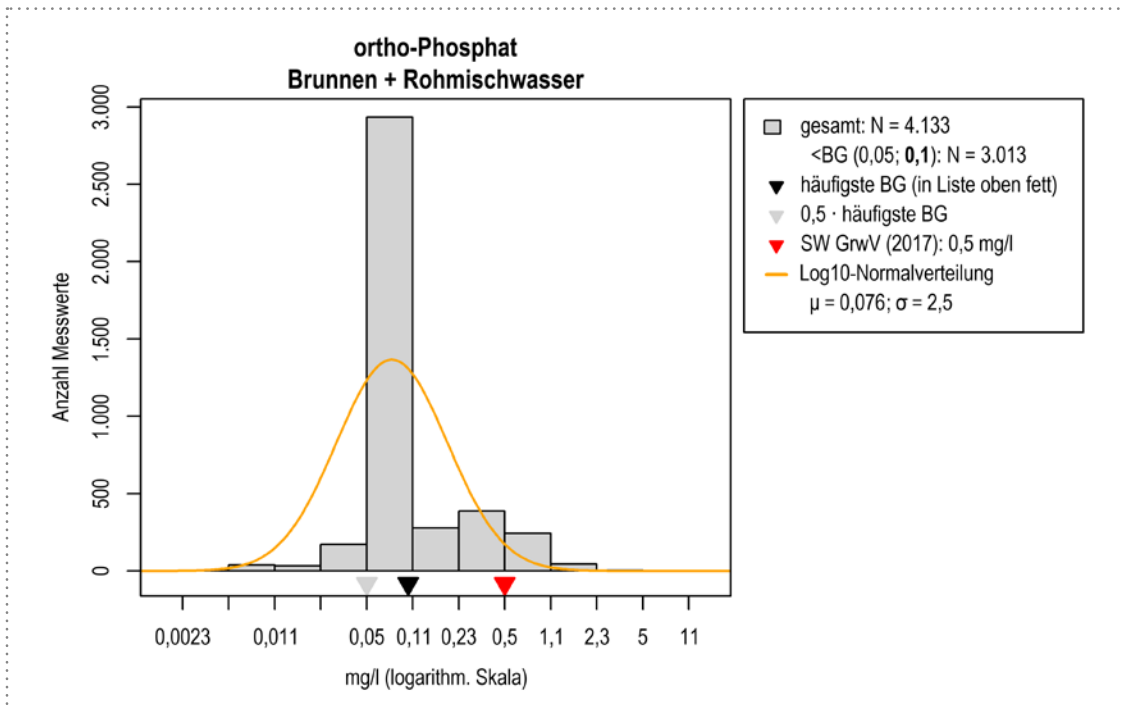
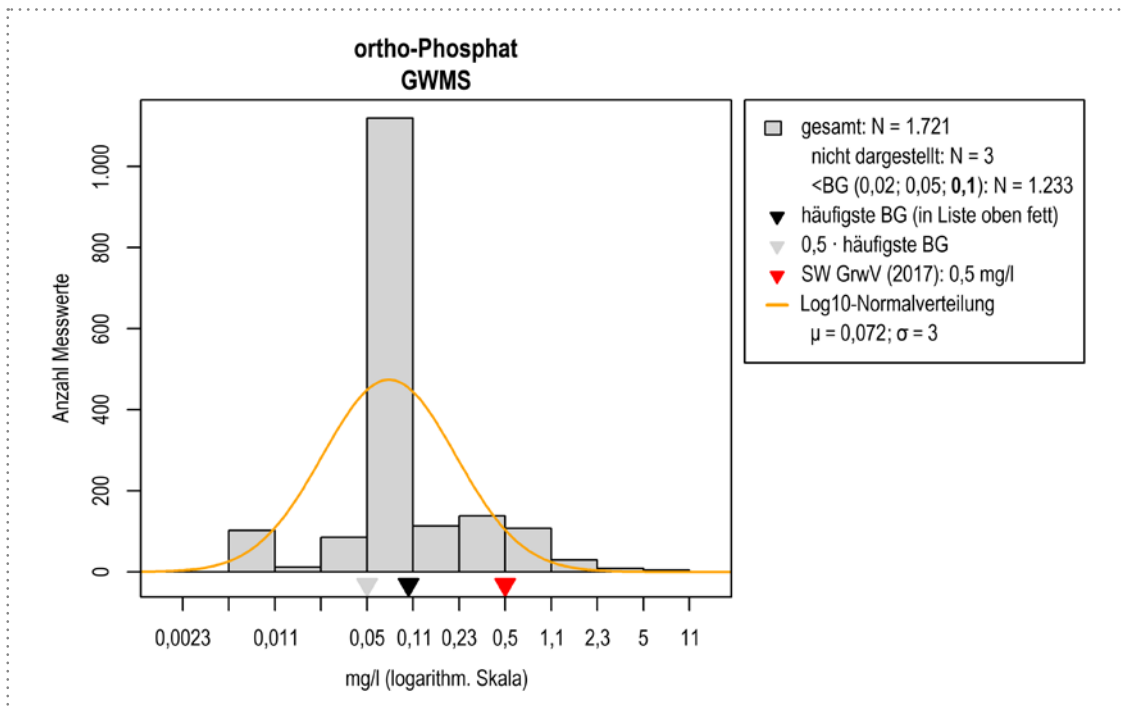


Abb. 4.5

Häufigkeitsverteilung der ortho-Phosphat-Konzentration für Grundwassermessstellen





0,5 mg/l. Bei den Grundwassermessstellen wurden noch etwas höhere Werte als in den Brunnen und Rohmischwasser beobachtet. Die Klasse 0,23 – 0,5 mg/l enthält, abgesehen von der oben genannten Häufung von Werten < 0,1 mg/l, die meisten Messwerte und stellt einen besseren Schätzwert für die typische Konzentration von ortho-Phosphat-Nachweisen dar als der durch die Häufung von Werten < 0,1 mg/l verzerrte Mittelwert von 0,076 mg/l (Brunnen und Rohmischwasser) beziehungsweise 0,072 mg/l (Grundwassermessstellen).

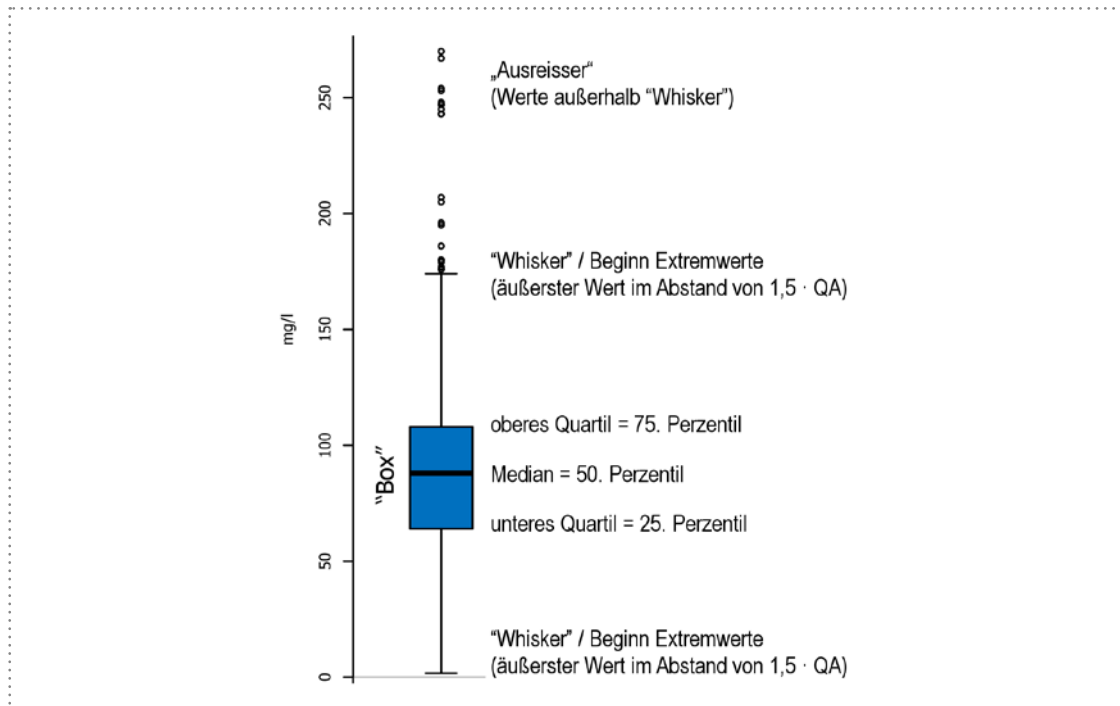
### 4.3.3 Spannweitendiagramme

Mit Spannweitendiagrammen (Box and whisker plots, kurz Boxplots) können Häufigkeitsverteilungen grafisch zusammengefasst dargestellt und somit verschiedene Da-

tenbestände in einem Diagramm verglichen werden. Das Prinzip wird in Abbildung 4.6 anhand eines Beispiel-Boxplots gezeigt. Die farbig gefüllte Box erstreckt sich vom unteren Quartil (25. Perzentil) zum oberen Quartil (75. Perzentil). Die Länge der Box wird als Quartilsabstand (QA) bezeichnet. In der Box wird der Median durch einen Querstrich markiert. Die sogenannten Whisker (dünne Linien) erstrecken sich von der Box nach unten und oben bis zum äußersten Messwert, der maximal 1,5 Quartilsabstände von der Box entfernt liegt. Alle Messwerte außerhalb der Whisker werden als Einzelpunkte gezeichnet. Besonders hohe Einzelwerte werden gegebenenfalls nicht dargestellt, um die Achse so skalieren zu können, dass die Box noch gut erkennbar bleibt. In diesen Fällen wird über dem Boxplot ein graues Dreieck gezeichnet.

Abb. 4.6

Aufbau eines Boxplots



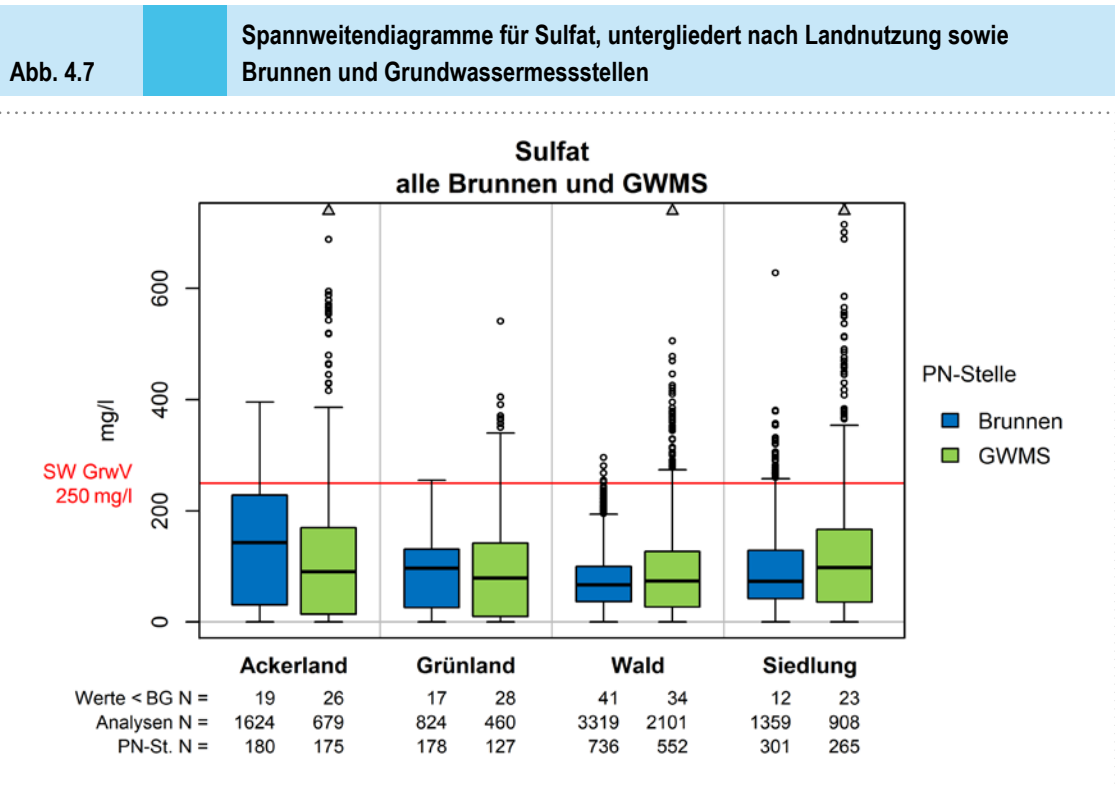
Im Projekt wurden Spannweitendiagramme zu den 17 Parametern dargestellt, für die auch Häufigkeitsverteilungen gezeichnet wurden (Tabelle 4.2). Die Diagramme wurden getrennt nach folgenden Typen erstellt:

1. alle Brunnen und alle Grundwassermessstellen (GWMS)
2. Brunnen im unbedeckten Grundwasserleiter
3. Brunnen im bedeckten Grundwasserleiter
4. GWMS im unbedeckten Grundwasserleiter
5. GWMS im bedeckten Grundwasserleiter

In jedem Diagramm wurden die Daten nach der Landnutzung am Standort (Ackerland, Grünland, Wald, Siedlung) untergliedert. Bei den nach Brunnen/Grundwassermessstellen und unbedecktem/bedecktem Grundwasserleiter getrennten Diagrammtypen 2 bis 5 wurde zusätzlich nach der Filterlage (Filterunterkante unter Geländeoberkante, FUK unter GOK) gruppiert.

Boxplots für die einzelnen Untergruppen werden nur dargestellt, wenn mindestens 20 Analysen von mindestens zehn Probennahmestellen vorhanden sind und mehr als 50 % der Messwerte über der Bestimmungsgrenze liegen.

Die Abbildung 4.7 zeigt als Beispiel für den ersten Typ von Spannweitendiagrammen den Parameter Sulfat. Unter der Landnutzung „Wald“, wo eine geringe anthropogene Beeinflussung des Grundwassers zu erwarten ist, haben Brunnen und Grundwassermessstellen vergleichbare Mediane. Die Spannweite der Konzentrationsverteilung bei den Grundwassermessstellen ist allerdings etwas größer (längere Box, längere „Whisker“). Dies kann an einer stärkeren Streuung der Werte von Messstellenstandorten mit unterschiedlichen Eintragsituationen liegen, wird aber vor allem durch relativ wenige Grundwassermessstellen von geogen salinar beeinflussten Wasserwerken hervorgerufen. Unter Siedlung sind die Mediane von Brunnen und Grundwassermessstellen etwas höher und



die Spannweiten größer, was auf anthropogene Ursachen zurückgeführt werden kann. Unter landwirtschaftlich genutzten Flächen, insbesondere Ackerland, sind die Mediane und Spannweiten ebenfalls größer als unter Wald. Sulfat kann aus der Düngung, dem Abbau organischer Sedimente (meliorierte Niedermoo-re, stark schwankender Grundwasserspiegel) oder dem Abbau von Nitrat (Denitrifikation) stammen.

Als Beispiel für die Diagrammtypen 2 bis 5 zeigt Abbildung 4.8 die Boxplots für Kalium. Auch hier sind unter Wald die geringsten Konzentrationen zu beobachten, während sie unter Grünland und vor allem Ackerland und Siedlung höher ausfallen. Erhöhte Kaliumkonzentrationen werden hauptsächlich durch Düngung und Abwassereinfluss, zum Beispiel durch Rieselfelder hervorgerufen. Die Kaliumkonzentrationen nehmen mit der Filtertiefe deutlich ab. Bei mehr als 25 m unter GOK sind die Unterschiede zwischen den Landnutzungen nicht mehr groß.

#### 4.4 Statistische Trendanalyse

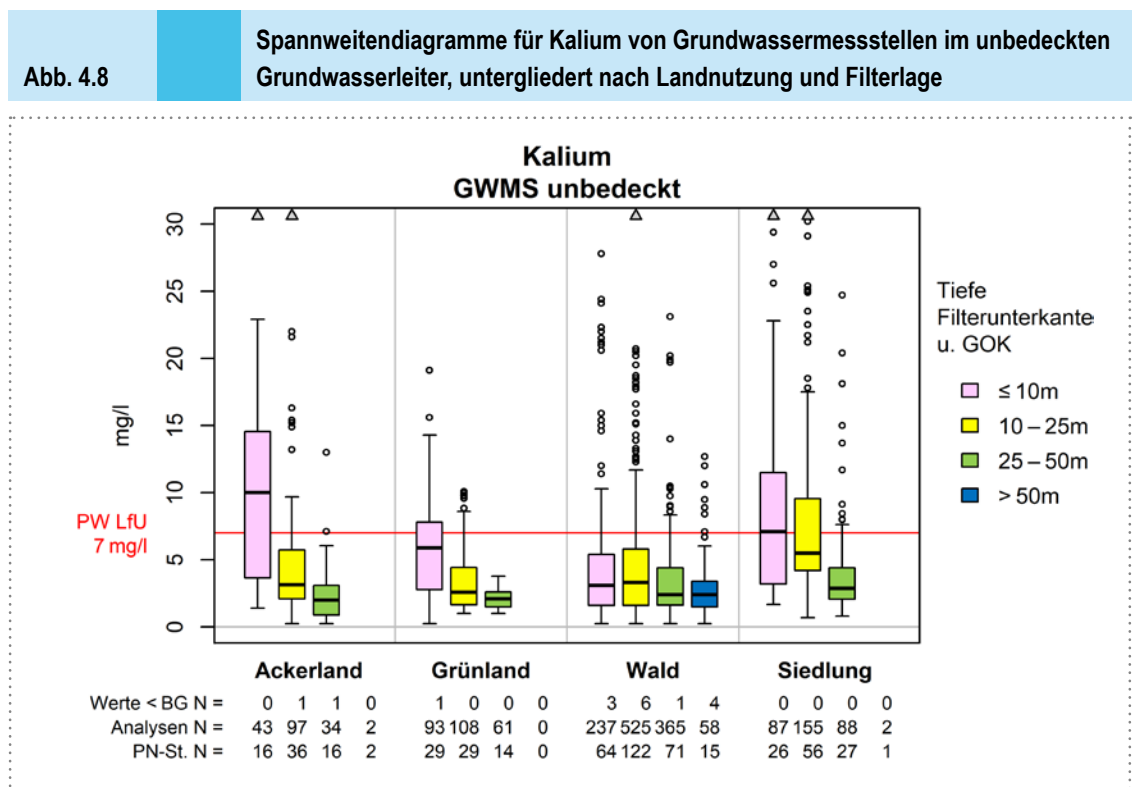
Betrachtungszeitraum: 20 Jahre (2000 – 2019)

Für die sieben Leitparameter

- Chlorid
- Sulfat
- ortho-Phosphat
- Nitrat
- Ammonium
- Kalium
- Bor gesamt

wurde eine statistische Analyse und Bewertung der zeitlichen Trends von Einzelbrunnen (kein Rohmischwasser) und Grundwassermessstellen durchgeführt.

Für Brunnen und Grundwassermessstellen, die einen steigenden oder fallenden Trend aufweisen, wurde geprüft, ob die folgenden Vergleichswerte in der Zeitreihe mindestens einmal überschritten wurden:



- Warnwert (0,75-facher Schwellenwert der GrwV) für Ammonium (0,375 mg/l), Nitrat (37,5 mg/l), Chlorid (187,5 mg/l), Sulfat (187,5 mg/l), ortho-Phosphat (0,375 mg/l)
- Geringfügigkeitsschwellenwert (GFS) der LAWA für Bor (180 µg/l)
- Prüfwert (PW) des LfU für Kalium (7 mg/l)

Die betreffenden Brunnen und Grundwassermessstellen wurden in der weitergehenden Auswertung der Trendergebnisse gesondert hervorgehoben.

Für die Darstellung der Wasserwerke in Karten wurden die Trendergebnisse der Brunnen zu Trendkategorien aggregiert.

#### 4.4.1 Methodik

Die statistische Trendanalyse wurde mit der Software „GCI WRRL-Trend“ durchgeführt, die von der GCI GmbH in Zusammenarbeit mit dem LfU Brandenburg und dem Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen (LfULG) entwickelt wurde. Mittels „GCI-WRRL-Trend“ können parameterbezogene Trendermittlungen gemäß den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) durchgeführt werden.

Die Software führt zunächst einen statistischen Ausreißertest durch, um außergewöhnliche oder unplausible Messwerte zu identifizieren. Die Ergebnisse werden ganglinienbezogen visualisiert und auch in Ergebnistabellen hinterlegt. Für den nächsten Rechenlauf beziehungsweise beliebig viele weitere Rechenläufe kann der Anwender einzelne Ausreißer oder pauschal alle von der Software ermittelten Ausreißer sperren beziehungsweise eliminieren. Anschließend erfolgt die eigentliche Trendanalyse, bei der mit statistischen Verfahren geprüft wird, ob in der Zeitreihe ein steigender oder fallender Trend

mit vorgegebener statistischer Sicherheit vorliegt. Für die Auswertung in den Teilprojekten 9B bis 11 kam das Verfahren nach Mann-Kendall zum Einsatz, das sich insbesondere für Datenreihen mit einer relativ geringen Anzahl von Werten eignet. Im Teilprojekt 11 wurde zudem nach der in der GrwV formulierten Methode geprüft, ob eine Trendumkehr auftritt.

**Vorselektion:** Zur Trenderauswertung wurden nur Zeitreihen herangezogen, die folgende Kriterien erfüllen:

- mindestens 50 % der Messwerte > BG
- mindestens zehn Messwerte > BG
- aktuell untersuchter Brunnen bzw. aktuell untersuchte Grundwassermessstelle (das heißt, mindestens ein Messwert der letzten fünf Jahre, also von 2015 bis 2019, liegt vor)

**Nachselektion:** Zur Ausweisung eines aktuellen Trends, im weiteren Verlauf als „sichere Trenderaussage“ bezeichnet, sind nach Abschluss der Trendanalyse folgende Kriterien zu erfüllen:

- Trendmodul liefert die Aussage, dass ein signifikanter Trend auf dem gegebenen Signifikanzniveau von 95 % vorhanden ist
- nach dem Ausreißertest bleiben noch mindestens fünf Werte aus den letzten zehn Jahren übrig, davon mindestens einer aus den letzten fünf Jahren

Änderungen der Bestimmungsgrenze innerhalb der Zeitreihe können Trends vortäuschen. Deswegen wurden die sicheren Trenderaussagen von Zeitreihen, in denen Werte < BG nachgewiesen wurden, auf scheinbare Trends überprüft. Solche Fälle traten jedoch in den vorliegenden Trendergebnissen nicht auf.

#### 4.4.2 Ergebnisse

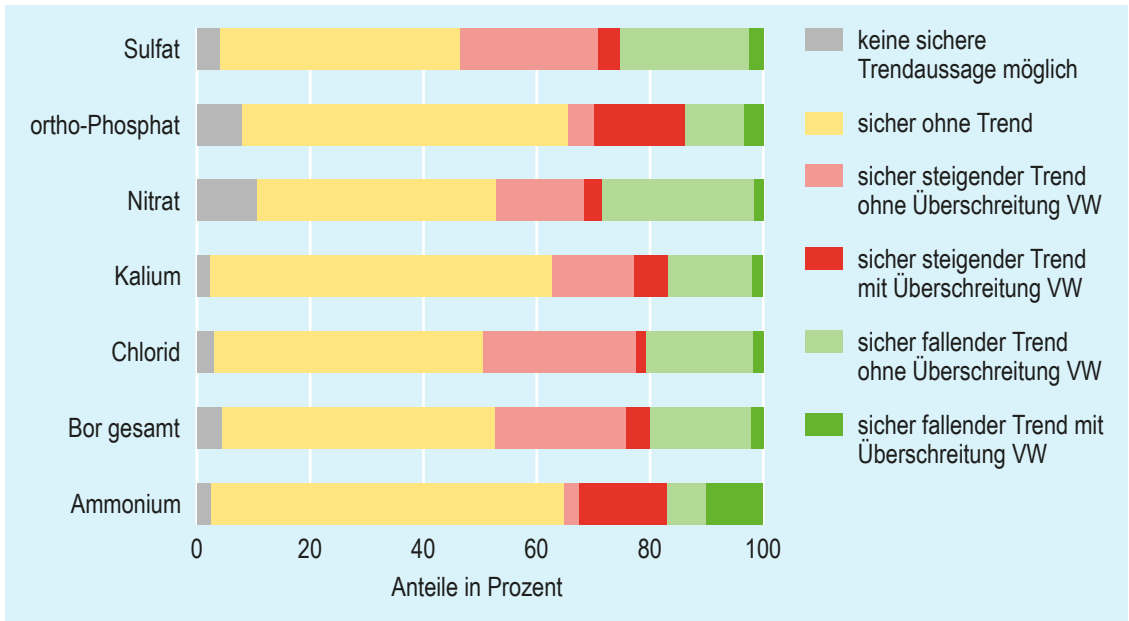
Tabelle 4.4 zeigt die **Anzahl der Brunnen und Grundwassermessstellen**, für die Analysen der sieben Leitparameter vorlagen sowie die Anzahl an Brunnen und Grundwassermessstellen, für welche die Kriterien der Vorselektion beziehungsweise der Nachselektion erfüllt waren, sodass eine sichere Trendaussage möglich war. Fett hervorgehoben ist der prozentuale Anteil an steigenden Trends. Die prozentuale Verteilung der Trendergebnisse, bei denen der oben genannte Vergleichswert überschritten wurde, ist in Abbildung 4.9 dargestellt.

Brunnen und Grundwassermessstellen weisen oft **Trends bei mehreren Parametern** auf. In Tabelle 4.5 sind die Ergebnisse nach

der Anzahl von Parametern mit Trends in den Brunnen und Grundwassermessstellen aufgeschlüsselt. In keinem Brunnen und keiner Grundwassermessstelle wurden Trends für alle sieben Leitparameter identifiziert. Insgesamt zwölf Brunnen und Grundwassermessstellen in acht Wasserwerken zeigen ausschließlich steigende Trends bei vier (immer Ammonium, Kalium, Chlorid, Sulfat) beziehungsweise fünf Parametern (zusätzlich Bor). Ausschließlich steigende Trends bei mehr als fünf Parametern treten nicht auf. Fallende Trends bei mindestens vier Parametern (hauptsächlich Ammonium, Chlorid, Kalium und Sulfat) finden sich bei 13 Brunnen und Grundwassermessstellen von neun Wasserwerken.

Parameter	Gesamtzahl Brunnen + GWMS mit Analysen	Anzahl Brunnen	Anzahl GWMS	Anzahl Brunnen + GWMS mit Trendberechnung	Anteil Brunnen + GWMS mit Trendberechnung in %	keine sichere Aussage möglich		sichere Aussage steigender Trend		sichere Aussage fallender Trend		sichere Aussage ohne Trend	
						Anzahl Brunnen + GWMS	Anteil in %	Anzahl Brunnen + GWMS	Anteil in %	Anzahl Brunnen + GWMS	Anteil in %	Anzahl Brunnen + GWMS	Anteil in %
Ammonium	3.661	1.994	1.667	1.043	28,5	26	2,5	189	<b>18,1</b>	177	17	651	62,4
Bor	2.870	1.615	1.255	226	7,9	10	4,4	62	<b>27,4</b>	45	19,9	109	48,2
Chlorid	3.602	1.983	1.619	1.305	36,2	41	3,1	376	<b>28,8</b>	271	20,8	617	47,3
Kalium	3.573	1.978	1.595	1.234	34,5	28	2,3	251	<b>20,3</b>	209	16,9	746	60,5
Nitrat	3.652	1.989	1.663	123	3,4	13	10,6	23	<b>18,7</b>	35	28,5	52	42,3
ortho-Phosphat	2.526	1.553	973	87	3,4	7	8,0	18	<b>20,7</b>	12	13,8	50	57,5
Sulfat	3.661	1.995	1.666	1.284	35,1	53	4,1	363	<b>28,3</b>	324	25,2	544	42,4

**Abb. 4.9** Parameterbezogene Übersicht zu den Ergebnissen der Trendberechnung mit und ohne Überschreitung des Vergleichswertes (VW). „Sichere“ Trendaussagen erfüllen die Kriterien der Nachselektion.

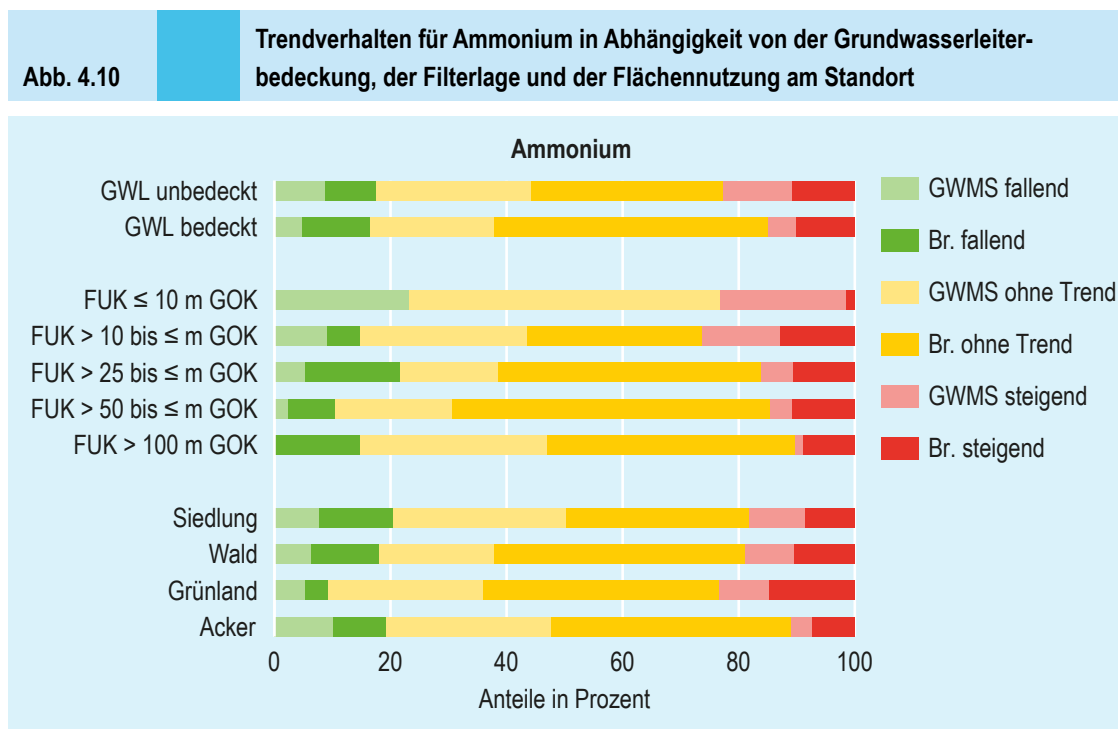


**Tab. 4.5** Zusammenstellung der Parameter Trends, wobei die linke Zahl die Anzahl der steigenden und die rechte Zahl die Anzahl der fallenden Trend anzeigt

Brunnen + GWMS mit 1 bis 6 Parametern, die Trends aufweisen	Anzahl Brunnen + GWMS mit steigendem beziehungsweise fallendem Trend													
	Ammonium		Bor		Chlorid		Kalium		Nitrat		ortho-Phosphat		Sulfat	
	↗	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘
Trend bei 1 Parameter	14	22	3	2	59	34	35	29	4	1	1	1	66	49
Trend bei 2 Parametern	47	53	16	5	142	98	67	61	4	10	4	2	140	106
Trend bei 3 Parametern	71	58	20	19	120	88	90	73	10	12	8	6	115	100
Trend bei 4 Parametern	46	35	13	12	40	45	47	39	3	11	4	0	33	57
Trend bei 5 Parametern	9	8	8	6	13	5	9	7	1	1	0	2	7	11
Trend bei 6 Parametern	2	1	2	1	2	1	3	0	1	0	1	1	2	1

Bei den einzelnen Parametern wurden die Trendergebnisse entsprechend der Bedeckung des Grundwasserleiters, der Filterlage und der Landnutzung am Standort unterschieden, jeweils getrennt nach Brunnen und Grundwassermessstellen. Als Beispiel hierfür zeigt Abbildung 4.10 die Anzahl und Anteile der aufgeschlüsselten Trendergebnisse für den Parameter **Ammonium**. Bei Betrachtung der prozentualen Verteilung der Trends nach der Filterlage ergibt sich bei den Brunnen eine Zunahme des Anteils fallender Trends mit zunehmender Tiefe, während bei den Grundwassermessstellen die Anzahl

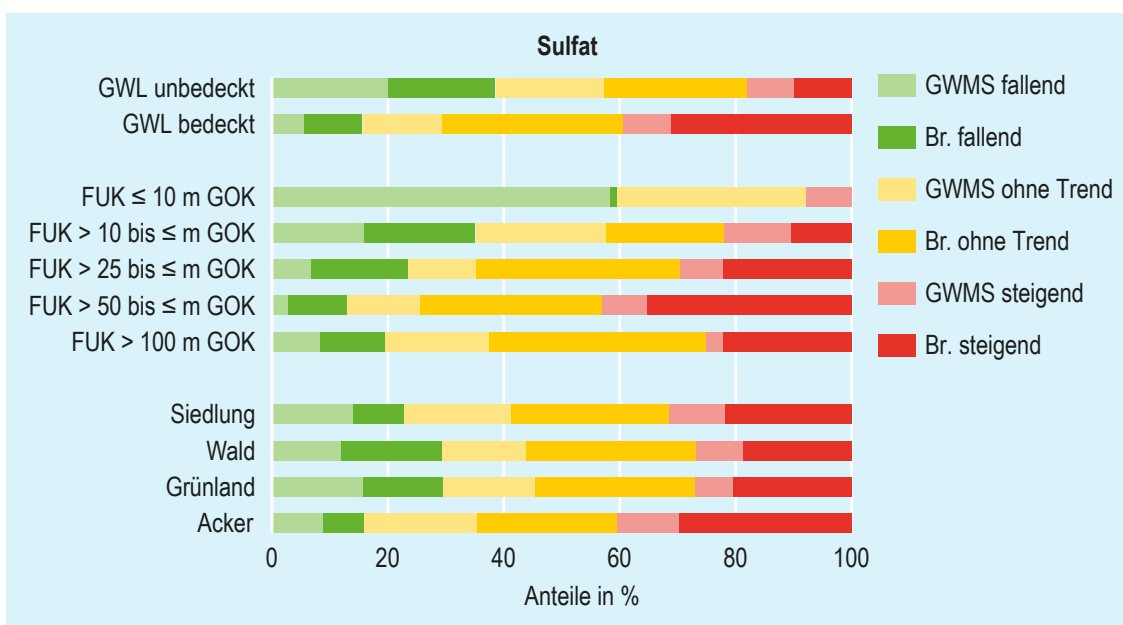
fallender Trends mit der Tiefe abnimmt. Jedoch sollte dabei beachtet werden, dass die in der geringsten und größten Tiefe verfilterten Brunnen beziehungsweise Grundwassermessstellen jeweils nur sehr wenig Zeitreihen aufweisen. Im unbedeckten Grundwasserleiter sind die Anteile der steigenden und auch fallenden Trends etwas höher. Hinsichtlich der Landnutzung finden sich die höchsten Anteile steigender Trends von Brunnen und Grundwassermessstellen unter Grünland. Unter Siedlung ist der höchste Anteil fallender Trends zu beobachten.



Für den Parameter **Sulfat** (Abbildung 4.11) zeigt sich ein höherer Anteil steigender Trends bei bedeckten Grundwasserleitern und ein höherer Anteil fallender Trends bei unbedeckten Grundwasserleitern. Bezüglich der Filterlage ist mit der Tiefe eine Zunahme des Anteils steigender Trends überwiegend bei den Brunnen und eine Abnahme des Anteils fallender Trends vor allem bei den Grundwassermessstellen zu erkennen. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass die flachen, unbedeckten Grundwassermessstellen aufgrund ihrer Exponiertheit zur Oberfläche hin zuerst auf Veränderungen der Eintrags-situation und ausgelöste Redoxreaktionen (zum Beispiel Abbau von Nitrat durch Oxidation von Pyrit) reagieren. Nach einer bestimmten Zeit würde die Sulfatbelastung zurück-

gehen, weil Maßnahmen zur Verminderung des Eintrags wirken oder im beobachteten Grundwasserleiterbereich kein Pyrit mehr vorhanden ist. Bei fortdauerndem Eintrag und Verbrauch des Pyrits kann sich die Denitrifikationsfront im Laufe der Zeit in die Tiefe verlagern. Nachdem die Denitrifikationsfront einen Grundwasserleiterbereich passiert hat, nimmt dort die Stickstoffbelastung (Nitrat) zu. Das hat zur Konsequenz, dass die Wasserversorgungsunternehmen ihre Brunnen in größere Tiefen verlagern. Nach längerer Betriebszeit kann die Denitrifikationsfront mit dem zugehörigen Anstieg von Sulfat auch tiefe Brunnen erreichen, sodass hier steigende Trends häufiger beobachtet werden können.

**Abb. 4.11** Trendverhalten für Sulfat in Abhängigkeit von der Grundwasserleiterbedeckung, der Filterlage und der Flächennutzung am Standort





### 4.4.3 Trendkategorien und Kartendarstellung

Für die wasserwerksbezogene Auswertung und Kartendarstellung wurden alle sicheren Tendaussagen der Brunnen eines Wasserwerkes zusammengefasst und den in Tabelle 4.6 aufgeführten acht Trendkategorien zugeordnet. In den Trendkarten werden die Einzugsgebiete der Wasserwerke beziehungsweise ein Ersatzsymbol (Raute), falls das Einzugsgebiet nicht bekannt ist, entsprechend der Trendkategorien eingefärbt. Am Beispiel Sulfat ist in Abbildung 4.26

(Seite 57) ein Kartenausschnitt der Trendkarte einschließlich der Farbzuordnungen hinsichtlich der Trendkategorien dargestellt.

Die Trendergebnisse werden in den Trendkarten mit Symbolen für die einzelnen Brunnen (Quadrate) und Grundwassermessstellen (Kreise) durch vier Farben dargestellt:

- grün: fallender Trend
- gelb: ohne Trend
- rot: steigender Trend
- grau: keine sichere (im Sinne der Nachselektion) Tendaussage möglich

Tab. 4.6 Trendkategorien für Wasserwerke auf Basis der Trendergebnisse von Brunnen	
Trendkategorie	Klassifizierung der Trendbewertung
1 – alle mit fallendem Trend	alle Brunnen haben einen fallenden Trend
2 – Mehrheit mit fallendem Trend	> 50 % der Brunnen haben einen fallenden Trend
3 – teilweise fallender Trend	> 25 % der Brunnen haben einen fallenden Trend und einen Anteil ohne Trend < 50 % (wobei die Anzahl der Brunnen mit fallendem Trend größer als die Anzahl mit steigendem Trend ist) <u>oder</u> 50 % mit fallendem Trend und 50 % ohne Trend
4 – kein einheitlicher Trend	≥ 50 % der Brunnen hat keinen Trend <u>oder</u> gleich viele Brunnen mit fallendem und mit steigendem Trend <u>oder</u> je 33 % der Brunnen mit fallendem Trend/ohne/mit steigendem Trend
5 – teilweise steigender Trend	> 25 % der Brunnen haben einen steigenden Trend und einen Anteil ohne Trend < 50 % (wobei die Anzahl der Brunnen mit steigendem Trend größer als die Anzahl mit fallendem Trend ist) <u>oder</u> 50 % mit steigendem Trend und 50 % ohne Trend
6 – Mehrheit mit steigendem Trend	> 50 % der Brunnen haben einen steigenden Trend
7 – alle mit steigendem Trend	alle Brunnen haben einen steigenden Trend
0 – keine Tendaussage für Wasserwerk möglich	Trendberechnung für keinen Brunnen möglich (Vorselektion) <u>oder</u> alle Trendberechnungen liefern unsichere Tendaussagen (Nachselektion)

## 4.5 Parameterbezogene Bewertung von Wasserwerken auf Basis von univariater Statistik und Prüfwerten (Maluspunktmethode)

*Betrachtungszeitraum: 20 Jahre (2000 – 2019)*

Die im Jahr 2005 entwickelte Methodik zur Auswertung, Bewertung und Dokumentation der Rohwasseranalysen wurde seitdem beibehalten und wird nachfolgend vorgestellt. Da die Rohwasseranalysen der Wasserversorgungsunternehmen nicht im Detail dargelegt werden können, werden Ergebnisse nur beispielhaft dokumentiert. Dem Landesamt für Umwelt stehen jeweils umfängliche Dokumentationen in Form von Konzentrationsverteilungskarten der genannten Parameter sowie wasserwerks-, brunnen- und grundwassermessstellenbezogene Grafiken und Tabellen zur Verfügung.

Die Brunnen- und Rohmischwasseranalysen liefern integrale Informationen über die Grundwasserbeschaffenheit in den Einzugsgebieten, während die Messstellenanalysen punktuelle Informationen über die Beschaffenheit des Wassers geben, das den Filter der jeweiligen Messstelle passiert. Damit ermöglichen sie es, den Ursprung lokaler Belastungen zu identifizieren.

### 4.5.1 Methodik zur Bewertung von Einzelparametern

Die Methodik der Auswertung und Darstellung der Parameter basiert auf der Klassifizierung der Analysen unter Anwendung von univariater Statistik und Prüfung der statistischen Kennzahlen gegen Prüfwertkonzentrationen. Die Methodik wird seit 2005 auf die Parameter Ammonium, Nitrat, Chlorid, Sulfat, Kalium, Phosphat, Bor und PSM-Einzelstoffe sowie den Vor-Ort-Parameter elektrische Leitfähigkeit angewandt.

Die Prüfwerte wurden vom LfU definiert (Tabelle 4.2) und sind so gewählt, dass bei ihrer Überschreitung eine anthropogene Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit anzunehmen ist. Die Prüfwerte der meisten Parameter liegen deutlich unterhalb der Grenzwerte nach der TrinkwV beziehungsweise der Schwellenwerte nach GrwV insbesondere für Nitrat, Sulfat, Chlorid, Bor und elektrische Leitfähigkeit. Selbst wenn im Rahmen dieses Berichts in Probennahmestellen von Wasserwerken deutlich erkennbare Beeinflussungen nachgewiesen wurden, überschreiten die ermittelten Konzentrationen in den meisten Fällen nicht die Grenzwerte nach TrinkwV. Für die Parameter pH-Wert, Ammonium und PSM (als Einzelstoff) entsprechen die Prüfwerte den jeweiligen Grenzwerten nach TrinkwV beziehungsweise Schwellenwerten nach GrwV. Für Kalium existiert weder ein Grenzwert noch ein Schwellenwert.

Im Teilprojekt 9B (2013 – 2015) wurden die Prüfwerte von vier Parametern geändert (elektrische Leitfähigkeit von 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Nitrat von 10 mg/l auf 2 mg/l, Kalium von 5 mg/l auf 7 mg/l, Bor von 100  $\mu\text{g}/\text{l}$  auf 150  $\mu\text{g}/\text{l}$ ). Im Rahmen neuer Erkenntnisse werden gelegentlich die Prüfwerte angepasst, wie im Teilprojekt 9B beschrieben.

Die parameterbezogene Bewertung wird getrennt für die Gesamtheit von Brunnen und Rohmischwasser sowie für die einzelnen Grundwassermessstellen realisiert. Es erfolgt eine wasserwerksbezogene und eine auf die Probennahmestellen bezogene Auswertung. Ab dem Teilprojekt 11 wurde zusätzlich eine Bewertung einzelner Wasserfassungen durchgeführt. Gemäß Abschnitt 4.3 werden die folgenden statistischen Kennzahlen für die Parameterkonzentrationen im jeweiligen 20 Jahre langen Betrachtungszeitraum bestimmt:

- Anzahl Analysen (Stichprobenumfang N)
- arithmetischer Mittelwert
- Minimum und Maximum

- 10., 25., 50., 75. und 90. Perzentil der Konzentrationen

Die Tabelle 4.8 dokumentiert die Basistabelle einer wasserwerksbezogenen Auswertung am Beispiel von vier Parametern für drei fiktive Wasserwerke „WW A“, „WW B“ und „WW C“. Die Auswertung von Einzelwerten in Grundwassermessstellen erfolgt analog. Liegen mehr als fünf Analysen pro Datensatz vor, werden die aus den Konzentrationen berechneten fünf Perzentile mit dem vorgegebenen Prüfwert verglichen (in Tabelle 4.8 WW A und WW B). Andernfalls wird die Maximalkonzentration mit dem Prüfwert verglichen (in Tabelle 4.8 WW C). Bei Überschreitung des Prüfwerts wird in der Bewertungsmatrix eine 1 eingetragen (1 Maluspunkt), bei Unterschreitung eine 0 (0 Maluspunkte). Über die Summe der Maluspunkte wird die Bewertung des Parameters vorgenommen. Bei der Perzentilauswertung kann die Summe an Maluspunkten je Parameter zwischen 0 und 5 liegen. Bei der Auswertung der Maximalwerte beträgt sie 0 oder 1 (Tabellen 4.7, Tabelle 4.8). Liegen für einen Parameter keine Daten vor (Bor für WW C im Beispiel der Tabelle 4.8), wird dies in den Parameterkarten durch weiße Farbe gekennzeichnet.

### Auswertung mittels Perzentilmethode (Bsp. WW A und B in Tabelle 4.8)

Liegt keines der berechneten fünf Perzentile eines Parameters über dem Prüfwert, werden keine Maluspunkte vergeben (0 Maluspunkte). Es ist davon auszugehen, dass hinsichtlich des betrachteten Parameters „keine“ beziehungsweise eine vernachlässigbare Beeinflussung vorliegt (Tabelle 4.7). Im Beispiel der Tabelle 4.8 trifft das für Nitrat im Falle der WW A und WW B und für Ammonium im Fall des WW A zu. Beträgt die Summe der Maluspunkte 1, wird eine „geringe“ Beeinflussung angenommen. Das 90. Perzentil überschreitet den Prüfwert, das heißt 10 % der Analysen liegen über dem Prüfwert. Im Beispiel der Tabelle 4.8 trifft das auf Ammonium im Falle WW B zu. Je höher die Summe an Maluspunkten eines Parameters ist, desto deutlicher wird die Beeinflussung der Rohwasserbeschaffenheit hinsichtlich dieses Parameters ausgeprägt sein. Bei zwei Maluspunkten überschreitet das 75. Perzentil den Prüfwert, was in Abbildung 4.12 beispielhaft anhand der aufsteigend sortierten Sulfatkonzentrationen des WW B verdeutlicht wird. Die Beeinflussung wird als „erkennbar“ beschrieben. Zwei Maluspunkte erhält das WW B auch hinsichtlich Bor. Bei drei Maluspunkten liegen

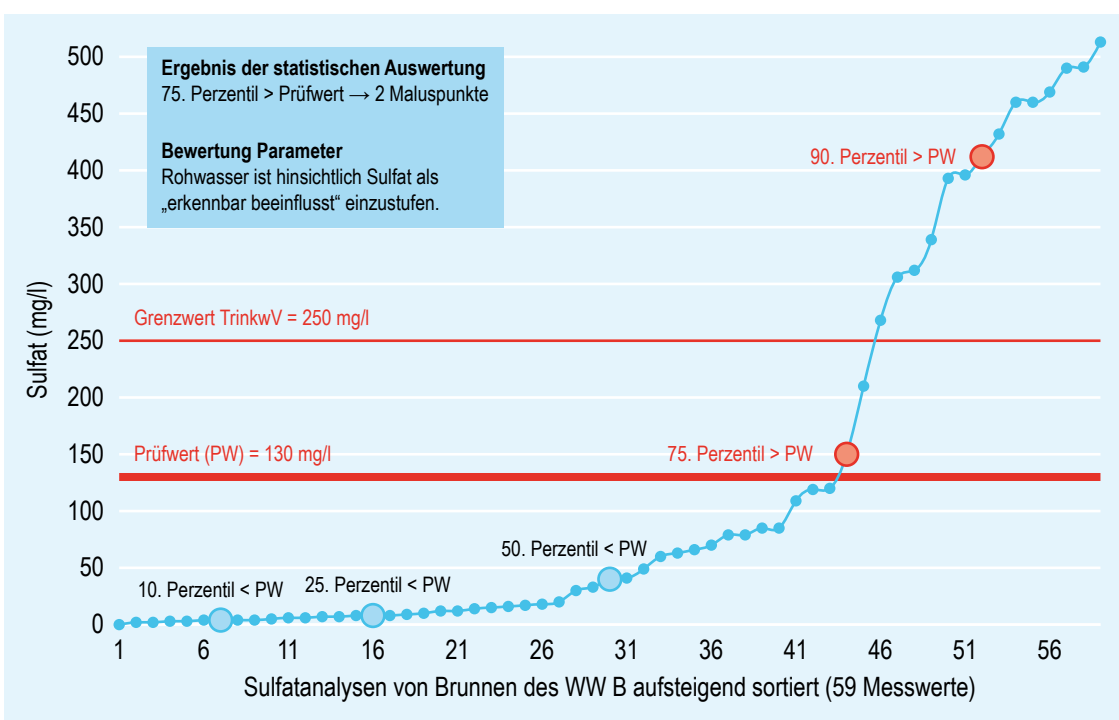
Tab. 4.7		Klassifizierung der Parameterkonzentrationen mittels der Perzentil- oder Maximalkonzentrationsauswertung						
Stichprobenumfang	> 5 Analysen Auswertung der Perzentile der Konzentrationen						< 5 Analysen Auswertung der Maximalkonzentrationen	
Erläuterung	→ Prüfung der 10., 25., 50., 75. und 90. Perzentile gegen den Prüfwert → überschreitet ein Perzentil den Prüfwert, wird das als Maluspunkt gezählt → Klassifizierung über die Summe der Maluspunkte						→ Prüfung der Maximalkonzentration gegen Prüfwert	
Maluspunkte	0	1	2	3	4	5	0	1
Bewertung	alle Perz. < PW	90. Perz. > PW	75. Perz. > PW	50. Perz. > PW	25. Perz. > PW	10. Perz. > PW	Max. < PW	Max. > PW
Annahme Beeinflussung	keine	gering	erkennbar	deutlich erkennbar	hoch	sehr hoch	keine	vorhanden

Tab. 4.8 Beispiel für wasserwerksbezogene statistische Kennzahlen von vier der sieben Leitparameter und Auswertung der Maluspunktzahlen für die klassifizierte Darstellung

Parameter	wasserwerksbezogene statistische Kennwerte			vergebene Maluspunkte bei Überschreitung Prüfwert		
				Auswertung Perzentile (> 5 Analysen)		Auswertung Maximalwert
Nitrat	WW A	WW B	WW C	WW A	WW B	WW C
Anzahl Analysen	49	50	3			
Anzahl Werte < BG	36	48	1			
Minimum	< 0,5	< 0,5	< 0,5			
Maximum	16,00	2,80	10			1
10-Perzentil	< 0,5	< 0,5		0	0	
25-Perzentil	< 0,5	< 0,5		0	0	
50-Perzentil	< 0,5	< 0,5		0	0	
75-Perzentil	0,82	< 0,5		0	0	
90-Perzentil	1,52	< 0,5		0	0	
Prüfwert Nitrat = 2 mg/l	Maluspunkte			0	0	1
Ammonium	WW A	WW B	WW C	WW A	WW B	WW C
Anzahl Analysen	49	50	3			
Anzahl Werte < BG	15	7	3			
Minimum	< 0,06	< 0,06	< 0,06			
Maximum	0,47	1,90	< 0,06			0
10-Perzentil	< 0,06	< 0,06		0	0	
25-Perzentil	0,10	0,23		0	0	
50-Perzentil	0,14	0,31		0	0	
75-Perzentil	0,23	0,44		0	0	
90-Perzentil	0,35	0,62		0	1	
Prüfwert Ammonium = 0,5 mg/l	Maluspunkte			0	1	0
Sulfat	WW A	WW B	WW C	WW A	WW B	WW C
Anzahl Analysen	49	59	3			
Anzahl Werte < BG	0	1	0			
Minimum	125	< 0,02	120			
Maximum	295	513	171			1
10-Perzentil	146	4		1	0	
25-Perzentil	152	8		1	0	
50-Perzentil	177	37		1	0	
75-Perzentil	214	165		1	1	
90-Perzentil	243	435		1	1	
Prüfwert Sulfat = 130 mg/l	Maluspunkte			5	2	1

Parameter	wasserwerksbezogene statistische Kennwerte			vergebene Maluspunkte bei Überschreitung Prüfwert		
				Auswertung Perzentile (> 5 Analysen)		Auswertung Maximalwert
Bor	WW A	WW B	WW C	WW A	WW B	WW C
Anzahl Analysen	22	37	0			
Anzahl Werte < BG	22	25				
Minimum	< 50	< 50				
Maximum	< 50	260				
10-Perzentil	< 50	< 50	Parameter nicht untersucht	0	0	
25-Perzentil	< 50	< 50		0	0	
50-Perzentil	< 50	< 50		0	0	
75-Perzentil	< 50	152		0	1	
90-Perzentil	< 50	193		0	1	
Prüfwert Bor = 150 µg/l			<b>Maluspunkte</b>	0	2	nicht bewertet
<b>Summe Maluspunkte</b> (einschl. nicht gezeigter Parameter)				9	8	2

Abb. 4.12 Prüfung der Perzentile von Sulfat gegen den Prüfwert (PW) 130 mg/l (Beispiel WW B)



50 % der Analysenwerte über dem Prüfwert (50. Perzentil beziehungsweise Median > Prüfwert), was als „deutlich erkennbare“ Beeinflussung interpretiert wird. Liegen vier Maluspunkte vor, deutet das auf eine „hohe“ Beeinflussung hinsichtlich des betrachteten Parameters hin. Bei fünf Maluspunkten überschreiten 90 % der Analysenwerte den Prüfwert, weshalb von einer „sehr hohen“ Beeinflussung ausgegangen werden kann. Im Beispiel der Tabelle 4.8 trifft das auf Sulfat im Falle des WW A zu.

#### **Auswertung mittels Maximalwertmethode (Beispiel WW C in Tab. 4.8)**

Liegen fünf oder weniger Analysenwerte vor, wird nur zwischen den Annahmen unterschieden, dass keine Beeinflussung erkennbar (0 Maluspunkte) oder dass eine Beeinflussung vorhanden ist (1 Maluspunkt). Im Beispiel der Tabelle 4.8 trifft dies bei WW C für Sulfat zu. Die Farbabstufung in den Parameterkarten erfolgt mittels hellgrün beziehungsweise hellbraun. Das Bewertungsergebnis auf Basis von Maximalwerten birgt eine größere Unsicherheit als das der Perzentilauswertung, da der Stichprobenumfang kleiner ist.

Generell ist den Annahmen ein umso größerer Stellenwert einzuräumen, je größer der Stichprobenumfang und je länger der Beobachtungszeitraum ist.

Über die Summe der Maluspunkte je Parameter erfolgt die Klassifizierung und Darstellung der Bewertungsergebnisse in den Parameterkarten:

- Die Bewertungsergebnisse der Brunnen- und Rohmischwasseranalysen eines

Wasserwerks werden zur Klassifizierung des unterirdischen Einzugsgebiets vom Wasserwerk beziehungsweise von der Wasserfassung herangezogen, indem das entsprechende Einzugsgebiet mit den in Tabelle 4.7 dargestellten Farben eingefärbt wird.

- Die Bewertungsergebnisse der Grundwassermessstellen werden durch entsprechend eingefärbte Messstellensymbole dokumentiert.

Eine auszugsweise und beispielhafte Darstellung ist den Texten und Kartenausschnitten in den folgenden Abschnitten 4.5.3 bis 4.5.10 zu entnehmen. Die Karte in Anlage 2 dokumentiert mit Hilfe des nicht stoffspezifischen Parameters „elektrische Leitfähigkeit“ (Abschnitt 4.5.2) den Aufbau der Parameterkarten, wie sie in gleicher Weise dem LfU für die belastungsrelevanten Leitparameter vorliegen.

#### **4.5.2 Elektrische Leitfähigkeit**

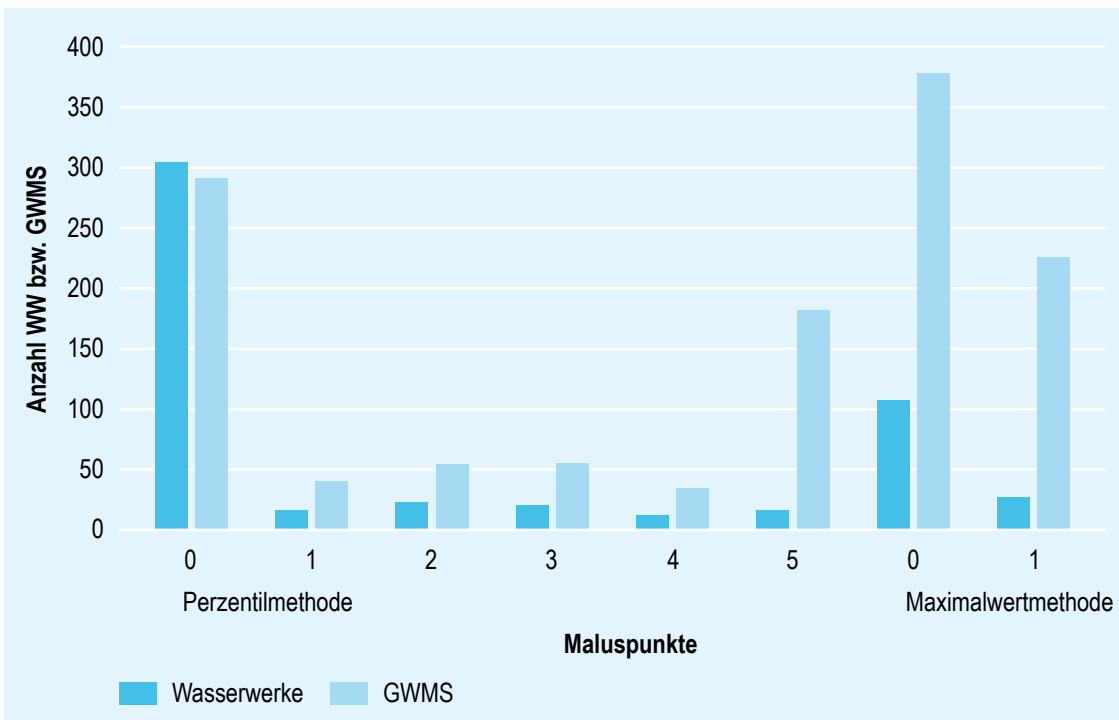
*Prüfwert: 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$*

*Konzentrationen (5. Perzentil/Median/95. Perzentil): Brunnen 330/670/1.178  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , GWMS 308/739/1.774  $\mu\text{S}/\text{cm}$*

Wasser ist zu einem gewissen Grad elektrisch leitfähig. Diese Leitfähigkeit hängt von der Art und Konzentration der gelösten Inhaltsstoffe ab, vor allem von den Ionen Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Chlorid, Sulfat und Hydrogenkarbonat (die sogenannten Hauptionen). Sie gibt lediglich grobe Hinweise auf die Mineralisation eines Wassers. Ist die Konzentration der gelösten Ionen hoch (hohe Mineralisation), zeigt die Probe eine

Abb. 4.13

### Häufigkeiten der Maluspunkte für elektrische Leitfähigkeit bei Wasserwerken und GWMS



hohe elektrische Leitfähigkeit. Sie wird nicht chemisch analysiert, sondern bei der Probenahme vor Ort mittels Sondenmessung im Grundwasser bestimmt.

Die deutliche Mehrheit der Wasserwerke (Brunnen und Rohmischwasser) erhält keinen Maluspunkt (78 %). Bei den Grundwassermessstellen sind es allerdings nur 53 %. Auffällig ist der hohe Anteil von fünf Maluspunkten bei den Grundwassermessstellen (14 %). Die Erklärung ist vermutlich, dass Grundwassermessstellen oft zum Monitoring belasteter Bereiche gebaut (dadurch ist eine Überschreitung des Prüfwerts wahrscheinlicher) und dann auch häufiger beprobt werden. Folge ist, dass die Bewertung oft mit der Percentilmethode erfolgen kann. Die Mehr-

zahl der Grundwassermessstellen ist oberflächennah verfiltert, sodass anthropogene Einflüsse, die insbesondere durch erhöhte Leitfähigkeiten charakterisiert sind, häufiger auftreten.

Die Karte in Anlage 2 zeigt die landesweite Verteilung der Maluspunktbewertung. Da geogen salinare Einflüsse (siehe dazu auch Abschnitt 4.8) und hohe elektrische Leitfähigkeiten eng zusammenhängen, sind in der Karte zusätzlich Gebiete bekannter Grundwasserversalzung sowie Fehlstellen des Rupeltons, der Süß- und Salzwasserstockwerk trennt, eingezeichnet.

Trendanalysen wurden für die elektrische Leitfähigkeit nicht durchgeführt.

### 4.5.3 Nitrat

Prüfwert: 2 mg/l

Konzentrationen (Anteil < BG/95. Perzentil):  
Brunnen 79 %/4,7 mg/l, GWMS 80 %/22 mg/l

Tabelle der statistischen Kennwerte in Anlage 3.1

Nitrat ist (wie Ammonium, Abschnitt 4.5.4) Teil des Stickstoffkreislaufs. 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 auftreten kann, wird der natürliche Stickstoffkreislauf überlastet und folglich gelangt Nitrat oder Ammonium in den Grundwasserleiter. Nitrat existiert lediglich im oxidierenden

Milieu. Unter reduzierenden Verhältnissen wird Nitrat zu elementarem Stickstoff umgewandelt (Denitrifikation).

Die deutliche Mehrheit der Wasserwerke (Brunnen und Rohmischwasser) und der Grundwassermessstellen erhält keinen Maluspunkt (jeweils 81 %). Bei der Perzentilmethode ist nach der Klasse „0“ die höchste Klasse „5“ am stärksten belegt (Abbildung 4.14).

Die regionale Verteilung in Bezug auf die Maluspunktbewertung für den Parameter Nitrat ist als Beispiel in Abbildung 4.15 dargestellt. Die meisten Wasserwerke beziehungsweise Wasserfassungen sind nicht mit Nitrat belastet. In einzelnen Grundwassermessstellen wurden jedoch Nitratbelastungen festgestellt, was zur Vergabe von bis zu fünf Maluspunkten führte.

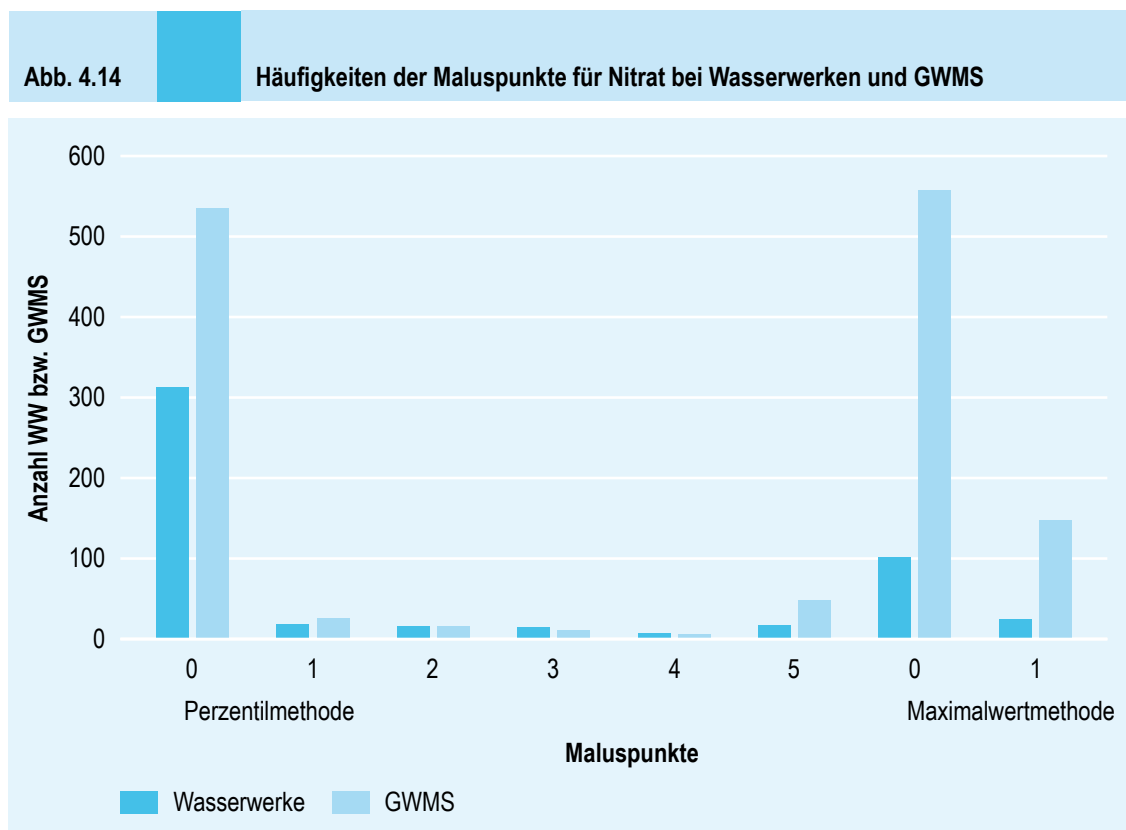




Abb. 4.15

Ausschnitt der Parameterkarte Nitrat (mit freundlicher Genehmigung der Wasser- versorgungsunternehmen 43 und 66)

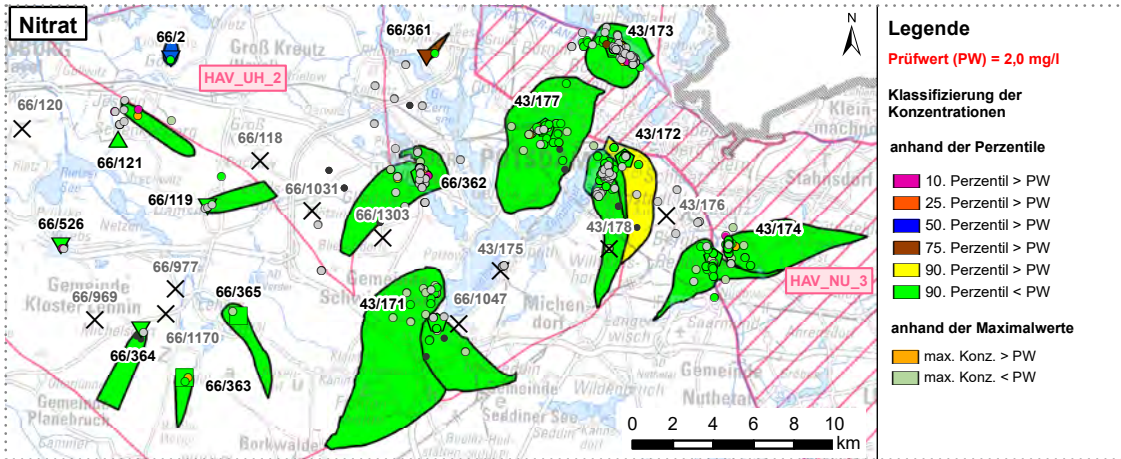
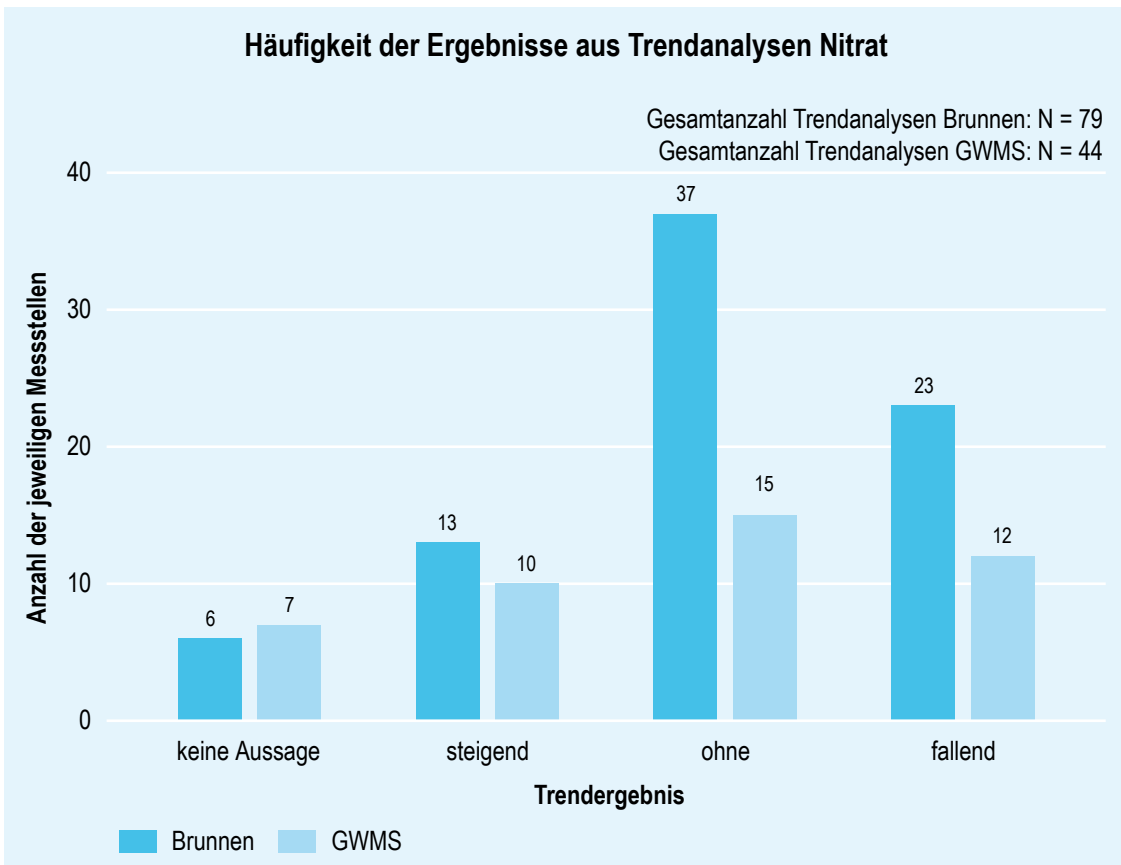


Abb. 4.16

Trendergebnisse für Nitrat



Bei der Bewertung von Nitrat ist zu beachten, dass sein Fehlen im Grundwasser nicht zwingend an das Ausbleiben früherer Nitrat-einträge gekoppelt ist. Unter sauerstoffarmen reduzierenden Bedingungen und dem Vorliegen von organischer Substanz oder von Pyrit kann Nitrat zu Stickstoff denitrifiziert werden, wobei Hydrogenkarbonat und Sulfat (beim Pyritabbau) gebildet werden. Der Verbrauch von Pyrit beziehungsweise organischer Substanz im Grundwasserleiter ist irreversibel, sodass bei anhaltenden Nitratreinträgen ein Durchbruch in Zukunft möglich ist.

Für die Trendanalysen (Abschnitt 4.4) standen wegen der hohen Zahl von Messwerten < BG nur 79 Datenreihen von Brunnen und 44 Datenreihen von Grundwassermessstellen zur Verfügung (Abbildung 4.16). Bei Brunnen und Grundwassermessstellen dominiert das Ergebnis „ohne Trend“. Bei Brunnen sind fallende Trends deutlich häufiger als steigende, während bei den Grundwasser-

messstellen die fallenden Trends gegenüber den steigenden leicht überwiegen.

#### 4.5.4 Ammonium

Prüfwert: 0,5 mg/l

Konzentrationen (Anteil < BG/Median/95. Perzentil): Brunnen 12 %/0,4/1,9 mg/l, GWMS 16 %/0,3/3,5 mg/l

Tabelle der statistischen Kennwerte in Anlage 3.2

Erhöhte Ammoniumgehalte im Grundwasser können geogen durch die organische Substanz tertiärer und warmzeitlicher, auch holozäner Sedimente in rezenten Auen und Niederungsgebieten mit ihrem reduzierenden Milieu bedingt sein. Anthropogene Einträge erfolgen insbesondere über die Düngung (Mineral- und Wirtschaftsdünger, siehe auch Abschnitt 4.5.3), durch ehemalige Rieselfelder und in den Berg-

Abb. 4.17

Häufigkeiten der Maluspunkte für Ammonium bei Wasserwerken und GWMS

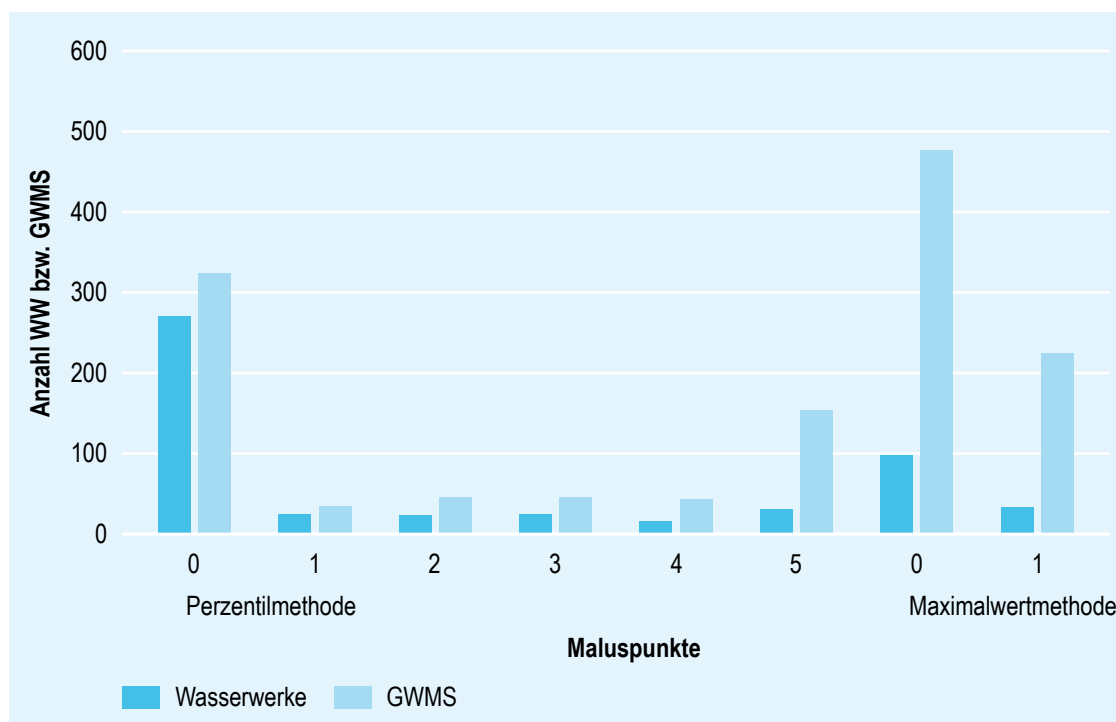


Abb. 4.18

Ausschnitt der Parameterkarte Ammonium (mit freundlicher Genehmigung der Wasserversorgungsunternehmen 43 und 66)

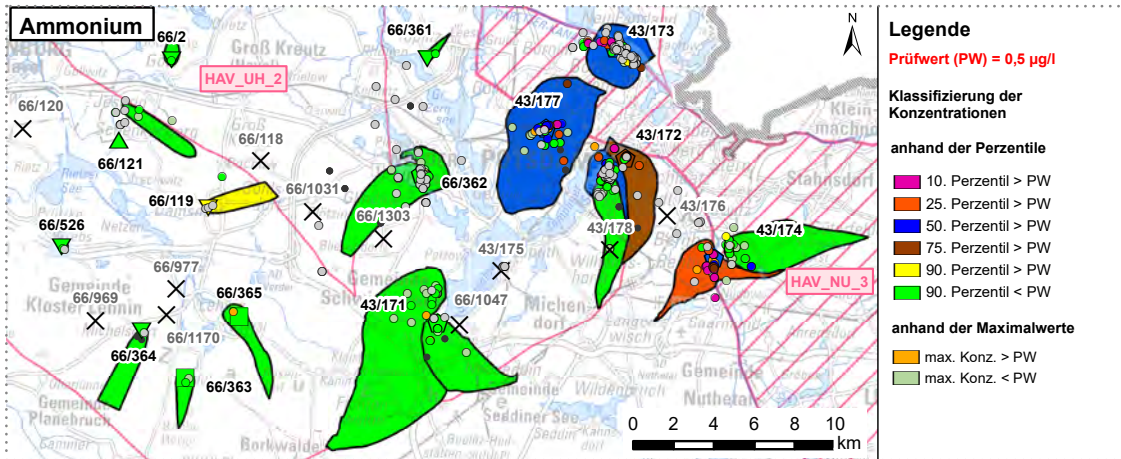
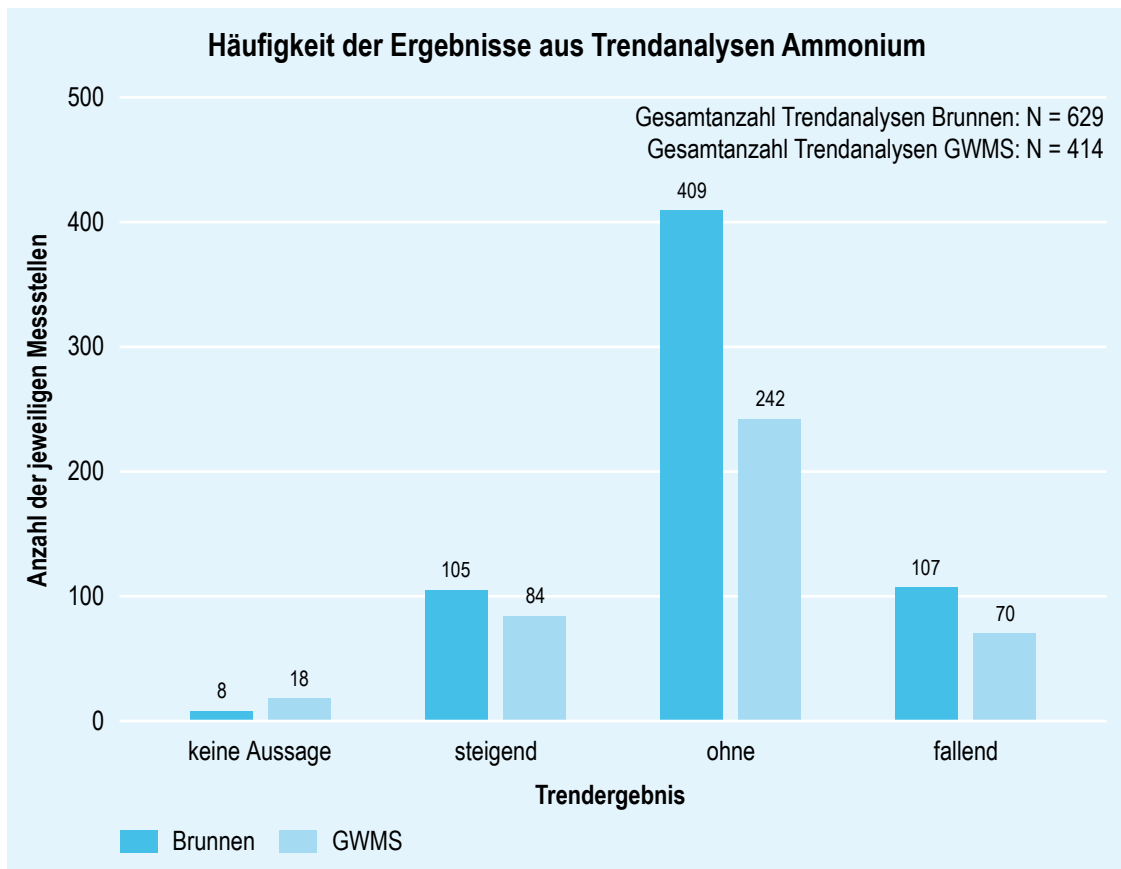


Abb. 4.19

Trendergebnisse für Ammonium



baufolgelandschaften der Lausitz durch die Umlagerung tertiären organischen Materials<sup>1,2</sup>.

Die Mehrheit der Wasserwerke (Brunnen und Rohmischwasser) weist keinen Maluspunkt (71 %) auf. Bei den Grundwassermessstellen sind es mit 60 % etwas weniger (Abbildung 4.17).

Die regionale Verteilung hinsichtlich der Maluspunktbewertung für den Parameter Ammonium ist als Beispiel in Abbildung 4.18 dargestellt. In den westlichen Wasserwerken der Abbildung 4.18 liegen bis auf wenige Nachweise im Wasserwerk mit der Ident-Nr. 66/119 keine Beeinflussungen mit Ammonium vor. Das Brunnen- und Rohmischwasser der östlichen Wasserwerke (Ident-Nr. 43/172, 43/176, 43/177) zeigt Ammoniumkonzentrationen über 0,5 mg/l (Grenzwert TrinkwV, Schwellenwert GrwV), was bei diesen Wasserwerken unter anderem auf den Einfluss geogen salinaren Tiefenwassers zurückzuführen ist. Das Monitoring der Vorfeldmessstellen belegt diese Beeinflussung. Besonders hohe Ammoniumkonzentrationen weist das Wasserwerk 43/174 auf, wo bereits das 25. Perzentil über dem Prüfwert liegt, das heißt 75 % der Analysen überschreiten 0,5 mg/l. Dieses Wasserwerk wird unter anderem von Uferfiltrat beeinflusst. Ammonium wird bei der naturnahen Aufbereitung entfernt, sodass die Konzentrationen im Trinkwasser unter dem Grenzwert der TrinkwV liegen.

Für die Trendanalysen (Abschnitt 4.4) standen 629 Datenreihen von Brunnen und 414 Datenreihen von Grundwassermessstellen zur Verfügung (Abbildung 4.19). Sowohl bei den Brunnen als auch bei den Grundwassermessstellen dominiert das Ergebnis „ohne Trend“. Bei Brunnen sind fallende und steigende Trends ungefähr gleich häufig, während bei den Grundwassermessstellen die steigenden Trends überwiegen.

#### 4.5.5 Chlorid

*Prüfwert: 50 mg/l*

*Konzentrationen (5. Perzentil/Median/95. Perzentil): Brunnen 6,7/34/107 mg/l, GWMS 6,0/41/388 mg/l*

*Tabelle der statistischen Kennwerte in Anlage 3.3*

Chlorid wird natürlicherweise mit dem Niederschlag über das Sickerwasser in das Grundwasser eingetragen und kann aus dem salinaren Tiefenwasserstockwerk aufsteigen, wenn dies die hydrogeologischen Bedingungen erlauben. Eine anthropogene Beeinflussung des Grundwassers kann flächenhaft mit dem Eintrag von Dünger beziehungsweise beim Ausbringen von Abwasser auf Rieselfeldern, punktuell mit der Aufsalzung durch Kläranlagen, Deponien, Altlasten oder Altablagerungen sowie linienhaft entlang von Straßen und Bahngleisen durch Tausalze einhergehen. Chlorid nimmt kaum an Reaktionen teil und wird nicht am Sediment sorbiert, sodass es sich unverändert mit der Grundwasserströmung ausbreitet „sogenannter idealer Tracer“.

Die deutliche Mehrheit (80 %) der Wasserwerke (Brunnen und Rohmischwasser) weist keinen Maluspunkt auf. Bei den Grundwassermessstellen sind es nur 59 % (Abbildung 4.21).

Die regionale Verteilung in Bezug auf die Maluspunktbewertung für den Parameter Chlorid ist als Beispiel in Abbildung 4.20 dargestellt. In dem westlichen Wasserwerk mit der Ident-Nr. 66/362 liegen die Chloridkonzentrationen teilweise über 50 mg/l, jedoch jeweils deutlich unter dem Grenzwert der TrinkwV (250 mg/l). Es sind nur wenige Brunnen betroffen, was auf punktuelle Einträge im Anstrom hindeutet. Das Wasserwerk mit

Abb. 4.20

Ausschnitt der Parameterkarte Chlorid (mit freundlicher Genehmigung der Wasserversorgungsunternehmen 43 und 66). Siehe auch Legende der Anlage 2 für zusätzliche Signaturen.

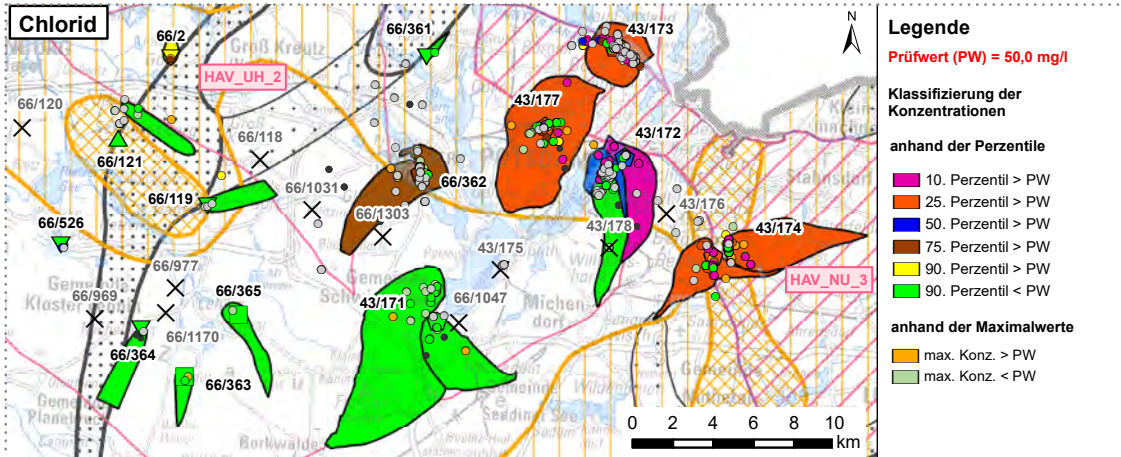
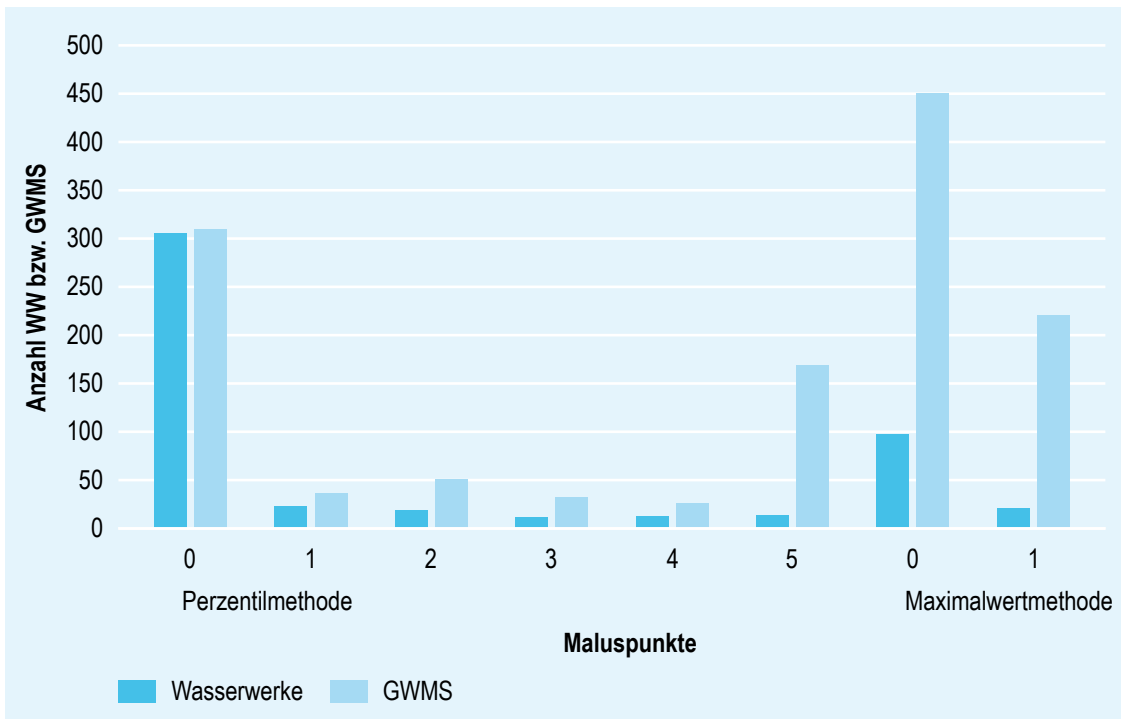


Abb. 4.21

Häufigkeiten der Maluspunkte für Chlorid bei Wasserwerken und GWMS

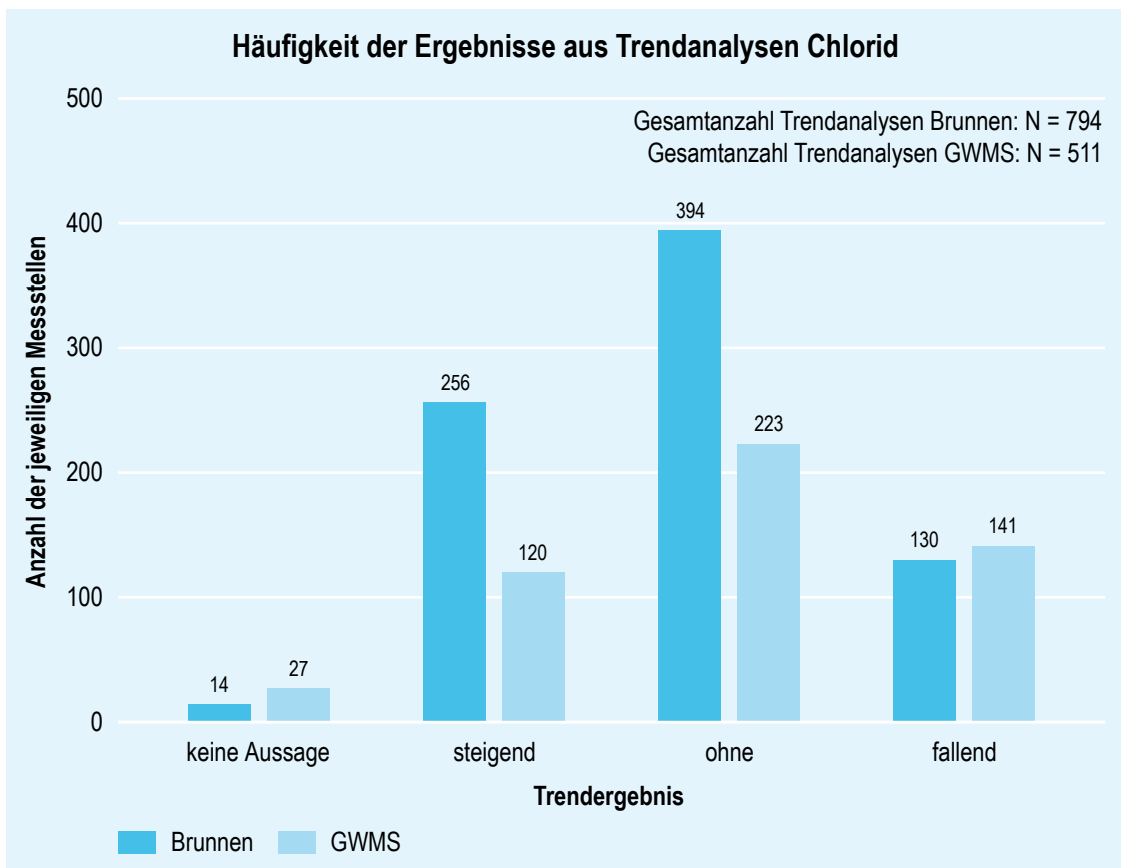


der Ident-Nr. 66/118 zeigte in der Vergangenheit ähnlich hohe Chloridkonzentrationen, die auf diffuse landwirtschaftliche Nährstoff-einträge im Einzugsgebiet zurückzuführen waren. Das Wasserwerk wurde mittlerweile stillgelegt und das Einzugsgebiet wird in der Karte dementsprechend nicht eingefärbt. Die relativ hohen Chloridkonzentrationen der östlichen Wasserwerke (Ident-Nr. 43/172, 43/173, 43/174, 43/177) sind mehrheitlich auf geogen salinar beeinflusste Brunnen zurückzuführen (siehe auch Abschnitt 4.8). Bei drei dieser Wasserwerke liegt das 25. Perzentil über dem Prüfwert von 50 mg/l (Einzugsgebiet rot), das heißt die Konzentrationen von 75 % der Brunnenanalysen sind höher als 50 mg/l. Beim Wasserwerk 43/172 konnten die Wasserfassungen separat bewertet werden, wodurch die besonders starke Chlorid-

belastung einer Fassung (fünf Maluspunkte; Wasserwerkseinzugsgebiet in der Farbe Magenta) herausgestellt wird. Der Betrieb und das Monitoring der geogen salinar beeinflussten Wasserwerke sind an diese Beeinflussung angepasst, um die Chloridkonzentration im Trinkwasser jeweils deutlich unter dem Grenzwert nach TrinkwV zu halten.

Für die Trendanalysen (Abschnitt 4.4) standen 794 Datenreihen von Brunnen und 511 Datenreihen von Grundwassermessstellen zur Verfügung (Abbildung 4.22). Hinsichtlich der Brunnen und der Grundwassermessstellen dominiert das Ergebnis „ohne Trend“. Bei den Brunnen treten steigende häufiger als fallende Trends auf. Bei den Grundwassermessstellen halten sich steigende und fallende Trends ungefähr die Waage.

Abb. 4.22 Trendergebnisse für Chlorid



#### 4.5.6 Sulfat

Prüfwert: 130 mg/l

Konzentrationen (5. Perzentil/Median/95. Perzentil): Brunnen 4,8/77/256 mg/l, GWMS 2/80/270 mg/l

Tabelle der statistischen Kennwerte in Anlage 3.4

Direkte anthropogene Eintragsquellen von Sulfat in Form des gelösten Calciumsulfats sind unter anderem in Düngern und Auftausalzen, im Abwasser oder Deponiewasser (Altablagerungen von Bauschutt) zu erwarten. Im Boden vorhandenes Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) kann durch hohe Einträge von Oxidationsmitteln (insbesondere Nitrat und Sauerstoff) beispielweise in landwirtschaftlich genutzten

Gebieten oder ehemaligen Rieselfeldgebieten oxidiert werden. In den entsprechend beeinflussten Messstellen werden dann sehr hohe Sulfatkonzentrationen und teilweise auch sehr hohe Eisenkonzentrationen registriert.

Die Mehrheit der Wasserwerke (Brunnen und Rohmischwasser) erhält keinen Maluspunkt (71 %). Bei den Grundwassermessstellen sind es nur 52 % (Abbildung 4.23).

Die regionale Verteilung hinsichtlich der Maluspunktbewertung von Sulfat ist als Beispiel in Abbildung 4.24 dargestellt. Die meisten Wasserwerke im Kartenausschnitt deuten auf Sulfatbeeinflussungen des Grundwassers hin. Eine sehr hohe Sulfatbelastung (fünf Maluspunkte) tritt im Wasserwerk mit der Ident-Nr. 66/2 auf. Im Wasserwerk 66/119

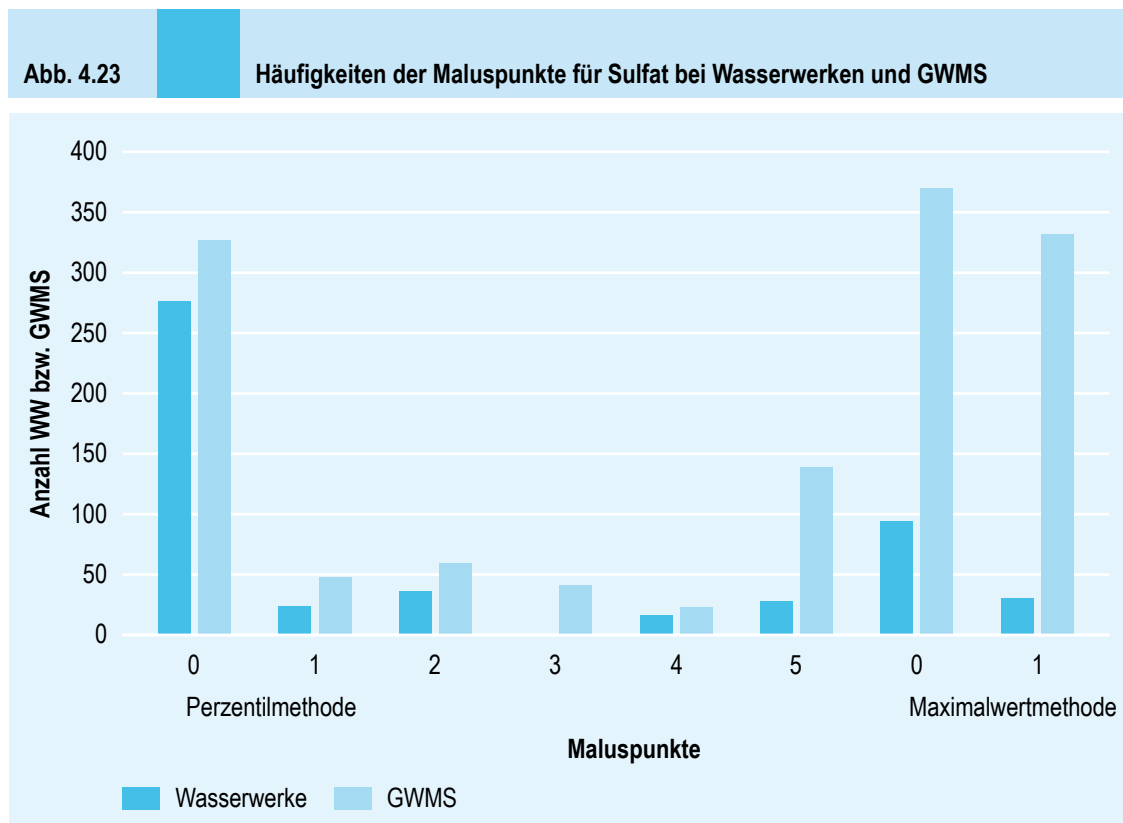


Abb. 4.24

Ausschnitt der Parameterkarte Sulfat (mit freundlicher Genehmigung der Wasserversorgungsunternehmen 43 und 66)

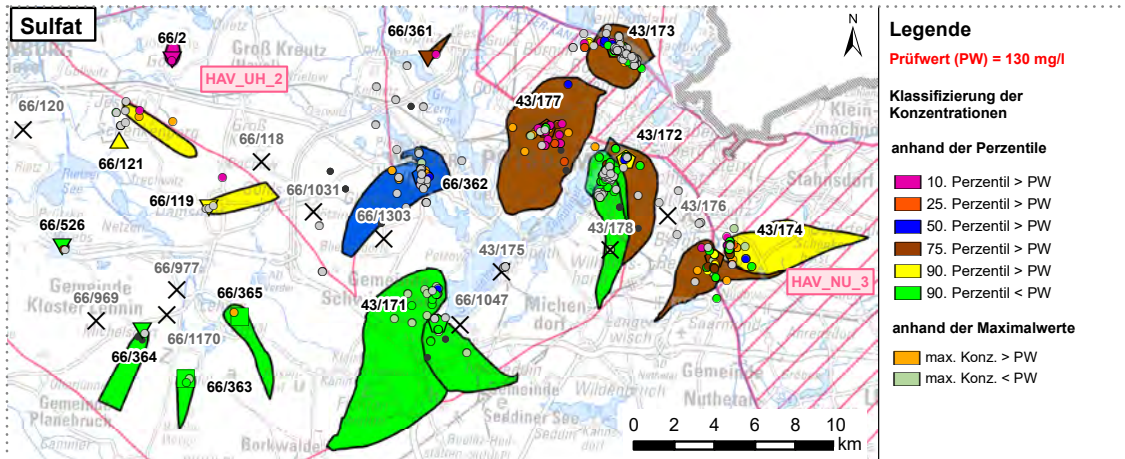
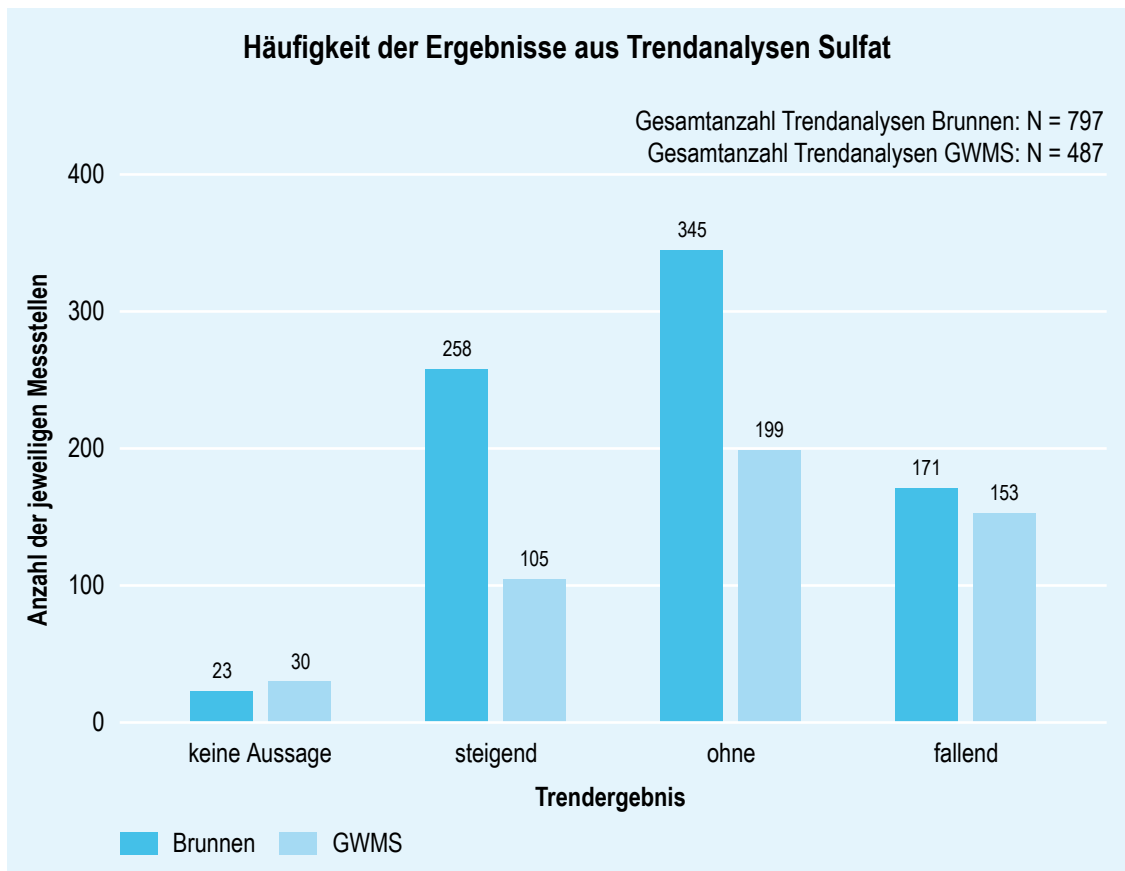


Abb. 4.25

Trendergebnisse für Sulfat



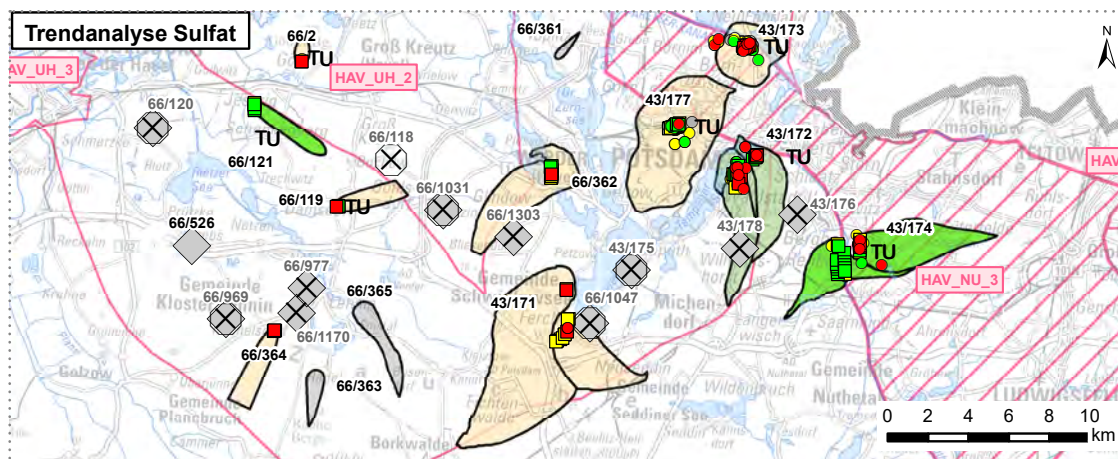


fiel in der Vergangenheit ein flach verfilterter Brunnen durch eine sehr hohe Sulfatbelastung auf<sup>9</sup>. Die Konzentrationen gehen zwar zurück, liegen aber noch über dem Prüfwert von 130 mg/l. Die Konzentration in den anderen Brunnen ist geringer, sodass das Wasserwerk insgesamt mit einem Maluspunkt bewertet wird. Das Wasserwerk mit der Ident-Nr. 66/118 wies in der Vergangenheit eine sehr hohe Sulfatbelastung (fünf Maluspunkte) auf<sup>9</sup> und wurde mittlerweile stillgelegt (gekreuztes Symbol). Dementsprechend wird das Einzugsgebiet in der Karte nicht eingefärbt. Im Falle der vier östlichen, geogen salinar be-

einflussten Wasserwerke (siehe Anmerkungen zu Chlorid, Abschnitt 4.5.5) sind sowohl geogene als auch anthropogene Ursachen für erhöhte Sulfatgehalte verantwortlich.

Für die Trendanalysen (Abschnitt 4.4) standen 797 Datenreihen von Brunnen und 48 Datenreihen von Grundwassermessstellen zur Verfügung (Abbildung 4.25). Bei den Brunnen und den Grundwassermessstellen dominiert das Ergebnis „ohne Trend“. In Bezug auf die Brunnen sind steigende Trends häufiger als fallende Trends. Bei den Grundwassermessstellen ist das Verhältnis umgekehrt.

**Abb. 4.26** Ausschnitt der Karte der Trendergebnisse für Sulfat (mit freundlicher Genehmigung der Wasserversorgungsunternehmen 43 und 66)



**Legende**

**Ergebnisse der Trendberechnungen**

**GWMS**

- fallender Trend
  - kein Trend
  - steigender Trend
  - keine Trendaussage möglich
- Anzahl Messwerte  $n \geq 10$  ausreichend für Trendberechnung, aber Kriterien für sichere Aussage (Anzahl Messwerte nach Ausreißertest, Ergebnis statistischer Trendtest nach Mann-Kendall) nicht erfüllt

**TU** Trendumkehr nach GrwV in Brunnen des Wasserwerks

**Brunnen**

- 
- 
- 
- 

**Bewertung der unterirdischen Einzugsgebiete der Wasserwerke**

**(zusammenfassende Bewertung der Brunnen)**

- alle Brunnen haben fallenden Trend
- Mehrheit hat fallenden Trend
- teilweise fallender Trend
- kein einheitlicher Trend
- teilweise steigender Trend
- Mehrheit hat steigenden Trend
- alle Brunnen haben steigenden Trend
- keine Trendaussage möglich

Daten zur Trendberechnung nicht ausreichend oder Kriterien für sichere Trendaussage nicht erfüllt

◇ WW-Standort ohne hydrodynamisches Einzugsgebiet

Beispielhaft für den Parameter Sulfat ist in Abbildung 4.26 ein Kartenausschnitt aus der landesweiten Karte der Trendergebnisse dargestellt. In zahlreichen Wasserwerken zeigen einzelne Brunnen langfristig steigende Trends (symbolisiert durch rote Quadrate).

Bei einem der Brunnen des oben genannten sehr stark sulfatbelasteten Wasserwerks 66/2 wurde ein langfristig steigender Trend nachgewiesen. Die Sulfatkonzentration nahm über den gesamten Beobachtungszeitraum von 2002 bis 2019 von circa 130 mg/l (entspricht Prüfwert für Sulfat) auf circa 170 mg/l zu. Da dies der einzige Brunnen mit einem statistisch belegten Trend ist, erhält das Wasserwerk insgesamt die Trendkategorie „kein einheitlicher Trend“ (beige Füllung des Einzugsgebiets).

Der genannte sulfatbelastete flache Brunnen im Wasserwerk 66/119 spiegelt einen statistisch belegten langfristig fallenden Trend wider. Ein anderer Brunnen weist jedoch einen steigenden Trend auf, wenn auch mit insgesamt geringeren Konzentrationen.

Im Wasserwerk 66/121 zeigen die meisten Brunnen einen fallenden Trend (grüne Quadrate), während für die übrigen Brunnen kein Trend nachgewiesen werden konnte. Steigende Trends traten nicht auf. Dieses Wasserwerk erhält damit die Trendkategorie „Mehrheit hat fallenden Trend“ (hellgrüne Füllung).

Die Grundwassermessstellen der vier östlichen, geogen salinar beeinflussten Wasserwerke zeigen häufig steigende Trends (rote Kreise), während die meisten Brunnen keinen statistisch belegten Trend oder einen fallenden Trend aufweisen. Die Wasserwerke werden somit den Kategorien „kein einheitlicher Trend“, „teilweise fallender Trend“ oder sogar der Trendkategorie „Mehrheit hat fallenden Trend“ zugeordnet.

#### 4.5.7 Kalium

*Prüfwert: 7 mg/l*

*Konzentrationen (5. Perzentil/Median/95. Perzentil): Brunnen 0,7/2,4/7,4 mg/l, GWMS 0,8/2,8/15 mg/l*

*Tabelle der statistischen Kennwerte in Anlage 3.5*

Kalium gehört neben Stickstoff, Phosphor und Magnesium zu den Hauptnährstoffen der Pflanzen. Es besitzt eine starke Adsorptionstendenz an das Bodenmaterial. Das bedeutet, dass Kalium üblicherweise erst bei einem erheblichen Überschuss (zum Beispiel infolge künstlicher Zufuhr von mineralischen Düngern, Gülle oder Abwasser) in erhöhten Konzentrationen im Grundwasser auftritt.

Die deutliche Mehrheit der Wasserwerke (Brunnen und Rohmischwasser) weist keinen Maluspunkt (90 %) auf. Bei den Grundwassermessstellen sind es mit 75 % weniger (Abbildung 4.28).

Die regionale Verteilung in Bezug auf die Maluspunktbewertung für den Parameter Kalium ist als Beispiel in Abbildung 4.27 dargestellt. Die Kaliumnachweise über dem Prüfwert von 7 mg/l im Wasserwerk mit der Ident-Nr. 66/119 sind auf diffuse Nährstoffeinträge im landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet zurückzuführen, die sich vor allem in erhöhten Sulfatgehalten (Abschnitt 4.5.6) manifestieren. Die Konzentrationsverteilung in den Brunnen gleicht der von Sulfat. Der flach verfilterte Brunnen des Wasserwerks 66/119 zeigt neben den sehr hohen Sulfat- und Kaliumgehalten auch eine geringe Beeinträchtigung mit Bor, meist unterhalb des Prüferts. Im Falle der vier östlichen, geogen salinar beeinflussten Wasserwerke (Abschnitte 4.5.5 und 4.5.6) sind überwiegend geogene Ursachen für die Kaliumgehalte

Abb. 4.27

Ausschnitt der Parameterkarte Kalium (mit freundlicher Genehmigung der Wasser-  
versorgungsunternehmen 43 und 66)

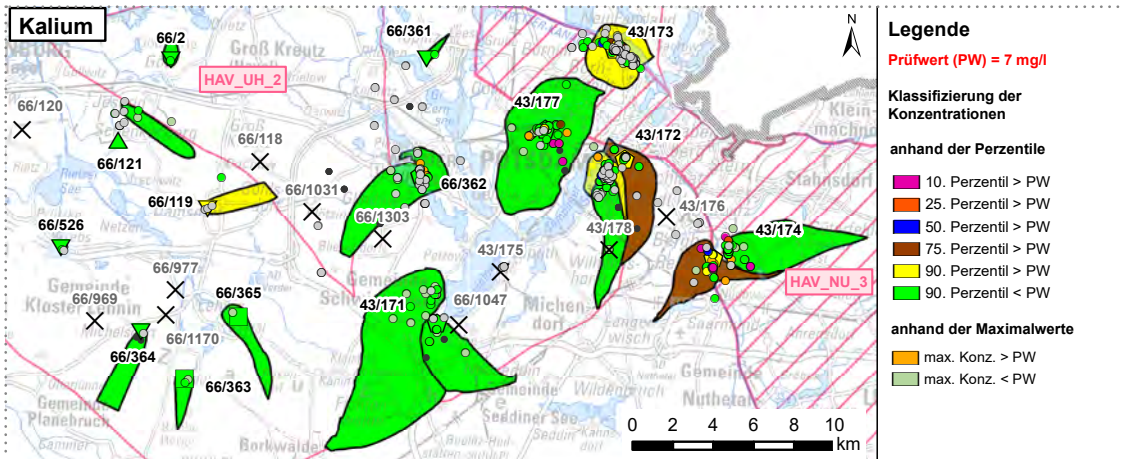
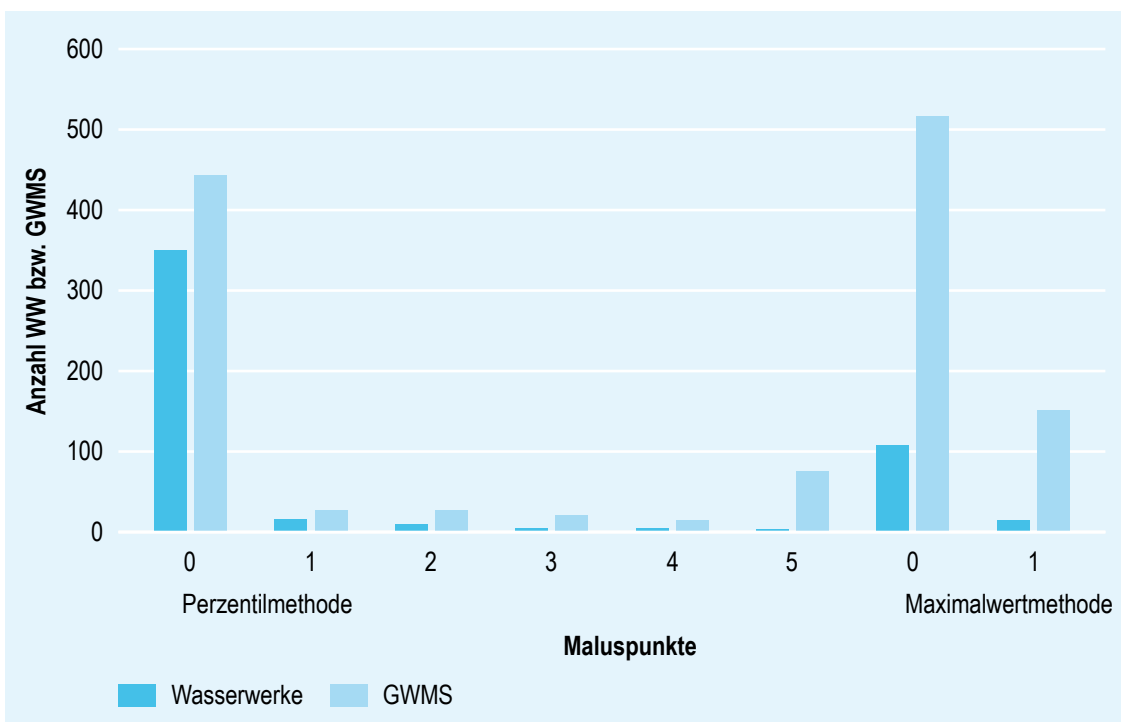


Abb. 4.28

Häufigkeiten der Maluspunkte für Kalium bei Wasserwerken und GWMS



über 7 mg/l verantwortlich. Die Kaliumnachweise des Wasserwerks 43/173 sind auf einen Uferfiltrateinfluss zurückzuführen.

Für die Trendanalysen standen 747 Datenreihen von Brunnen und 487 Datenreihen von Grundwassermessstellen zur Verfügung (Abbildung 4.29). Sowohl bei den Brunnen als auch bei den Grundwassermessstellen dominiert das Ergebnis „ohne Trend“. Bei Brunnen sind steigende Trends häufiger als fallende, während bei den Grundwassermessstellen beide Trends ausgewogen sind.

#### 4.5.8 ortho-Phosphat

Prüfwert: 0,3 mg/l

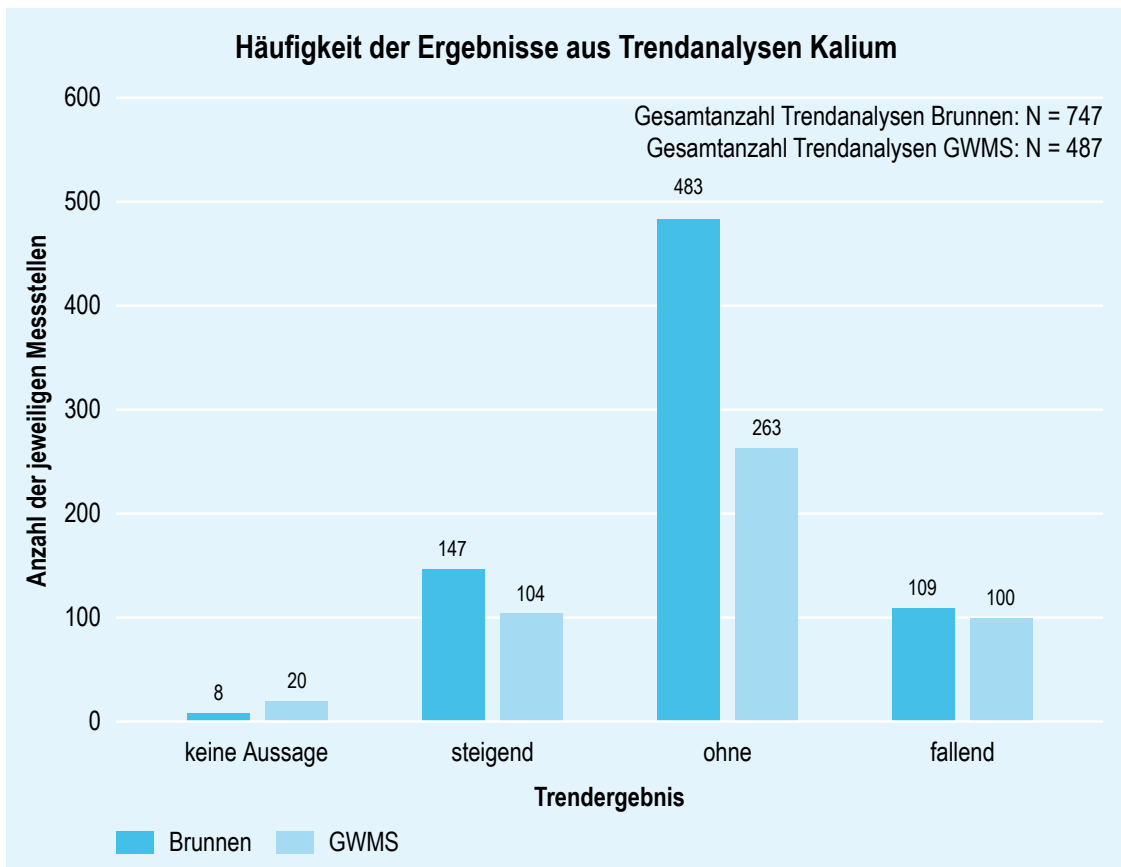
Konzentrationen (Anteil < BG/95. Perzentil):  
Brunnen 73 %/0,6 mg/l, GWMS 72 %/0,7 mg/l

Tabelle der statistischen Kennwerte in Anlage 3.6

ortho-Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) repräsentiert die im Grundwasser gelösten Salze der ortho-Phosphorsäure ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Phosphor kann außerdem in Form von Di-, Meta- und Polyphosphaten sowie organischen Phosphorverbindungen auftreten. ortho-Phosphat kommt natürlicherweise nur in geringen Konzentrationen vor, weil viele Phosphate schwer löslich sind. Es kann unter anderem über Düngung

Abb. 4.29

Trendergebnisse für Kalium



oder aus wiedervernässten Niederungsböden eingetragen werden.

Die deutliche Mehrheit der Wasserwerke (Brunnen und Rohmischwasser) erhält keinen Maluspunkt (85 %). Bei den Grundwassermessstellen sind es mit 76 % etwas weniger (Abbildung 4.24).

Die regionale Verteilung hinsichtlich der Maluspunktbewertung für den Parameter ortho-Phosphat ist als Beispiel in Abbildung 4.31 dargestellt. In den westlichen Wasserwerken liegen bis auf wenige Nachweise über dem Prüfwert (0,3 mg/l) in zwei Wasserwerken (Ident-Nr. 66/363, 66/364) keine Beeinflussungen mit Phosphat vor (Einzugsgebiete grün und gelb). Für einige Wasserwerke des Wasserversorgungsunternehmens 43 liegen zu ortho-Phosphat keine Messwerte vor (Einzugsgebiete nicht ausgefüllt). Die restlichen Wasserwerke sind diesbezüglich ebenfalls unauffällig.

In der Vergangenheit wurden in den östlichen Wasserwerken Konzentrationen von Gesamt-Phosphat über dem Prüfwert gemessen, was bei diesen Wasserwerken überwiegend auf den Einfluss von geogenem salinarem Tiefenwasser, teilweise auch auf Uferfiltrat zurückgeführt wurde. In den Teilprojekten 8A bis 11, die in dieser Publikation zusammengefasst werden, ist Gesamt-Phosphat kein Leitparameter mehr.

Für die Trendanalysen standen wegen der hohen Anzahl von Messwerten unter der Bestimmungsgrenze nur 52 Datenreihen von Brunnen und 35 Datenreihen von Grundwassermessstellen zur Verfügung (Abbildung 4.32). Bei den Brunnen wurden etwas häufiger steigende als fallende Trends ermittelt. Jedoch ist eine belastbare Aussage aufgrund der geringen Anzahl von Datensätzen nicht möglich.

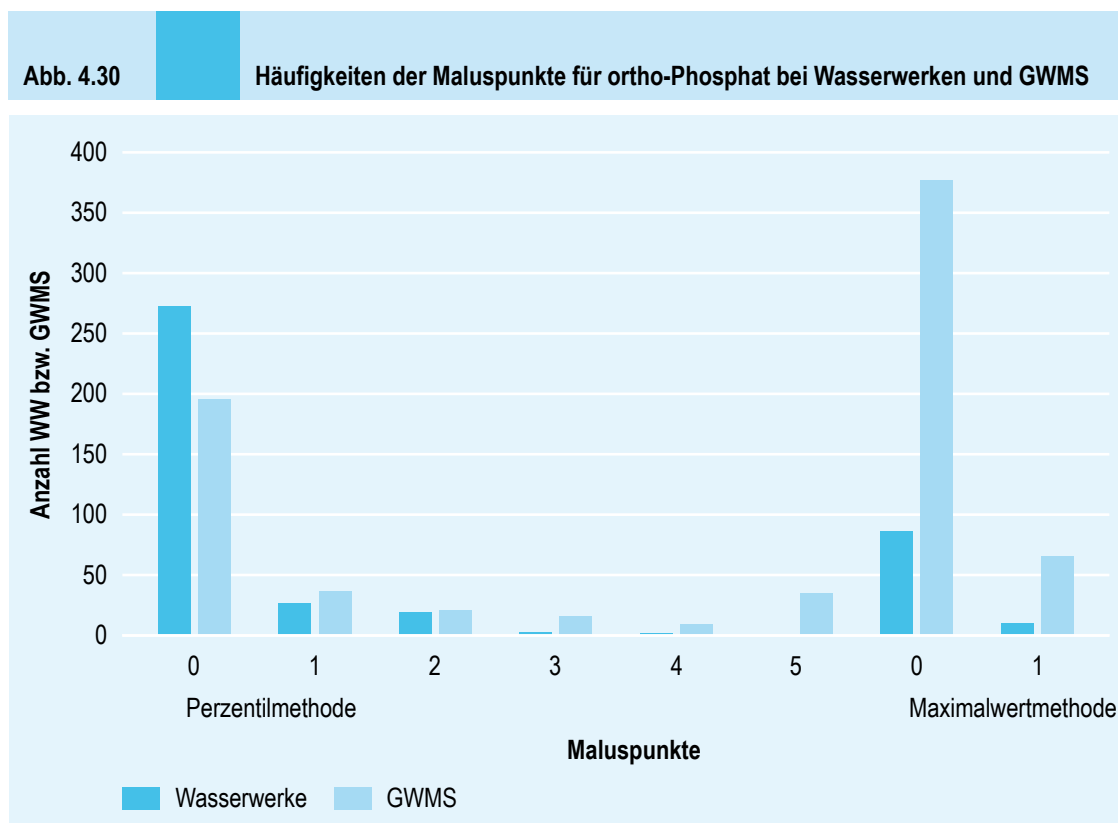


Abb. 4.31

Ausschnitt der Parameterkarte ortho-Phosphat (mit freundlicher Genehmigung der Wasserversorgungsunternehmen 43 und 66)

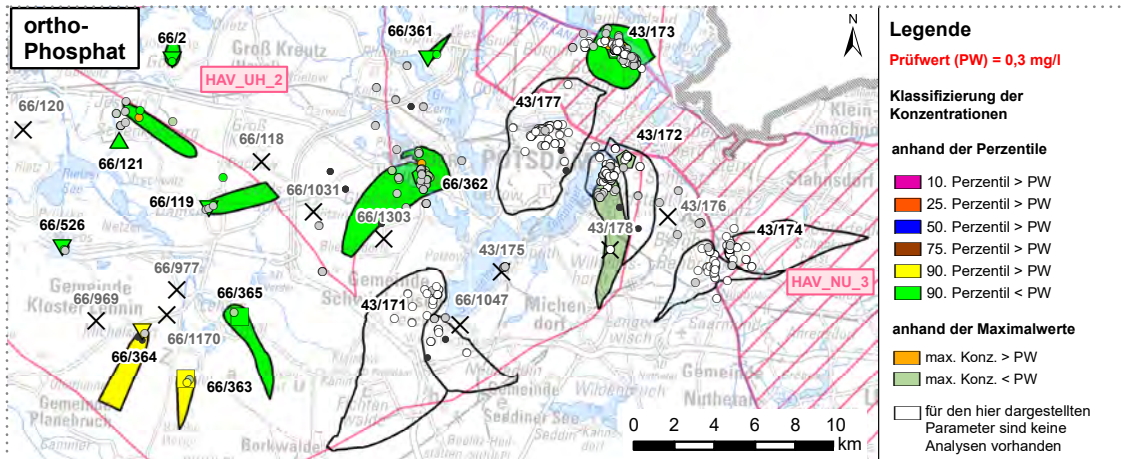
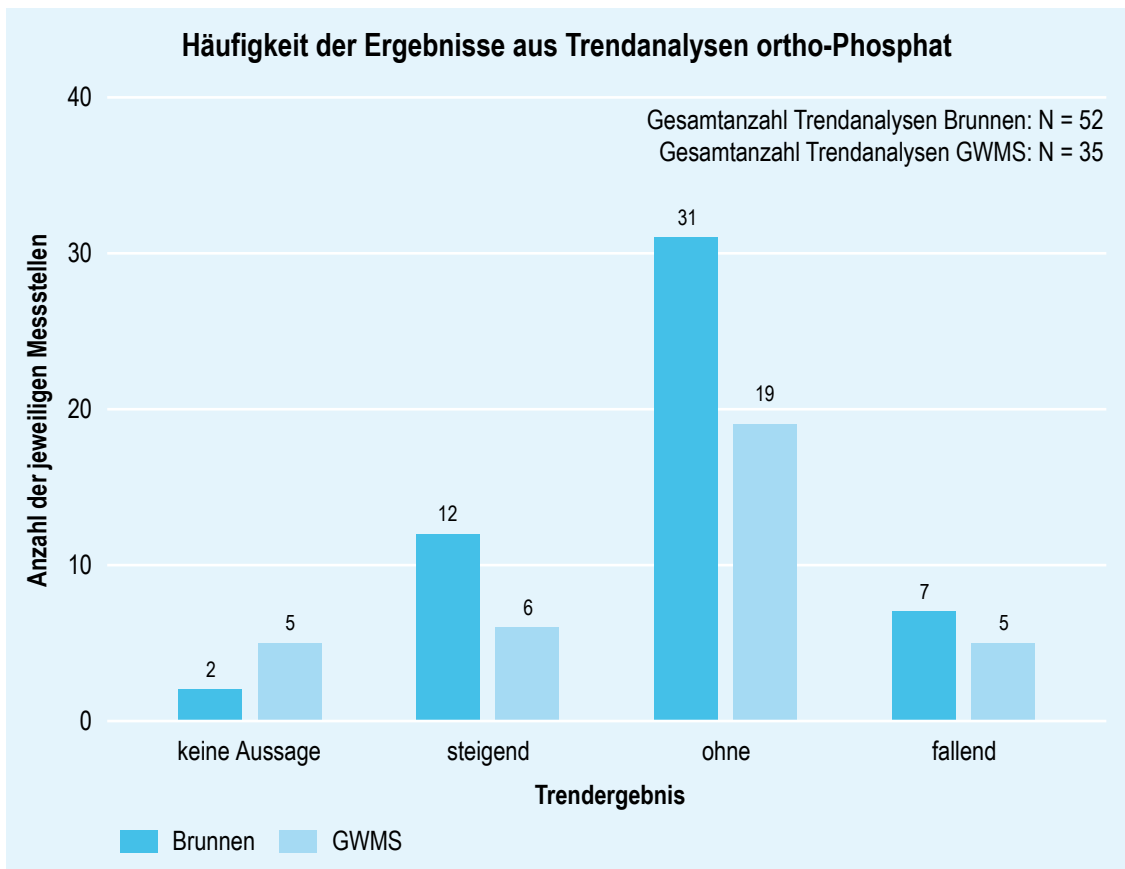


Abb. 4.32

Trendergebnisse für ortho-Phosphat



#### 4.5.9 Bor

Prüfwert: 150 µg/l

Konzentrationen (Anteil < BG/Median/95. Perzentil): Brunnen 39 %/37 µg/l/120 µg/l, GWMS 37 %/40 µg/l/310 µg/l

Tabelle der statistischen Kennwerte in Anlage 3.7

Bor im Grundwasser stammt üblicherweise aus anthropogenen Einträgen (vor allem Wasch- und Reinigungsmittel). Bei tiefen Messstellen ist jedoch auch eine geogen salinare Herkunft möglich.

Der deutlichen Mehrheit (95 %) von Wasserwerken (Brunnen und Rohmischwasser) wurden keine Maluspunkte zugewiesen. Bei den Grundwassermessstellen sind es 85 % (Abbildung 4.33).

Die regionale Verteilung in Bezug auf die Maluspunktbewertung für den Parameter Bor ist beispielhaft in Abbildung 4.34 dargestellt. In den westlichen Wasserwerken liegen bis auf Nachweise im Wasserwerk mit der Ident-Nr. 66/362 keine Beeinflussungen mit Bor vor (Einzugsgebiete grün beziehungsweise gelb). Die erhöhten Borkonzentrationen werden auf anthropogene Einflüsse zurückgeführt. Die Brunnen- und Rohmischwasseranalysen einer Fassung des östlichen Wasserwerks mit der Ident-Nr. 43/172 zeigen eine erkennbare Beeinflussung mit Bor (zwei Maluspunkte), was wahrscheinlich auf geogen salinare Tiefenwässer zurückzuführen ist.

Für die Trendanalysen standen aufgrund der großen Anzahl von Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze nur 142 Datenreihen von Brunnen und 84 Datenreihen von Grundwassermessstellen zur Verfügung (Abbildung 4.35). Bei den Brunnen und den

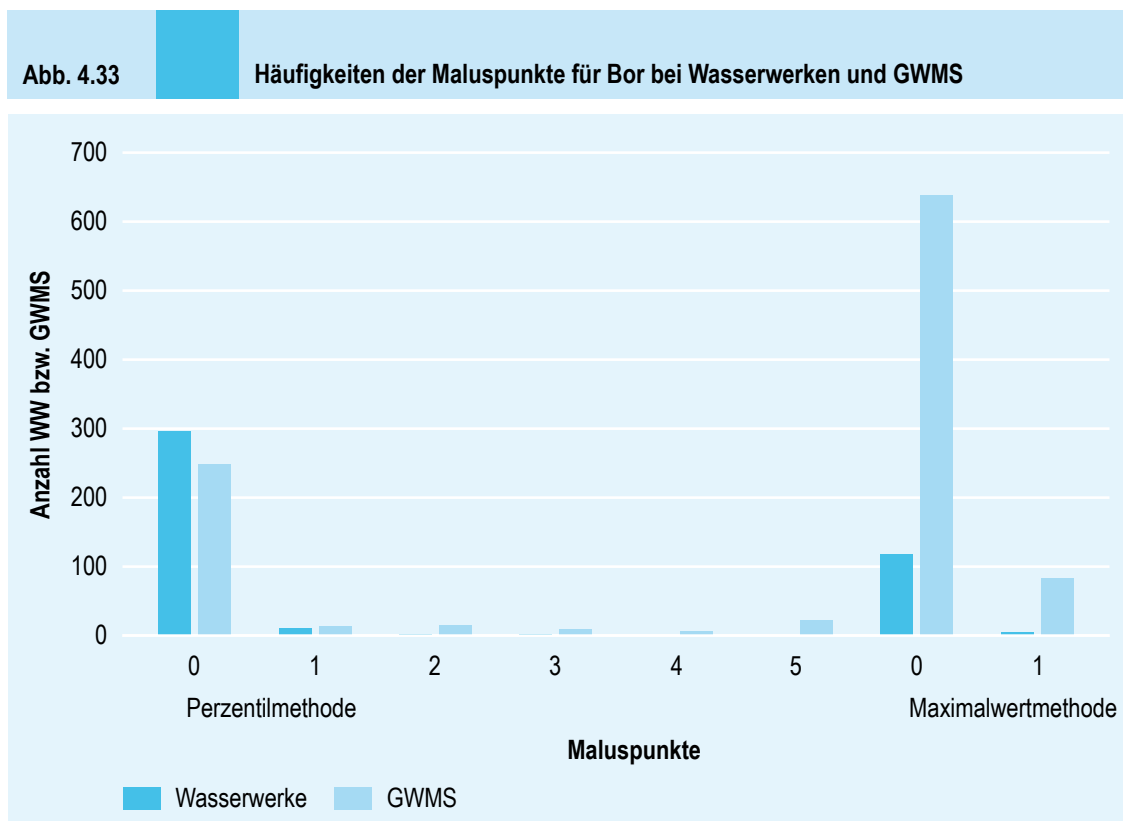


Abb. 4.34

Ausschnitt der Parameterkarte Bor (mit freundlicher Genehmigung der Wasserversorgungsunternehmen 43 und 66)

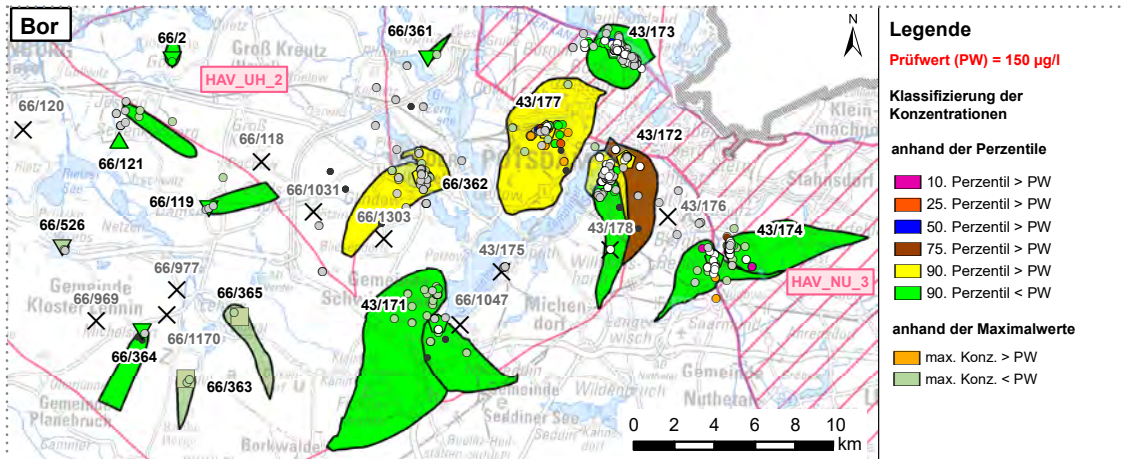
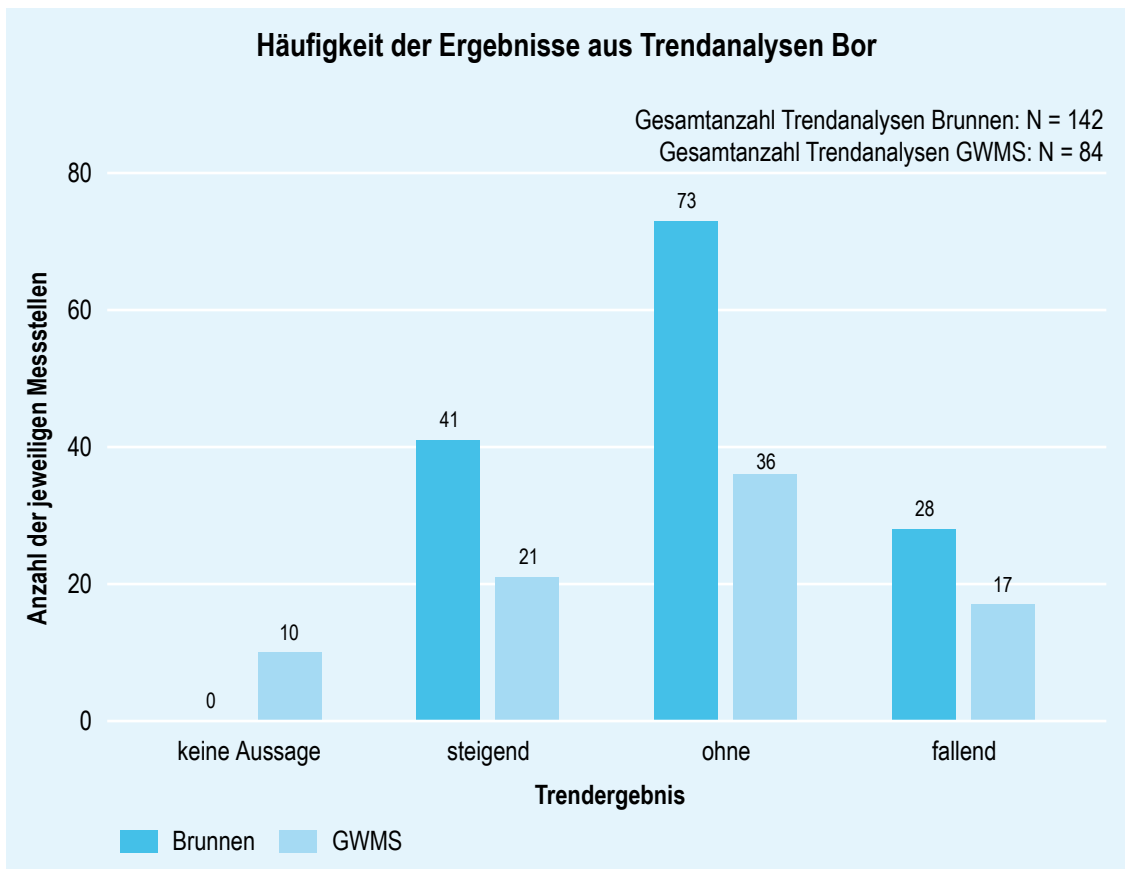


Abb. 4.35

Trendergebnisse für Bor





Grundwassermessstellen dominiert das Ergebnis „ohne Trend“, wobei jeweils steigende Trends häufiger als fallende auftraten.

#### 4.5.10 Pflanzenschutzmittel

Prüfwert: 0,1 µg/l

Konzentrationen (Anteil < BG/Maximum): Brunnen 98,9 %/10 µg/l, GWMS 98,7 %/26,5 µg/l

Bei den Einzelstoffen der Pflanzenschutzmittel (siehe dazu auch Abschnitt 4.9) weist die deutliche Mehrheit der Wasserwerke (Brunnen und Rohmischwasser) keinen Maluspunkt auf (94 %). In Bezug auf die Grundwassermessstellen ist der Anteil mit 91 % fast genauso hoch (Abbildung 4.36). Die Einzelstoffe Bentazon und Dichlorprop führten bei zwei beziehungsweise drei Wasserwerken zu Maluspunkten > 0, die Stoffe Simazin,

Mecoprop und Fluroxypyr bei jeweils einem Wasserwerk.

16 Grundwassermessstellen wurde mindestens ein Maluspunkt zugewiesen, davon zwölf gemäß der weniger aussagesicheren Maximalwertmethode. Bei den Grundwassermessstellen führten Dichlorprop und Mecoprop am häufigsten zu Einstufungen > 0 Maluspunkte.

Die regionale Verteilung hinsichtlich der Maluspunktbewertung für Pflanzenschutzmittel ist beispielhaft in Abbildung 4.37 dargestellt. Für alle Wasserwerke der Wasserversorgungsunternehmen 43 und 66 wurden keine Maluspunkte vergeben, in den meisten Fällen nach Anwendung der Perzentilmethode.

Für Pflanzenschutzmittel wurde keine Trendanalyse durchgeführt.

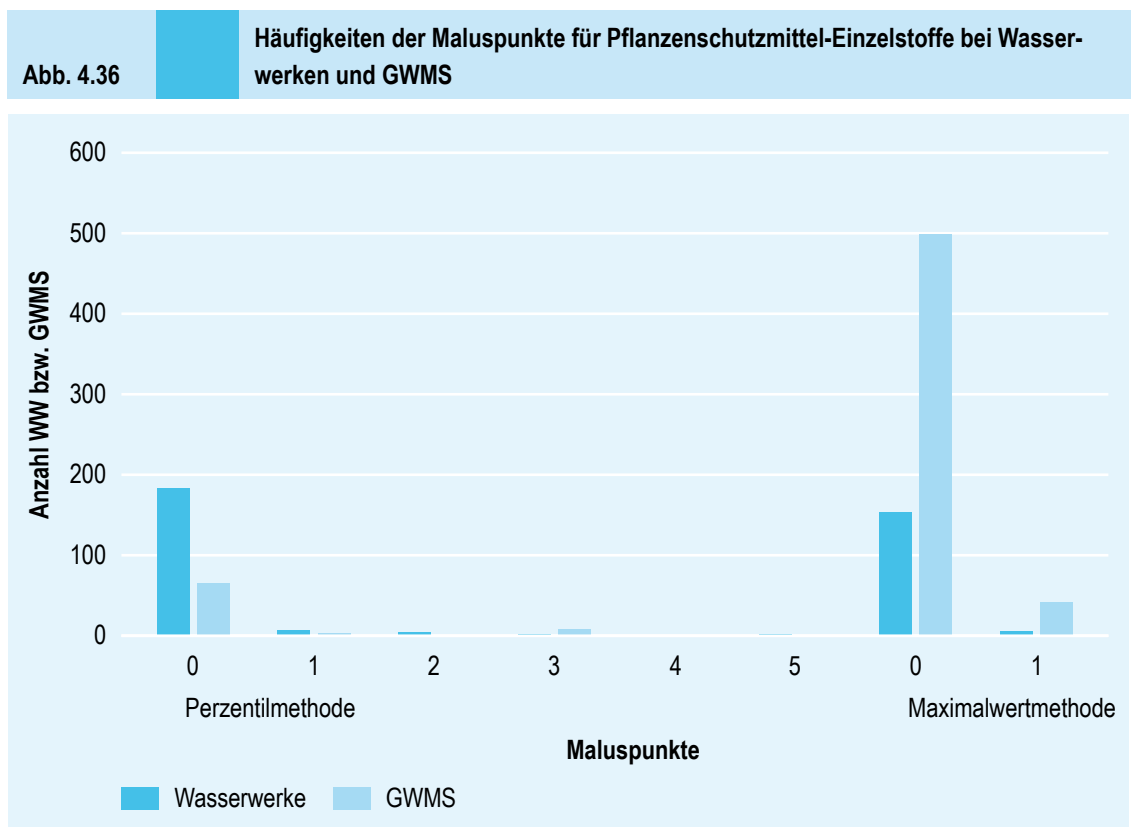
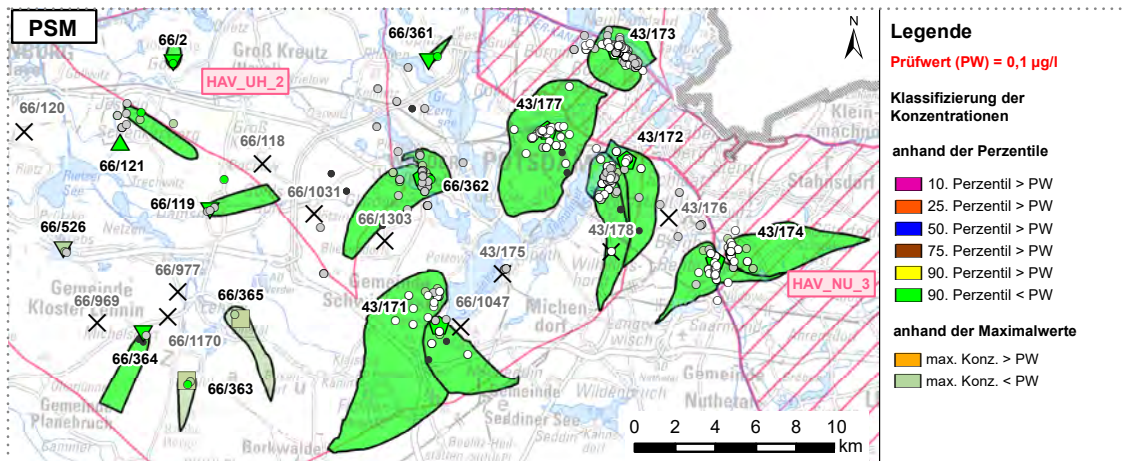


Abb. 4.37

Ausschnitt der Parameterkarte Pflanzenschutzmittel (mit freundlicher Genehmigung der Wasserversorgungsunternehmen 43 und 66)



#### 4.6 Gesamtbewertung der Rohwasserbeschaffenheit der Wasserwerke anhand von sieben Leitparametern und Ableitung von anthropogenen Einflussgraden

Betrachtungszeitraum: 20 Jahre (2000 – 2019)

##### 4.6.1 Methodik der Gesamtbewertung

Auf Basis der Ergebnisse aus der Perzentil- und Maximalwertmethode hinsichtlich der sieben Leitparameter Ammonium, Nitrat, Chlorid, Sulfat, Kalium, ortho-Phosphat und Bor (Abschnitt 4.5) wurde eine Gesamtbewertung für die Wasserwerke in Bezug auf die Summen der Maluspunkte vorgenommen. Dabei werden die Maluspunkte der Leitparameter ungewichtet addiert. Wurde die Perzentilmethode angewendet, beträgt die maximale Gesamtpunktzahl 35 (5 Maluspunkte × 7 Leitparameter, Beispiel Tabelle 4.8: WW A und B). Bei der Maximalwertmethode beträgt im schlechtesten Fall die Gesamtpunktzahl 7 (Beispiel Tabelle 4.8: WW C). Eine Gesamtbewertung erfolgt nicht, wenn nur Analysen zu maximal drei der sieben Leitparameter vorlagen, was im Teilprojekt 11 für 23 Wasserwerke zutraf.

Die Wasserwerke und Grundwassermessstellen wurden in vier anthropogene Einflussgrade kategorisiert und diese mit Hilfe von sechs Klassen visualisiert. Die Klassen 2 und 5 sind Stichprobenumfängen geschuldet, die maximal fünf Einzelanalysen aufweisen, sodass die Maluspunktbewertung mit der Maximalwertmethode durchgeführt wurde. Die anthropogenen Einflussgrade sind verbal umschrieben mit:

- „kein beziehungsweise geringer Einfluss“ (Klasse 1 beziehungsweise Klasse 2)
- „Einfluss anzunehmen“ (Klasse 3)
- „Einfluss erkennbar“ (Klasse 4 beziehungsweise Klasse 5)
- „Einfluss deutlich erkennbar“ (Klasse 6)

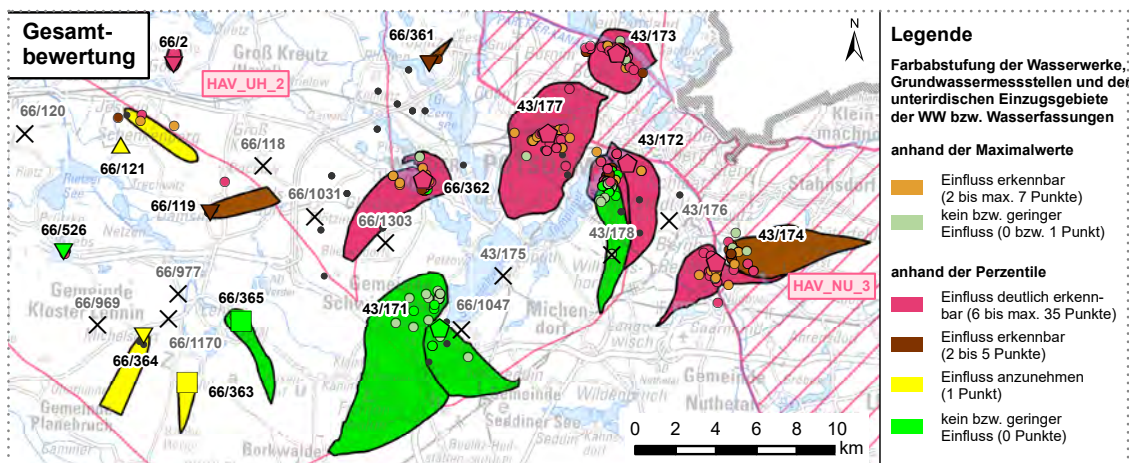
Die Farbgebung der Klassen und die jeweiligen Bereiche für die Gesamtpunktzahl sind in Tabelle 4.9 dokumentiert. Ein Ausschnitt der Übersichtskarte mit den Ergebnissen der Gesamtbewertung für die Rohwasserbeschaffenheit in Brandenburg wird in Abbildung 4.38 gezeigt.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die vorgestellte Gesamtbewertung eine der möglichen und denkbaren Methoden zur Be-

Tab. 4.9		Gesamtbewertung der Wasserwerke anhand von vier anthropogenen Einflussgraden	
Klasse	Beschreibung anthropogener Einflussgrad	Gesamtpunktzahl	Farbgebung in Karten
1	kein beziehungsweise geringer Einfluss (Perzentile, > 5 Analysen je WW)	0	grün
2	kein beziehungsweise geringer Einfluss (Maxima, ≤ 5 Analysen je WW)	0 oder 1	hellgrün
3	Einfluss anzunehmen (Perzentile, > 5 Analysen je WW)	1	gelb
4	Einfluss erkennbar (Perzentile, > 5 Analysen je WW)	2 bis 5	braun
5	Einfluss erkennbar (Maxima, ≤ 5 Analysen je WW)	2 bis max. 7*	hellbraun
6	Einfluss deutlich erkennbar (Perzentile, > 5 Analysen je WW)	6 bis max. 35	magenta

\* Wenn drei Parameter mit der Perzentilmethode und vier Parameter mit der Maximalwertmethode bewertet wurden, erfolgte die weitere Bewertung mit der Maximalwertmethode. Dadurch kann hier die maximale Punktzahl im ungünstigsten Fall  $3 \cdot 5 + 4 \cdot 1 = 19$  betragen

Abb. 4.38 Ausschnitt der Karte der Gesamtbewertung (mit freundlicher Genehmigung der Wasserversorgungsunternehmen 43 und 66)



wertung der Rohwasserbeeinflussung für die Wasserwerksstandorte darstellt. Kenntnisse der Autoren zu einigen Wasserwerkstandorten Brandenburgs legen nahe, dass die damit erhaltenen Bewertungsergebnisse belastbar erscheinen und einen guten Überblick zur Gesamtsituation widerspiegeln. Es ist davon auszugehen, dass weitergehende Auswertungen von Informationen zu einzelnen Wasserwerksstandorten

eine präzisere Beschreibung und Beurteilung der Rohwasserbeeinflussung erlauben, als aus der hier beschriebenen Methode abgeleitet werden kann.

#### 4.6.2 Ergebnisse der Gesamtbewertung

Die Abbildung 4.39 zeigt die Anzahl und den Anteil der Wasserwerke in den einzelnen Klassen, während durch die Abbildung 4.40

die Situation für die Grundwassermessstellen widergespiegelt wird. Im Folgenden werden die Ergebnisse zu den Klassen näher beschrieben.

### **Ergebnisse der Bewertung nach der Perzentilmethode (Klassen 1, 3, 4 und 6)**

**Klasse 1:** Bei einer Gesamtpunktzahl von „0“ deuten die der Bewertung zugrunde liegenden sieben Leitparameter Ammonium, Nitrat, Chlorid, Sulfat, Kalium, Phosphat und Bor auf eine unbeeinflusste Rohwasser- beziehungsweise Grundwasserbeschaffenheit hin. In dieser Klasse befinden sich 121 Wasserwerke (24 %) und 86 Grundwassermessstellen (7 %).

**Klasse 3:** Überschreitet das 90. Perzentil nur eines Parameters den entsprechenden Prüfwert, ist eine Beeinflussung anzunehmen. Ob diese relevant ist, kann im Einzelfall mit Hilfe der zugehörigen Datenreihen geprüft werden. Da die Daten auf Plausibilität geprüft sind, wird es sich in der Regel nicht um den Einfluss von Ausreißern handeln. In diese Klasse fallen 48 Wasserwerke (10 %) und 19 Grundwassermessstellen (1 %).

**Klasse 4:** Wenn die Gesamtpunktzahl 2 bis 5 Punkte beträgt, ist der Einfluss bereits als relevant anzusehen. Das trifft auf 131 Wasserwerke (26 %) und 144 Grundwassermessstellen (11 %) zu. Bei zwei Maluspunkten können entweder die 90. Perzentile von zwei Leitparametern über den jeweiligen Prüfwert liegen oder das 75. Perzentil eines Parameters überschreitet den Prüfwert. Fünf Maluspunkte weisen auf eine eindeutige Beeinflussung hin, wenn bereits das 10. oder 25. Perzentil eines Parameters den Prüfwert überschreitet, wie es in folgender Weise aufgetreten ist:

- 10. Perzentil über dem Prüfwert: zwei Wasserwerke hinsichtlich Sulfat, fünf Wasserwerke hinsichtlich Nitrat und zwölf Wasserwerke hinsichtlich Ammonium
- 25. Perzentil über dem Prüfwert: zwei Wasserwerke hinsichtlich Sulfat, vier Wasserwerke hinsichtlich Nitrat und neun Wasserwerke hinsichtlich Ammonium

**Klasse 6:** Bei einer Gesamtpunktzahl von 6 oder höher ist der Einfluss der Belastung als „deutlich erkennbar“ anzusehen. Für 87 Wasserwerke, also 17 % der Wasserwerke, wurden Gesamtpunktzahlen von 6 bis maximal 18 Punkte ermittelt. Davon weisen 73 Wasserwerke zwischen 6 und 11 Maluspunkte auf, zehn Wasserwerke zwischen 12 und 15 sowie vier Wasserwerke zwischen 16 und 18. Die Wasserwerke A und B aus dem Beispiel in Tabelle 4.8 fallen mit den Summen von 9 beziehungsweise 8 Maluspunkten in diese Klasse. Für 373 Grundwassermessstellen (29 %) wurden Gesamtpunktzahlen von 6 bis maximal 25 Punkte ermittelt.

In der Gesamtbewertung ist der Anteil der Grundwassermessstellen in der Klasse 6 deutlich größer als jener für die Wasserwerke in dieser Klasse. Dies liegt daran, dass viele Grundwassermessstellen zur Überwachung von Belastungen betrieben werden und dementsprechend höhere Maluspunktzahlen aufweisen.

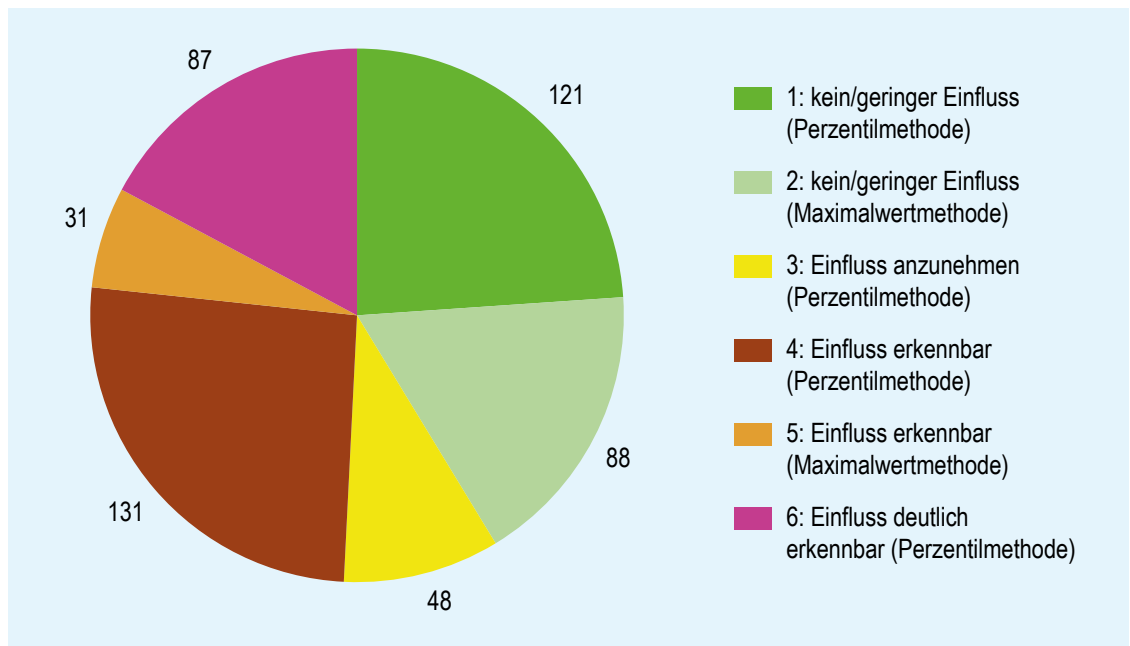
### **Ergebnisse der Bewertung nach der Maximalwertmethode (Klassen 2 und 5)**

**Klasse 2:** Erhält höchstens ein Leitparameter einen Maluspunkt nach der Maximalwertmethode, wird davon ausgegangen, dass keine oder nur eine geringe Beeinflussung vorliegt. Dies betrifft 88 Wasserwerke (17 %) und 317 Grundwassermessstellen (24 %).

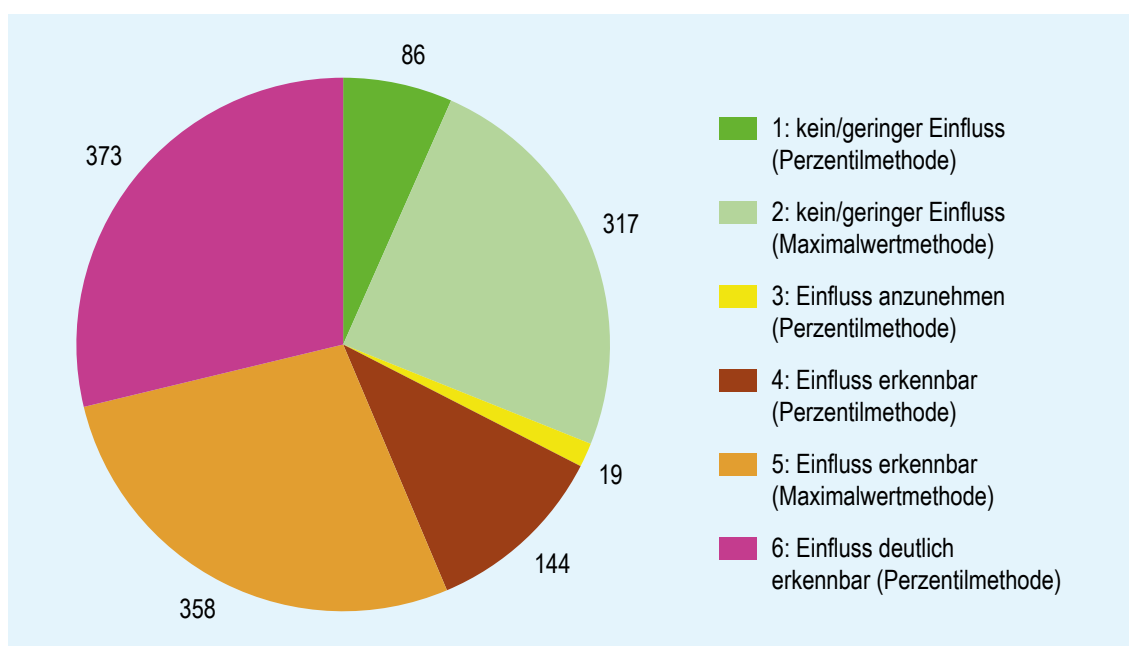
**Klasse 5:** Beträgt die Summe an Maßpunkten zwischen 2 und 7, ist von einer Beeinflussung des Brunnen- und Rohmisch-

wassers auszugehen. Dies ist bei 31 Wasserwerken (6 %) und 358 Grundwassermessstellen (28 %) der Fall.

**Abb. 4.39** Gesamtbewertung der Wasserwerke (Brunnen und Rohmischwasser) für den Zeitraum 2000 – 2019 (Teilprojekt 11)



**Abb. 4.40** Gesamtbewertung der Grundwassermessstellen für den Zeitraum 2000 – 2019 (Teilprojekt 11)



Der Anteil der Grundwassermessstellen in den Klassen 2 und 5 ist deutlich größer als jener der Wasserwerke in diesen Klassen. Viele Grundwassermessstellen werden seltener als die Brunnen und das Rohmischwasser untersucht, sodass sie häufiger nur mit der Maximalwertmethode bewertet werden konnten.

### Karte der Gesamtbewertung

Als Beispiel ist in Abbildung 4.38 ein Ausschnitt aus der Karte der Gesamtbewertung gezeigt. Nur drei Wasserwerke sind im anthropogenen Einflussgrad „kein beziehungsweise geringer Einfluss“ (Klasse 1). Drei Wasserwerke gehören dem anthropogenen Einflussgrad „Einfluss anzunehmen“ (Klasse 3) und zwei Wasserwerke dem anthropogenen Einflussgrad „Einfluss erkennbar“ (Klasse 4) an.

Die im Abschnitt 4.5 diskutierten westlichen Wasserwerke mit den Ident-Nr. 66/2 und 66/362 sind im Beeinflussungstyp „Einfluss deutlich erkennbar“ (Klasse 6), hauptsächlich aufgrund der Maluspunkte für Sulfat sowie weiterer Maluspunkte für Chlorid und Bor. Die östlichen Wasserwerke 43/172, 43/173, 43/174, 43/177 sind aufgrund ihrer geogenen salinaren Beeinflussung (Maluspunkte vor allem für Chlorid, aber auch für Ammonium und Sulfat, teilweise Bor) der Klasse 6 zugeordnet.

## 4.7 Bewertung weiterer Belastungsparameter

*Betrachtungszeitraum: 5 Jahre (2015 – 2019)*

Für die Bewertung weiterer Belastungsparameter (Schadstoffe) wurde eine separate Karte erstellt, die mehrfache Überschreitungen von Belastungsparametern zeigt. In zwei früheren Teilprojekten erfolgte bei der Gesamtbewertung aufgrund des Nachweises dieser Stoffe eine Hochstufung des betreffenden Wasserwerks in die Klasse 6<sup>9</sup>.

## Methodik

Zur Bewertung und kartografischen Darstellung wurden die ausgewählten 36 Parameter zunächst sechs Stoffgruppen zugeordnet:

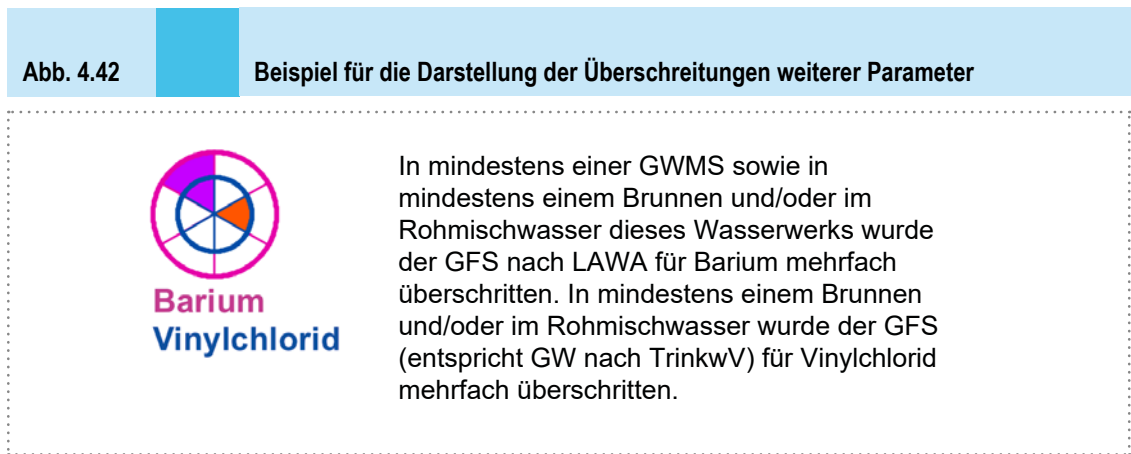
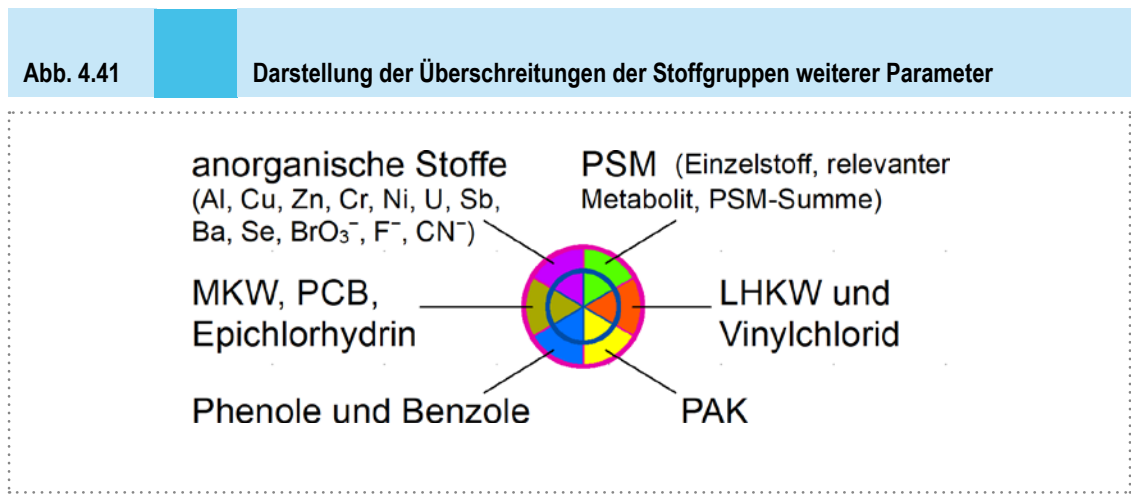
- PSM (Wirkstoffe, relevante Metaboliten, Summe)
- LHKW (Summe sowie die Einzelstoffe 1,2-Dichlorethan, 1,2-Dibromethan, Trichlormethan) und Vinylchlorid
- PAK (Anthracen, Benzo-(a)-Pyren, Dibenz-(a,h)-Anthracen, Fluoranthen, Summe Benzo-(b)-Fluoranthen + Benzo-(k)-Fluoranthen, Summe Benzo-(ghi)-Perylen + Indeno-(1,2,3-cd)-Pyren sowie Summe PAK nach EPA)
- Phenole und Benzole (Phenol beziehungsweise Phenolindex, Nonylphenol, Pentachlorphenol, Summe Chlorphenole, Benzol, Pentachlorbenzol, Hexachlorbenzol, Summe Chlorbenzole)
- Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW), Polychlorierte Biphenyle (PCB), Epichlorhydrin
- anorganische Stoffe (Aluminium, Kupfer, Zink, Chrom, Nickel, Uran, Antimon, Barium, Selen, Bromat, Fluorid, Cyanide gesamt)

Als „mehrfache Überschreitung“ im Sinne dieser Auswertung wurde analog zur Betrachtung im Abschnitt 4.2 die mindestens zweimalige Überschreitung des jeweiligen Vergleichswerts (Grenzwert TrinkwV, GFS LAWA, siehe Abschnitt 4.1) in einer Grundwassermessstelle, einem Brunnen beziehungsweise im Rohmischwasser definiert. Der Auswertungszeitraum war 2015 – 2019.

Getrennt nach Brunnen und Rohmischwasser einerseits beziehungsweise nach Grundwassermessstellen (FUK  $\leq$  50 m u. GOK oder unbedeckter GWL) andererseits wurden Überschreitungen ermittelt und in der Karte

durch Kreisdiagramme für die Wasserwerke dargestellt. Jeder Sektor des Kreisdiagramms steht dabei für die Überschreitung in einer Stoffgruppe. Der äußere, violett umrandete Ring steht für die Grundwassermessstellen, der innere, blau umrandete Kreis für Brunnen und Rohmischwasser (Abbildung 4.41). Ver-

fügt ein Wasserwerk über keine Grundwassermessstellen, entfällt der äußere Ring. In der Karte wird das Kreisdiagramm mit den konkret nachgewiesenen Einzelstoffen beschriftet. Ein Beispiel für diese Darstellung ist in Abbildung 4.42 gezeigt.



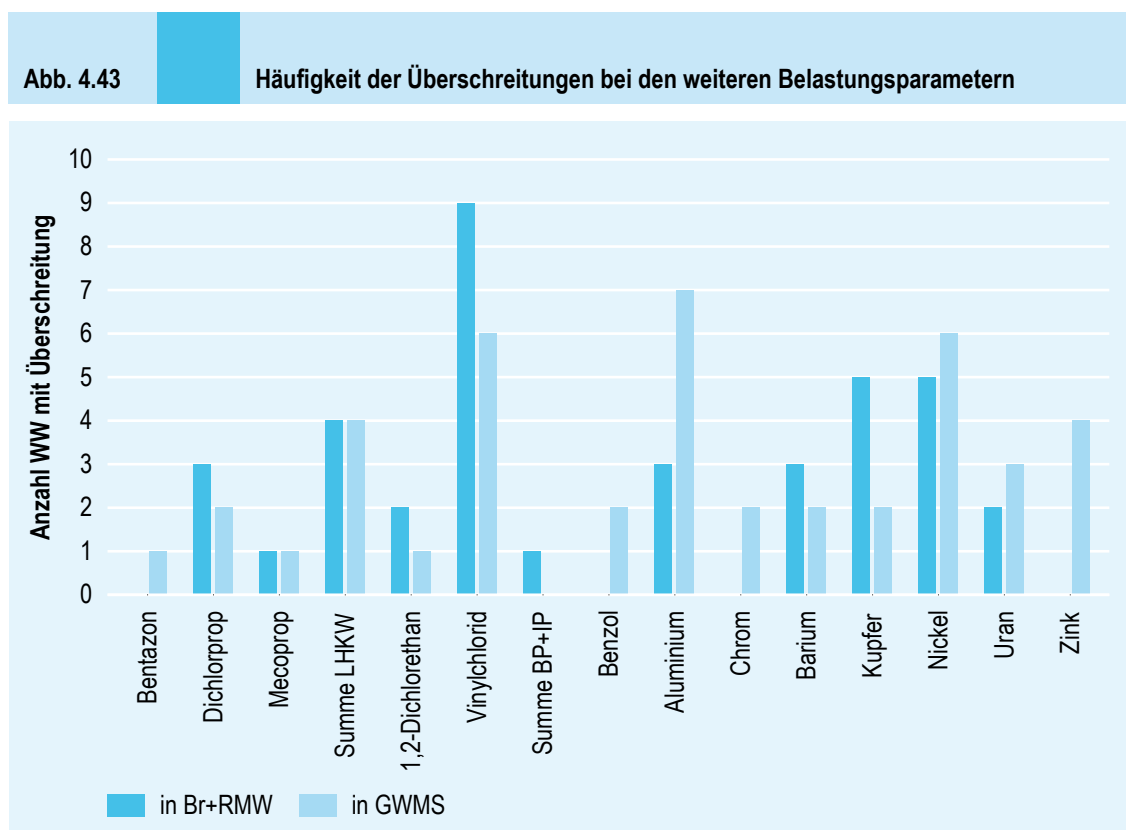
## Ergebnisse

Bei 39 Wasserwerken wurden Überschreitungen nach den oben genannten Kriterien festgestellt. Zwei Wasserwerke weisen Überschreitungen in mehr als zwei Stoffgruppen auf.

Der Schwerpunkt von Überschreitungen liegt auf den Stoffgruppen PSM, LHKW und anorganische Stoffe. In der Stoffgruppe „MKW, PCB, Epichlorhydrin“ wurden keine Überschreitungen beobachtet. Das betrifft ebenfalls die LHKW-Einzelstoffe 1,2-Dibromethan und Trichlormethan sowie bei den anorga-

nischen Stoffen Antimon, Cyanid, Bromat, Fluorid und Selen. Abbildung 4.43 zeigt die Häufigkeiten der Überschreitungen für die Einzelparameter.

Die betroffenen Wasserwerke konzentrieren sich im Umland von Berlin, zum Beispiel im Havelland (westlich von Berlin). Ein Teil der PSM-Überschreitungen ist auf ein Wasserwerk zurückzuführen, in dessen Nähe sich ein ehemaliges Agrochemisches Zentrum befindet. Die Überschreitungen von Aluminium treten vor allem im bergbaubeeinflussten Südteil Brandenburgs auf.



Summe BP+IP = Summe Benzo-(ghi)-Perylen + Indeno-(1,2,3-cd)-Pyren



## 4.8 Geogen salinare Belastung von Wasserwerken

### 4.8.1 Methodischer Ansatz

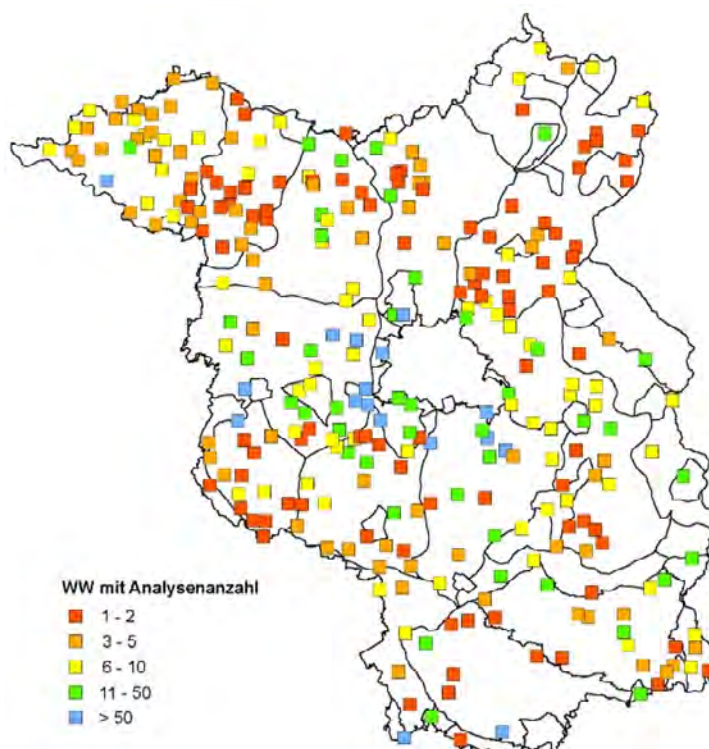
Im Rahmen der fortlaufenden Bewertung der Rohwasserbeschaffenheit für die Wasserwerke im Land Brandenburg wurde erstmals 2013<sup>11</sup> eine umfangreiche genetische Auswertung der Hauptinhaltsstoffe von Grundwasserproben (Grundwassermessstellen und Brunnen) mit der Software GEBAH<sup>12</sup> hinsichtlich der geogen salinaren Beeinflussung durchgeführt. Im Teilprojekt 8A<sup>4</sup> wurden intensiv die Versalzungen in den Brunnen von Wasserwerken im Dialog zwischen der Firma HYDOR und dem damaligen Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) diskutiert. Datenbasis waren alle vorhandenen Analysen insbesondere aus dem

Zeitraum 2011 und 2012. Insgesamt wurden 5.592 Grundwasseranalysen von 1.877 Brunnen beziehungsweise Grundwassermessstellen aus 290 Wasserwerken einbezogen. Eine Übersicht zur regionalen Verteilung der Analysen pro Wasserwerk ist in Abbildung 4.44 dargestellt. Die Karte zeigt die inhomogene Verteilung der verwendbaren Analysen für die genetische Auswertung mit dieser Software.

In die Betrachtungen flossen nur jene Analysen ein, die von der Software GEBAH als vollständige und plausible Analysen hinsichtlich der Hauptionen und der Ionenbilanz für die Auswertung akzeptiert wurden. Es werden Wasseranalysen detektiert, die durch die „Anwesenheit salinärer Wässer vom Halit-Typ in der Lösung“ und/oder durch ein „Intrusionspotenzial salinärer Wässer vom Halit-Typ“ charakterisiert sind und somit eine salinare

Abb. 4.44

Regionale Verteilung der 290 Wasserwerke mit der Anzahl von zur Auswertung mit GEBAH nutzbaren Analysen (Stand 2015)



Beeinflussung der Grundwässer an den Brunnen oder Grundwassermessstellen nachweisen<sup>11</sup>. Im Rahmen des Teilprojektes 8A wurde eine Klassifizierung (Tabelle 4.10) entwickelt, die Aussagen zur Anwesenheit von Salzwasser, zum Intrusionspotenzial und letztendlich eine Zuordnung zur salinaren Beeinflussung des jeweiligen Wasserwerkes erlaubt. Mit Hilfe des Genetischen Grundverhältnisses (GGV) wurde im Ergebnis der Auswertung diese Klassifizierung entwickelt, um die Daten von über 5.500 Analysen effizienter nutzen zu können.

Analysen, bei denen die „Anwesenheit salinärer Wässer“ ermittelt wurde, weisen ein mittleres bis sehr hohes Intrusionspotenzial auf. Sie werden der Klasse „geogen salinar beeinflusst“ zugeordnet. Wenn keine „Anwesenheit salinärer Wässer“ vorliegt, fehlt grundsätzlich das Intrusionspotenzial und die Analyse gilt als salinar unbeeinflusst. Analysen, die nicht eindeutig zuzuordnen oder widersprüchlich sind, werden als solche deklariert.

Zusätzlich erfolgte für die Fälle, in denen ein geringes oder sehr geringes Intrusionspotenzial ermittelt wurde, die Einbeziehung des GGV. Bei einem GGV von 0,05 bis 0,1 kann das geringe bis mittlere Intrusionspotential Hinweise auf migrierende bis diffus migrierende Salzwässer geben, obwohl in GEBAH keine Anwesenheit salinärer Wässer ermittelt wird. Liegt das GGV in diesen Fällen jedoch über 0,1, weist es auf eine anthropogene und nicht auf eine geogen salinare Beeinflussung hin.

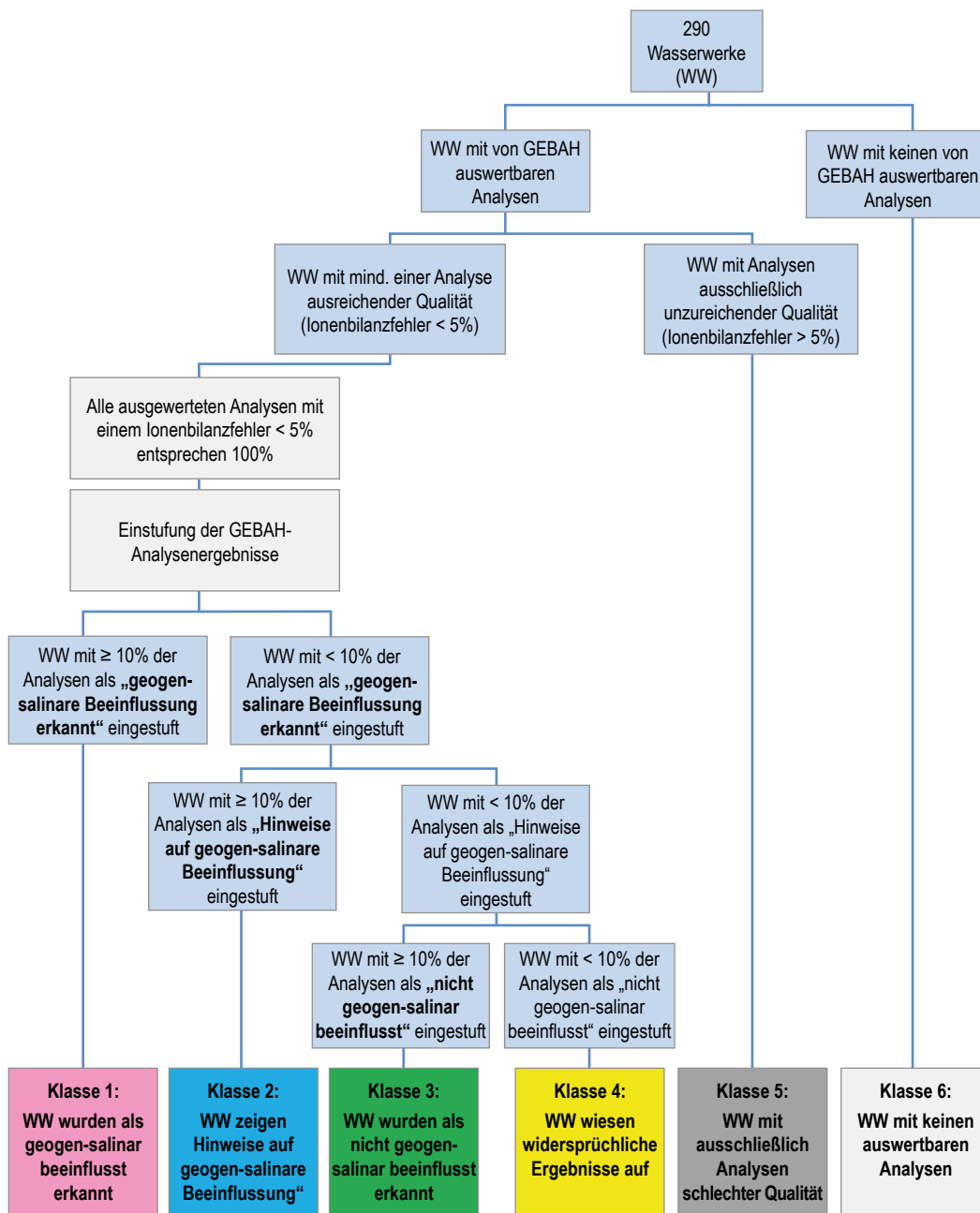
Analysen, die in den Ausgabefeldern den Kommentar „keine Berechnung möglich“ aufweisen, erfüllen die von GEBAH gestellten Anforderungen nicht, um die „Orientierungen im Salinar“ zu ermitteln. Ihnen fehlt zumindest einer der Hauptparameter.

Im Ergebnis dieser Auswertung wurde eine Einteilung in sechs GGV-Klassen für die Wasserwerke vorgenommen (siehe auch Abbildung 4.45 mit der Vorgehensweise als Fließdiagramm):

Tab. 4.10 Analysenbezogene Klassifizierung der GEBAH-Ergebnisse (aus <sup>4</sup> )			
Mehrstufige Klassifizierung	Anwesenheit salinärer Wässer vom Halit-Typ in der Lösung	Intrusionspotenzial salinärer Wässer vom Halit-Typ	GGV
geogen salinar beeinflusst	ja	mittel, hoch, sehr hoch	nicht berücksichtigt
Hinweise auf geogen salinare Beeinflussung	wahrscheinlich, möglich	gering, sehr gering	nicht berücksichtigt
	nicht berücksichtigt	gering, sehr gering	0,05 – 0,1
nicht geogen salinar beeinflusst	nicht berücksichtigt	gering, sehr gering	> 0,1
	nein; unwahrscheinlich	ohne	nicht berücksichtigt
bisher keine Bewertung möglich, weitere Untersuchungen notwendig	keine Berechnung möglich	keine Berechnung möglich	nicht berücksichtigt
Widerspruch in Anwesenheit salinärer Wässer und Intrusionspotential	alle anderen Fälle		nicht berücksichtigt

Abb. 4.45

Fließdiagramm der sechs Klassen zur Ausweisung der salinaren Beeinflussung von Wasserwerken



- Klasse 1: alle Wasserwerke, bei denen über 10 % der ausgewerteten Analysen als „geogen salinar beeinflusst“ eingestuft wurden
- Klasse 2: alle Wasserwerke, bei denen über 10 % der ausgewerteten Analysen als „Hinweise auf geogen salinare Beeinflussung“ eingestuft wurden und die nicht in Klasse 1 fallen
- Klasse 3: alle Wasserwerke, bei denen über 10 % der ausgewerteten Analysen als „nicht geogen beeinflusst“ eingestuft wurden und die nicht in Klassen 1 oder 2 fallen
- Klasse 4: alle verbleibenden, keiner Klasse zuzuordnenden Wasserwerke
- Klasse 5: alle Wasserwerke, für die Ergebnisse aus GEBAH nur aus Analysen mit einem Ionenbilanzfehler > 5 % ermittelt wurden und die eine schlechte Qualität haben
- Klasse 6: alle Wasserwerke, für die keine mit GEBAH auswertbare Analyse vorliegt (da die Mindestbelegung der Parameter mit Werten nicht ausreichend ist)

#### **4.8.2 Auswertung zur salinaren Beeinflussung der Wasserwerke**

*Betrachtungszeitraum: 2011 – 2012*

Aufgrund der Fülle und Heterogenität der Ergebnisse wird hier nur eine Zusammenfassung dargestellt, die die landesweite Verteilung und Entwicklung der salinaren Beeinflussung in den Wasserwerken zeigt. Infolge der beginnenden klimatischen Veränderungen ist es auch zukünftig von großer Bedeutung, für eine sichere Bereitstellung von qualitativ hochwertigem Trinkwasser die salinaren Einflüsse in den Wasserwerksfassungen zu überwachen.

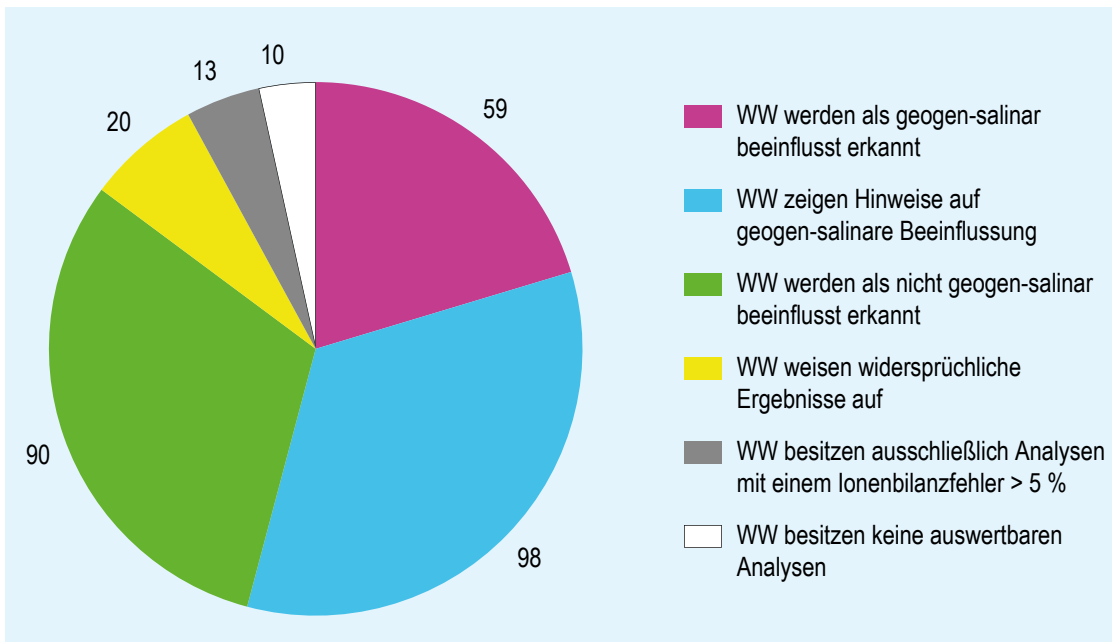
Etwa 54 % der betrachteten Wasserwerke (157) wurden als „geogen salinar beeinflusst“ beziehungsweise mit „Hinweis auf eine geo-

gen salinare Beeinflussung“ eingestuft. Diese zum Zeitpunkt der Auswertung neue Beurteilungsweise der salinaren Gefährdung der Wasserwerke deutet auf ein wesentlich höheres salinares Gefährdungspotenzial als bisher angenommen hin. Mittlerweile konnte eine weitere Spezifizierung entwickelt werden<sup>13</sup>. In den vorherigen Teilprojekten wurden bisher nur 39 Wasserwerke als salinar beeinflusst ausgewiesen. In Abbildung 4.45 ist ein „worst case“-Szenario für die Klasse 1 dargestellt. Darin wurde bei einem Anteil von über 10 % der gesamten Analysen eine geogen salinare Beeinflussung festgestellt. Diese Schwelle wurde bewusst gering angesetzt, um eine beginnende Versalzung rechtzeitig zu erkennen, auch wenn sie durch die Analysen anderer Brunnen oder Messstellen mit Süßwasser maskiert wird. Das führt bei den Wasserwerken mit geringer Analysenzahl zu möglicherweise fehlerhaften Einschätzungen, setzt aber ein Achtungszeichen hinsichtlich genauerer Betrachtungen für spätere Auswertungen. Abbildung 4.46 zeigt die Anzahl der Wasserwerke in den sechs Klassen.

Um den fachlichen Bezug zum geologischen Untergrund herzustellen, wurde eine GIS-Analyse zur Verbreitung des Rupeltons, der in Brandenburg das oberflächennahe Süßwasserstockwerk vom tiefen Salzwas- serstockwerk trennt, vorgenommen. Erwartungsgemäß ist der prozentuale Anteil der Wasserwerke, die eine salinare Beeinflussung oder Hinweise darauf zeigen, deutlich höher in den Gebieten mit bereits im Untergrund nachgewiesenen Salzwasserintrusionen. In Bereichen mit einer intakten Rupelton-Trennschicht ist dagegen der Anteil geogen salinar beeinflusster Wasserwerke deutlich geringer. Anhand des GIS-Verschnitts wurden jedoch auch Widersprüche im GEBAH-Ergebnis und bei den Daten zur Salzwasserbreitung erkannt. Im Südwesten Brandenburgs sind vier Wasserwerke

Abb. 4.46

### Ergebnis der Einteilung in die sechs Klassen zur Beurteilung des salinaren Einflusses (Stand 2015)



durch GEBAH als „salinär beeinflusst“ eingestuft worden. Sie liegen jedoch in einem Gebiet, in dem kein Salzwasser im präquartären Untergrund aus geologischer Sicht anzutreffen ist. In diesem Zusammenhang sind weitere Untersuchungen vorgenommen worden, die auf eine anthropogene Beeinflussung hinweisen, wie zum Beispiel durch Stoffeinträge aus Deponien oder nach massiver Streusalzanwendung.

Zur weiteren Verifizierung der Ergebnisse einer Einstufung in „geogen salinär beeinflusst“ beziehungsweise mit „Hinweis auf eine geogen salinäre Beeinflussung“ wurde der Zusammenhang zwischen dem GGV und der Chloridkonzentration eines Brunnens beziehungsweise einer Grundwassermessstelle geprüft. Dazu wurden nicht nur die Daten für die Jahre 2011 und 2012, sondern für den jeweils gesamten in der Datenbank vorliegenden Zeitraum verwendet. Insgesamt

sind davon etwa 25.000 aufschlussbezogene Analysen betroffen, die von GEBAH in einem Bewertungsschritt erfolgreich berechnet wurden. Die resultierenden Ganglinien sind aufgrund der Länge der Zeitreihe sehr aussagekräftig und spiegeln die Schwankungsbreiten sowie Entwicklungen zwischen den veränderlichen Chloridgehalten und dem GGV wider. Diese Gegenüberstellung beschreibt in einem fachlich gestützten Rahmen die geogen salinäre Entwicklung in Süßwässern des Lockergesteins. Exemplarisch werden nachfolgend zwei Beispiele von Wasserwerken mit salinarem Einfluss aufgezeigt. In Abbildung 4.47 wird die Abhängigkeit zwischen hohen Chloridkonzentrationen und niedrigem GGV verdeutlicht. In Abbildung 4.48 zeigt sich eine langsame Entwicklung aus dem nicht salinaren in den salinaren Einflussbereich, gekennzeichnet durch die langsame Zunahme des Chloridgehalts und die langsame Reduzierung des GGV.

Abb. 4.47

Zeitliche Entwicklung der Abhängigkeit zwischen hoher Chloridkonzentration und niedrigem Genetischen Grundverhältnis (GGV) – in Form von Ganglinien

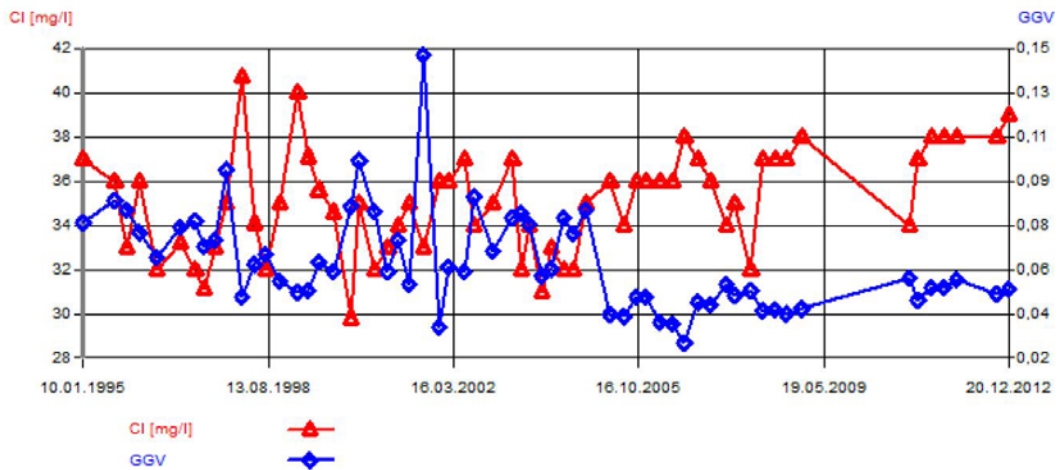
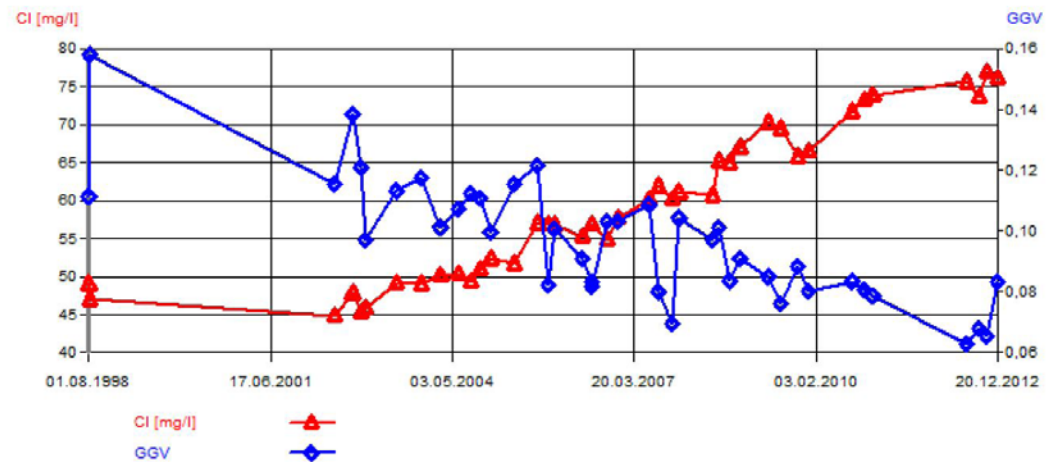


Abb. 4.48

Zeitliche Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit einer Messstelle aus dem nicht salinaren in den salinaren Einflussbereich – in Form von Ganglinien



## 4.9 Pflanzenschutzmittelbelastung von Wasserwerken

Die in Deutschland eingesetzten Pflanzenschutzmittel (PSM) umfassen vor allem Herbizide (Unkrautbekämpfungsmittel), Fungizide (Mittel gegen Pilzbefall) sowie Insektizide/Akarizide (Mittel gegen Insekten beziehungsweise Milben und Zecken). Nach ihrem Einsatz werden die PSM-Wirkstoffe in Boden und Grundwasser abgebaut, wobei Metaboliten (Abbauprodukte) entstehen, die entsprechend ihres toxischen Potenzials und ihrer pestiziden Restaktivität den relevanten bzw. nicht relevanten PSM-Metaboliten zugeordnet werden. Für Wirkstoffe und relevante Metaboliten gilt der Schwellenwert der GrwV und der Grenzwert nach TrinkwV von 0,1 µg/l. Für die nicht relevanten Metaboliten werden vom Umweltbundesamt sogenannte Gesundheit-

liche Orientierungswerte (GOW) festgelegt, die stoffabhängig 1 µg/l oder 3 µg/l betragen.

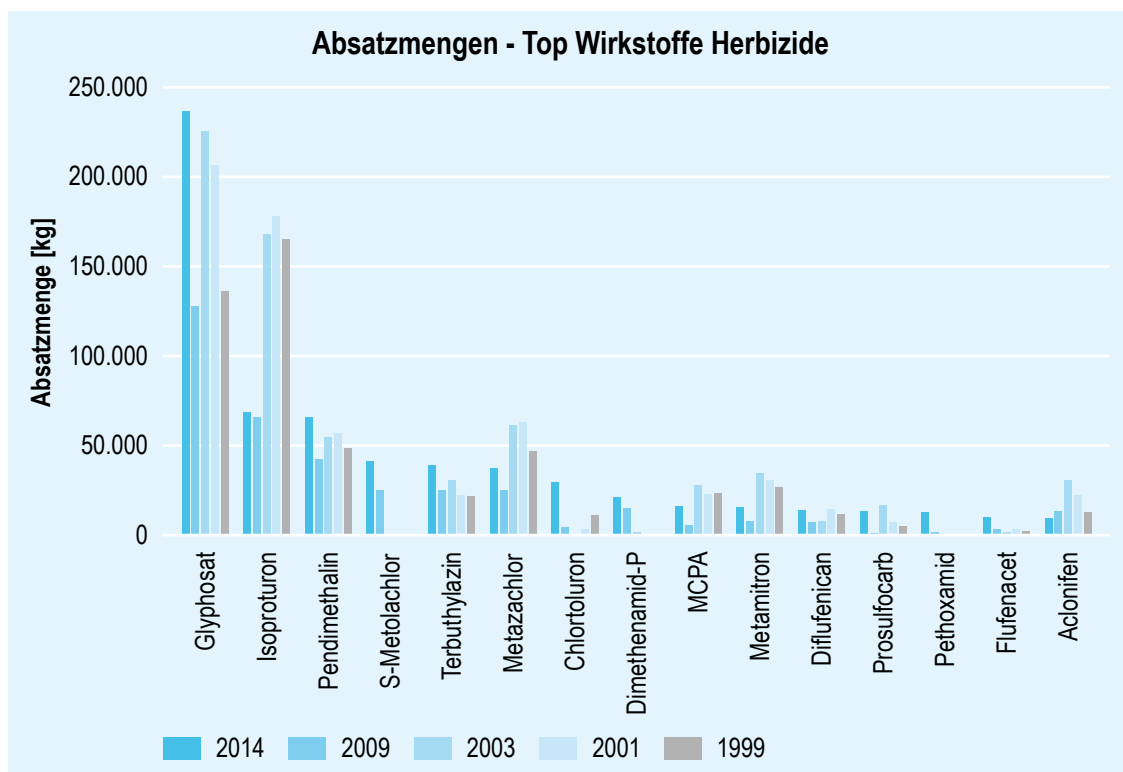
Den höchsten Absatz in Brandenburg (Stand 2014) haben die Wirkstoffe Glyphosat, Isoproturon (seit 2016 nicht mehr zugelassen), Pendimethalin, S-Metolachlor, Terbutylazin und Metazachlor (Abbildung 4.49)<sup>14</sup>.

In Wasserwerken, die hohe Pflanzenschutzmittelkonzentrationen aufwiesen (> 0 Maluspunkte), wurden folgende Wirkstoffe gefunden (Reihenfolge mit absteigender Häufigkeit):

- Dichlorprop (seit 1993 nur noch als Dichlorprop-P zugelassen)
- Bentazon (seit 2019 nicht mehr zugelassen)
- Fluroxypyr
- Mecoprop
- Simazin (seit 1999 nicht mehr zugelassen)

Abb. 4.49

Anteile der 15 meistverkauften Wirkstoffe am Herbizid-Gesamtumsatz in Brandenburg für 2014 und deren Anteile in den Erhebungen 1998/99, 2001, 2003 und 2009 (aus<sup>14</sup>, dort Abb. 13)



In den Proben von 16 Grundwassermessstellen wurden hohe Pflanzenschutzmittelkonzentrationen (> 0 Maluspunkte) für folgende Stoffe bestimmt (Reihenfolge mit absteigender Häufigkeit):

- Dichlorprop
- Mecoprop
- Bentazon
- Desisopropylatrazin (relevanter Metabolit von Atrazin)
- 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure (2,4-D)
- Fenuron (seit 1993 nicht mehr zugelassen)
- MCPA
- Bromoxynil

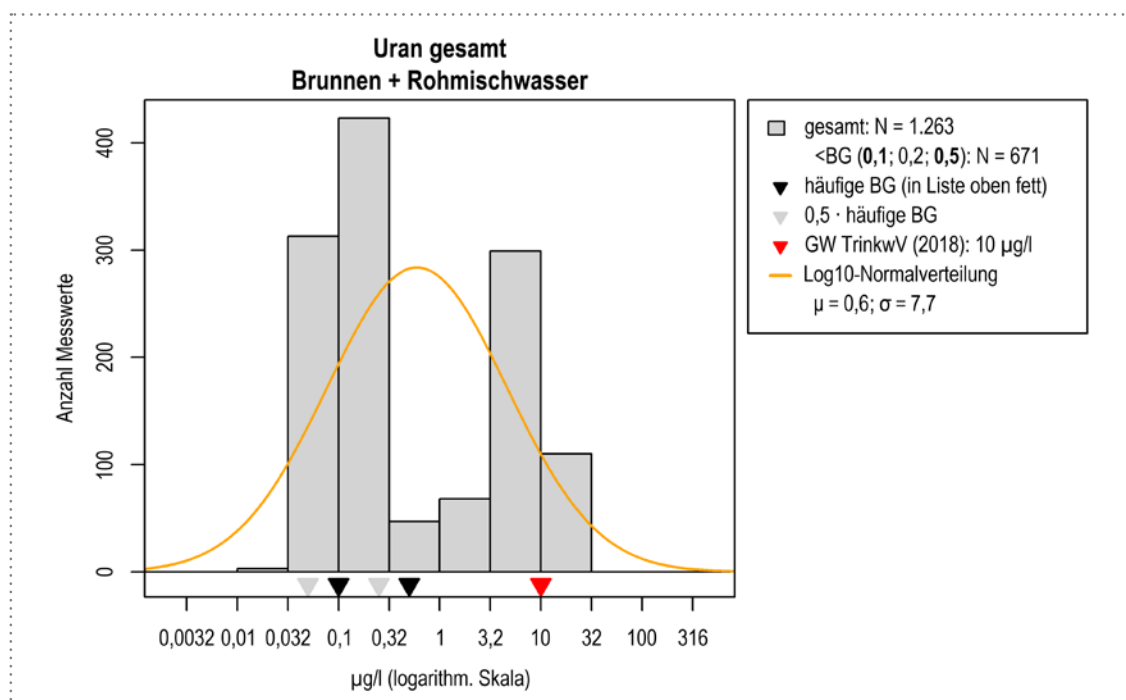
Vereinzelte Nachweise des gut abbaubaren Wirkstoffs Glyphosat wurden bei der Prüfung als unplausibel eingestuft. Die Nachweise von 2,4-D, Bentazon, Fenuron, MCPA und Mecoprop gehen größtenteils auf den Abstrom eines ehemaligen Agrochemischen Zentrums zurück.

#### 4.10 Uranbelastung von Wasserwerken

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. Als Konzentration im Grundwasser wurde für Sande und Kiese des norddeutschen Flachlands in einer Studie aus dem Jahr 2012 ein 90. Perzentil von 1,2 µg/l Uran angegeben<sup>15</sup>. In neueren, teufenorientierten Untersuchungen in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern wurden im Abstrom stickstoffbeeinflusster Flächen (zum Beispiel Landwirtschaft, ehemalige Rieselfelder) in den Übergangszonen vom oxidierenden zum reduzierenden Milieu teilweise sogar Urankonzentrationen von über 10 µg/l bis fast 400 µg/l festgestellt. Die Freisetzung von Uran steht offenbar mit Nitratreinträgen und Veränderungen des hydrochemischen Milieus im Zusammenhang.

Abb. 4.50

Häufigkeitsverteilung der Urankonzentration für Brunnen und Rohmischwasser



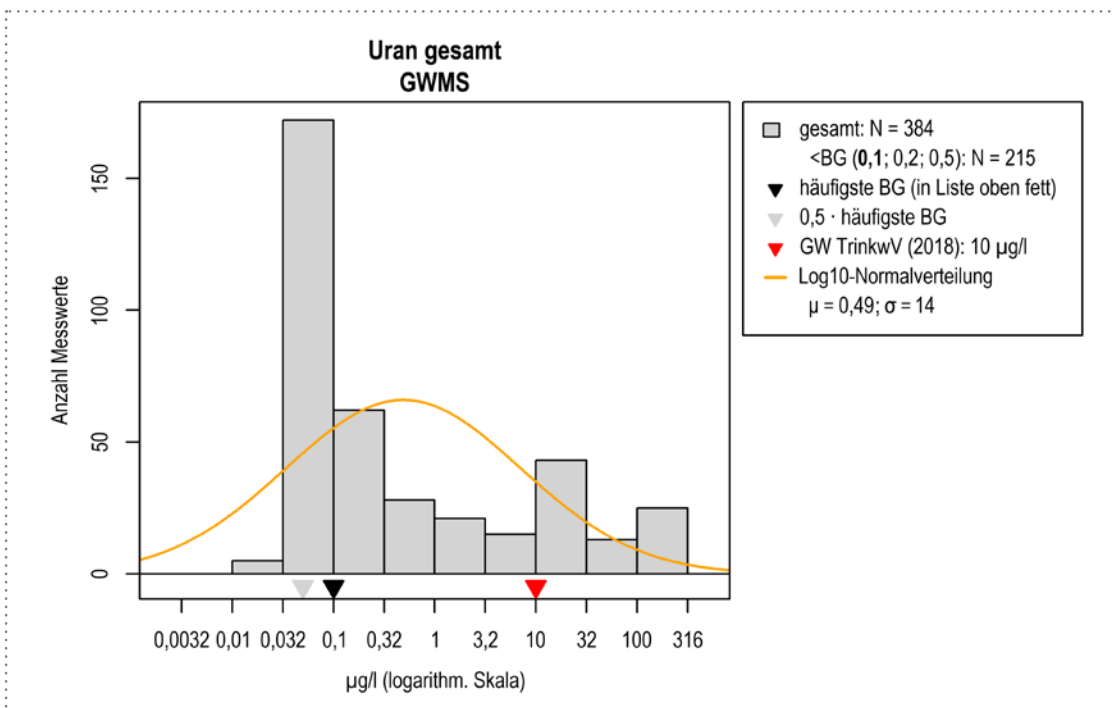


In einem natürlichen System stehen die Grundwassereinträge von Oxidationsmitteln (gelöster Sauerstoff) und Reduktionsmitteln (gelöster organischer Kohlenstoff) im Gleichgewicht. Grundwasserleiter enthalten ein Feststoffdepot mit Nitratabbauvermögen (reduzierende Zone) unter anderem aus Eisensulfiden (Pyrit) und organischen Kohlenstoffverbindungen. Durch den Eintrag von Nitrat wird dem Grundwasserleiter zusätzlich ein starkes Oxidationsmittel bereit gestellt. Es löst im Untergrund chemische Reaktionen aus, die unter Bildung von Sulfat und Stickstoff (gelöstes Gas) zum Nitratabbau führen. Dabei werden die reduzierenden Phasen aufgebraucht. Es entsteht eine oxidierte Zone und Nitrat kann tiefer in den Grundwasserleiter eindringen. Auch geogen vorhandene Uranminerale werden durch das Oxidationsmittel Nitrat entsprechend gelöst, was erhöhte Urankonzentrationen im Grundwasser zur Folge hat.

Die tabellarische Auswertung der Überschreitung von Vergleichswerten (Abschnitt 4.2) und die primärstatistischen Auswertungen (Abschnitt 4.3) zeigen, dass Uran in Einzelfällen einen Belastungsparameter darstellt. Bei der Bewertung weiterer Parameter (Abschnitt 4.7) wurden vier Wasserwerke identifiziert, in deren Brunnen, im Rohmischwasser oder in Grundwassermessstellen Uran mehrfach den Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 10 µg/l überschreitet.

Die Abbildungen 4.50 und 4.51 zeigen die Häufigkeitsverteilungen von Uran. Es lagen deutlich weniger Analysen (1.263 von Brunnen/Rohmischwasser und 384 von Grundwassermessstellen) als bei den Hauptinhaltsstoffen vor. Die Häufigkeitsverteilungen folgen nicht der idealtypischen Lognormal-Verteilung. Ungefähr 53 % der Messwerte von Brunnen und Rohmischwasser und 56 % der Messwerte von Grundwassermessstellen liegen unter der analytischen Bestimmungs-

**Abb. 4.51** Häufigkeitsverteilung der Urankonzentration für Grundwassermessstellen



grenze. Die häufigen Bestimmungsgrenzen 0,1 µg/l und 0,5 µg/l mit ihren Ersatzwerten 0,05 µg/l und 0,25 µg/l verursachen hohe Balken in den Histogrammen. Durch Einbeziehung der Ersatzwerte ist nicht zwingend gewährleistet, dass die natürliche Häufigkeitsverteilung wiedergegeben wird. In den Analysen von Brunnen und Rohmischwasser ist eine weitere Häufung von Messwerten um 10 µg/l zu erkennen. Diese Konzentration entspricht dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung. Bei den Grundwassermessstellen wurden sogar noch höhere Werte nachgewiesen. Diese Häufungen sind aber nicht für das gesamte Land Brandenburg repräsentativ, sondern von wenigen Wasserwerken geprägt, bei denen Uran ein Belastungsparameter darstellt, der entsprechend häufig untersucht wird.

Bei den hinsichtlich Uran auffälligen Wasserwerken lässt sich der oben beschriebene Prozess der Uranfreisetzung nachvollziehen. In ihren Einzugsgebieten befinden sich landwirtschaftlich genutzte Flächen und teilweise auch ehemalige Rieselfelder. Die Brunnen dieser Wasserwerke zeigen hohe Maluspunktzahlen für Sulfat und oft auch Nitrat. Die zugehörigen Grundwassermessstellen sind ebenfalls oft sulfat- und nitratbeeinflusst.

Die Urankonzentrationen könnten in Zukunft bei weiteren nitratbelasteten Wasserwerken ansteigen, wenn sich dort die oben genannten geochemischen Prozesse etablieren.

# Vergleich der Ergebnisse 2018/2019 mit vorherigen Auswertungen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des aktuellen Teilprojekts 11 (Auswertungszeitraum 2000 – 2019) mit den Ergebnissen des Teilprojekts 6 (Auswertungszeitraum 1990 – 2008)<sup>9</sup> verglichen.

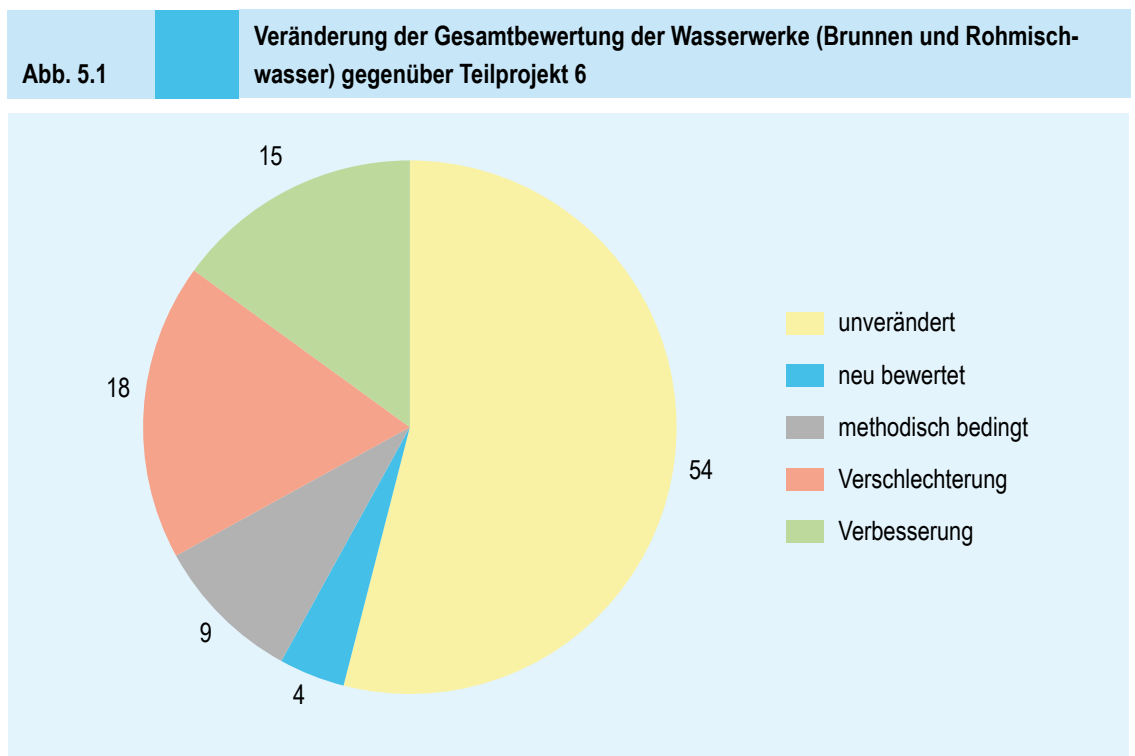
Die Definition der anthropogenen Einflussgrade und Klassen anhand der Maluspunktschritte ist in Tabelle 4.9 dargestellt. Die Abbildung 4.39 zeigt die Anzahl der Wasserwerke in den einzelnen Klassen und anthropogenen Einflussgraden für das Teilprojekt 11. Die entsprechenden Daten für Teilprojekt 6 sind in Tabelle 7 der Broschüre von 2010<sup>9</sup> aufgeführt.

Für 504 Wasserwerke liegen Gesamtbewertungen auf Grundlage der Perzentil- und Maximalwertmethode zu Brunnen- und Rohmischwasseranalyse aus dem Teilprojekt 11 vor. Gegenüber dem Teilprojekt 6 treten folgende Veränderungen bezüglich der prozentualen Anteile auf (Abbildung 5.1):

Bei 270 Wasserwerken, was 54 % aller Wasserwerke betrifft, hat sich die Klasse der Gesamtbewertung und damit der anthropogene Einflussgrad **nicht geändert**.

Für 45 Wasserwerke (entspricht 9 % aller Wasserwerke) ist die Änderung der Klasse nur **methodisch bedingt**, das heißt durch einen Wechsel zwischen Perzentil- und Maximalwertmethode hervorgerufen. Das betrifft einen Wechsel zwischen den Klassen 1 und 2 beziehungsweise 4 und 5. Der anthropogene Einflussgrad dieser Wasserwerke hat sich somit nicht geändert.

Die Mehrheit der Wasserwerke ohne Änderungen (152) betrifft den anthropogenen Einflussgrad 1 „kein beziehungsweise geringer Einfluss“ (Tabelle 5.1). Allerdings gehören auch 68 Wasserwerke weiterhin zum anthropogenen Einflussgrad 4 „Einfluss deutlich erkennbar“.



78 Wasserwerke (15 % aller Wasserwerke) haben sich in ihrer Gesamtbewertung (anthropogener Einflussgrad) **verbessert**. Teilweise liegt es daran, dass im Teilprojekt 6 Wasserwerke unabhängig von der Gesamtsumme der Maluspunkte in die Klasse 6 hochgestuft wurden, wenn weitere Belastungsparameter mit hohen Konzentrationen nachgewiesen wurden (siehe Abschnitt 4.7).

89 Wasserwerke (18 % aller Wasserwerke) haben sich in der Gesamtbewertung hinsichtlich des anthropogenen Einflussgrads **verschlechtert**. Dies betrifft 50 Wasserwerke,

die im Teilprojekt 6 dem anthropogenen Einflussgrad 1 „kein beziehungsweise geringer Einfluss“ zugeordnet wurden, im Teilprojekt 11 aber zu den anthropogenen Einflussgraden 2 „Einfluss anzunehmen“ und 3 „Einfluss erkennbar“ gerechnet werden (Tabelle 5.1). 16 Wasserwerke verschlechtern sich vom anthropogenen Einflussgrad 3 zum anthropogenen Einflussgrad 4 „Einfluss deutlich erkennbar“.

Im Teilprojekt 6 waren 22 Wasserwerke noch nicht enthalten. Sie werden somit im Teilprojekt 11 **neu bewertet**.

Tab. 5.1		Anzahl der Änderungen des anthropogenen Einflussgrads von Wasserwerken gegenüber Teilprojekt 6			
		zu (TP11)			
		1	2	3	4
von (TP6)	1	152	24	26	1
	2	16	10	22	0
	3	24	11	85	16
	4	3	2	22	68

*Farbiger Hintergrund für die Anzahl: hellrot = Verschlechterung, hellgelb = keine Änderung, hellgrün = Verbesserung*

- 1 GCI (2021): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit 2013 – 2018 des Landes Brandenburg. Königs Wusterhausen, 22.07.2022.
- 2 GCI (2015): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit 2006 – 2012 des Landes Brandenburg. Königs Wusterhausen, 18.03.2015.
- 3 FUGRO (2011): Erfassung belastungsrelevanter Parameter in Rohwasserproben von Wasserwerken im Land Brandenburg – Teilprojekt 7A: Daten 2009/2010. Berlin, 14.11.2011, unveröffentlicht.
- 4 HYDOR (2014): Erfassung belastungsrelevanter Parameter in Rohwasserproben von Wasserwerken im Land Brandenburg – Teilprojekt 8A: Recherche, Auswertung und Darstellung der Daten, Zeitraum 2011 und 2012. Berlin, 26.09.2014, unveröffentlicht.
- 5 FUGRO (2018): Erfassung belastungsrelevanter Parameter in Rohwasserproben von Wasserwerken im Land Brandenburg – Teilprojekt 9B – Recherche, Auswertung und Darstellung der Daten für den Zeitraum 2013 – 2015. Berlin, 04.09.2018, unveröffentlicht.
- 6 GCI (2019): Erfassung belastungsrelevanter Parameter in Rohwasserproben von Wasserwerken im Land Brandenburg (Teilprojekt 10) – Abschlussbericht. Königs Wusterhausen 02.12.2019, unveröffentlicht.
- 7 GCI (2021): Erfassung belastungsrelevanter Parameter in Rohwasserproben von Wasserwerken im Land Brandenburg (Teilprojekt 11; einschließlich der Daten von 2018/2019) – Abschlussbericht. Königs Wusterhausen, 17.12.2021, unveröffentlicht.
- 8 LfU Brandenburg (2018): Einzugsgebiete und Isochronen ausgewählter Wasserfassungen (Grundwasser). <https://metaver.de/trefferanzeige?docuuid=8EAAB0E8-EE00-48EF-8766-BF7FBFCE5B29>.
- 9 Dinse, S.; Selicko, A. (2010): Belastungsrelevante Parameter in Rohwasserproben von Wasserwerken im Land Brandenburg – Recherche, Auswertung und Darstellung der Daten von Brunnen und Vorfeldmessstellen. Hrsg. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV). Potsdam, September 2010.
- 10 Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK) Brandenburg (2022): Plausibilitätsprüfung von Grundwasseranalysen Online verfügbar unter <https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/fachbeitrag-163.pdf>
- 11 Brose, D.; Hermsdorf, A. (2017): Geogene Versalzung von Grundwasserleitern in Brandenburg. *Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge* **24** (1/2), S. 7 – 16. [https://lbgr.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/BGB-1-2\\_17\\_Brose\\_7-16.pdf](https://lbgr.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/BGB-1-2_17_Brose_7-16.pdf).
- 12 Rechlin, B. (2008): Eine Methode zur konzentrationsunabhängigen Früherkennung von Salzwasserintrusionen in süßwasserführende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer. *Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge* **15** (1/2), S. 57 – 68.

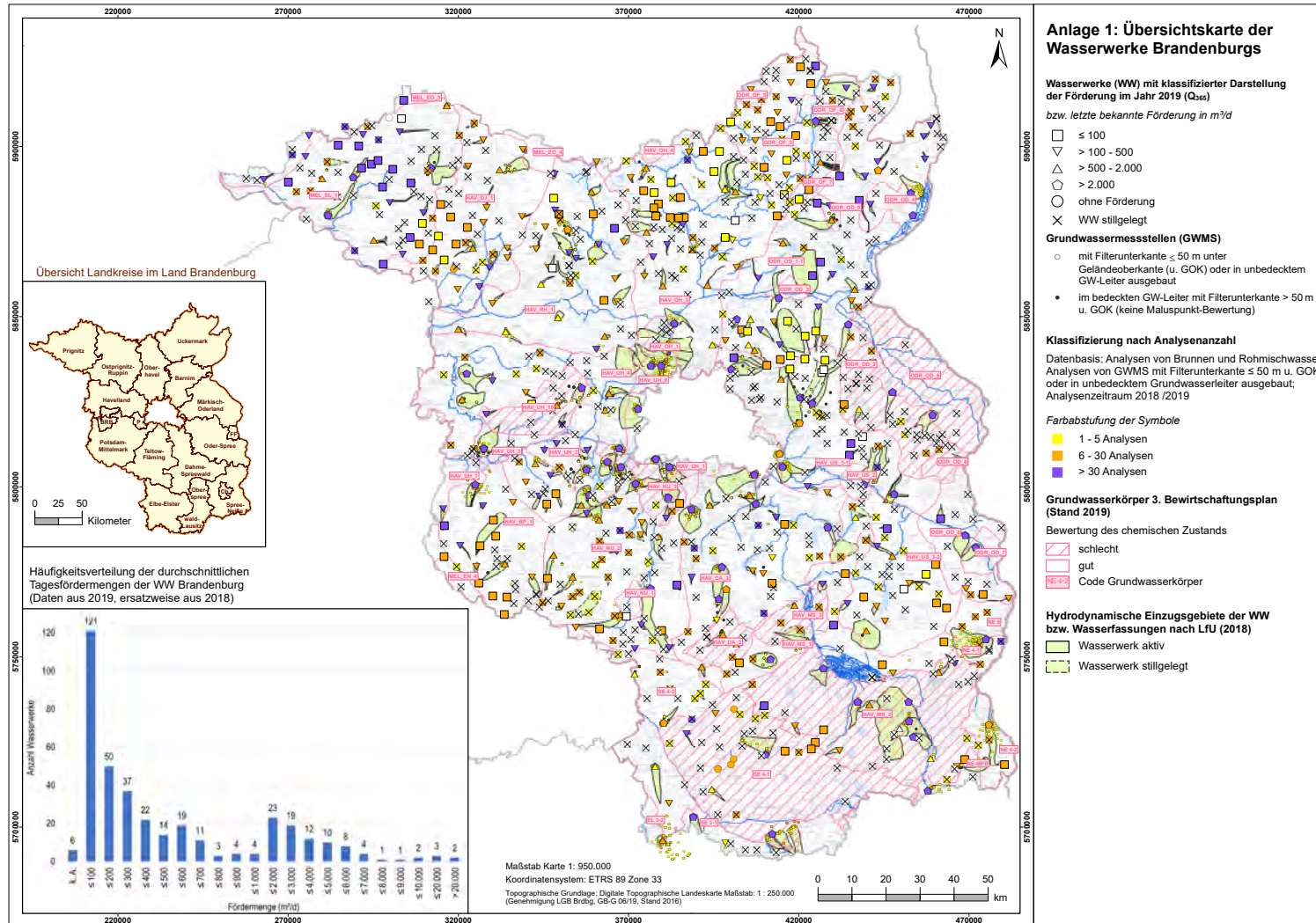
- 13 Brose, D. (2017): GEBAH – Eine Software für die konzentrationsunabhängige Früherkennung von Salzwasserintrusionen in Süßwasser führende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer. *Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge* **24** (1/2), S. 69 – 82. [https://lbgr.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/BGB-1-2\\_17\\_Brose\\_69-82.pdf](https://lbgr.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/BGB-1-2_17_Brose_69-82.pdf).
- 14 Krieger, A.-E.; Neumeister, L. (2015): Pflanzenschutzmittel in der Umwelt. Erhebung von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmengen im Land Brandenburg für das Jahr 2014 und ein Vergleich zu den Recherchen von 1998/99, 2001, 2003 und 2009. *Fachbeiträge des Landesamtes für Umwelt* **151**. Potsdam, 30.11.2015. [https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/lfu\\_fb\\_151.pdf](https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/lfu_fb_151.pdf).
- 15 Umweltbundesamt (2012): Uran in Boden und Wasser. *UBA-Texte* **37**. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/uran-in-boden-wasser>.



# Anlagen

## Anlage 1

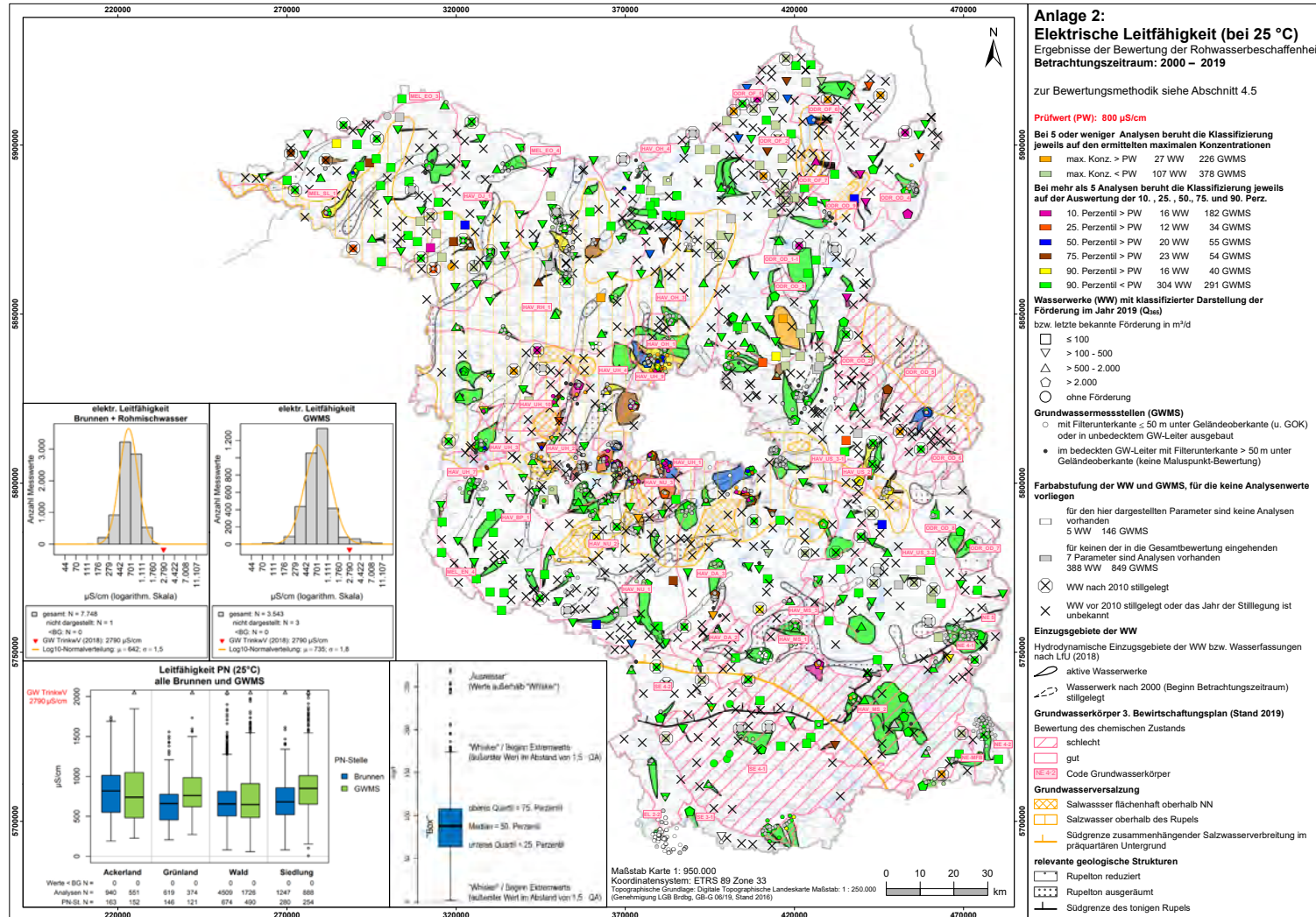
### Karte der Wasserwerke in Brandenburg





# Anlage 2

## Karte der Bewertung des Parameters „Elektrische Leitfähigkeit“



### Anlage 3 Tabellen der statistischen Kennwerte für die Leitparameter

#### Anlage 3.1 Nitrat

Statistische Kennwerte für den Parameter Nitrat im Zeitraum 2015 – 2019														
Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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														
	Brunnen						Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probennahmestellen
	alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL			
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
Anzahl Probennahmestellen gesamt	3257	559	1164	941	1077	1852	3246	1477	708	577	1539	1251	621	7124
Anzahl aktive Probennahmestellen	1856	375	742	629	719	1066	3136	1436	685	554	1505	1192	370	5362
Anzahl untersuchte Probennahmestellen	1402	281	566	467	515	827	1126	543	302	211	554	476	59	2587
Anzahl Probennahmestellen immer <BG	815	126	336	289	288	489	733	342	201	154	353	332	20	1568
Anteil Probennahmestellen immer <BG (%)	58,1	44,8	59,4	61,9	55,9	59,1	65,1	63,0	66,6	73,0	63,7	69,7	33,9	60,6
Anzahl Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG	587	155	230	178	227	338	393	201	101	57	201	144	39	1019
Anteil Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG (%)	41,9	55,2	40,6	38,1	44,1	40,9	34,9	37,0	33,4	27,0	36,3	30,3	66,1	39,4

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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														
	Brunnen						Grundwassermessstellen						Rohschwasser	alle Probennahmestellen
	alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL			
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
Anzahl Messwerte	6323	1391	2368	2195	2248	3736	4165	2031	1175	643	2144	1663	342	10830
Anzahl Messwerte <BG	4983	970	1924	1800	1720	3010	3328	1564	975	559	1683	1401	197	8508
Anteil Messwerte <BG (%)	78,8	69,7	81,3	82,0	76,5	80,6	79,9	77,0	83,0	86,9	78,5	84,2	57,6	78,6
Minimum	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,02	0,02	0,022	0,02	0,02	0,025	0,05	0,005
5. Perzentil														
10. Perzentil														
25. Perzentil														
Median														
Mittelwert														
75. Perzentil														
90. Perzentil														
95. Perzentil														
Maximum	85	85	44	22	85	59	760	760	144	112	144	760	36	760
Standardabweichung														
Bestimmungsgrenzen	0,1; 0,2; 0,221; 0,5; 1	0,1; 0,2; 0,221; 0,5; 1	0,1; 0,2; 0,221; 0,5; 1	0,1; 0,5; 1	0,1; 0,2; 0,221; 0,5; 1	0,1; 0,2; 0,5; 1	0,1; 0,221; 0,5; 1	0,1; 0,221; 0,5; 1	0,1; 0,221; 0,5; 1	0,1; 0,221; 0,5; 1	0,1; 0,221; 0,5; 1	0,1; 0,221; 0,5; 1	0,1; 0,5; 1	0,1; 0,2; 0,221; 0,5; 1

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

## Anlage 3.2 Ammonium

### Statistische Kennwerte für den Parameter Ammonium im Zeitraum 2015 – 2019

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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	0,112 – 0,301								
Statistische Kennwerte														
	alle	Brunnen					Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probennahmestellen
		Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL				
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt	alle	≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
Anzahl Probennahmestellen gesamt	3257	559	1164	941	1077	1852	3246	1477	708	577	1539	1251	621	7124
Anzahl aktive Probennahmestellen	1856	375	742	629	719	1066	3136	1436	685	554	1505	1192	370	5362
Anzahl untersuchte Probennahmestellen	1392	279	560	465	506	826	1129	544	303	218	556	484	61	2582
Anzahl Probennahmestellen immer <BG	108	31	38	29	37	63	116	48	34	19	49	53	7	231
Anteil Probennahmestellen immer <BG (%)	7,8	11,1	6,8	6,2	7,3	7,6	10,3	8,8	11,2	8,7	8,8	11,0	11,5	8,9
Anzahl Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG	1284	248	522	436	469	763	1013	496	269	199	507	431	54	2351
Anteil Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG (%)	92,2	88,9	93,2	93,8	92,7	92,4	89,7	91,2	88,8	91,3	91,2	89,0	88,5	91,1

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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	0,112 – 0,301								
Statistische Kennwerte														
	Brunnen						Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probenahmestellen
	alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL			
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
Anzahl Messwerte	7055	1722	2655	2346	2242	4483	4220	2079	1186	713	2171	1761	389	11664
Anzahl Messwerte <BG	862	187	347	266	296	504	669	310	194	98	318	279	37	1568
Anteil Messwerte <BG (%)	12,2	10,9	13,1	11,3	13,2	11,2	15,9	14,9	16,4	13,7	14,6	15,8	9,5	13,4
Minimum	0,003	0,003	0,015	0,003	0,003	0,013	0,003	0,003	0,003	0,02	0,003	0,015	0,009	0,003
5. Perzentil	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
10. Perzentil	0,04	0,05	0,025	0,04	0,025	0,05	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,05	0,025
25. Perzentil	0,15	0,21	0,13	0,15	0,12	0,16	0,09	0,085	0,10	0,128	0,086	0,11	0,19	0,13
Median	0,38	0,45	0,34	0,39	0,39	0,373	0,32	0,337	0,34	0,36	0,34	0,335	0,33	0,36
Mittelwert	0,564	0,613	0,487	0,645	0,573	0,561	1,93	3,2	0,703	0,681	0,89	3,44	0,415	1,05
75. Perzentil	0,71	0,71	0,623	0,85	0,80	0,67	0,822	0,966	0,70	0,819	0,862	0,85	0,56	0,73
90. Perzentil	1,3	1,31	1,1	1,71	1,3	1,24	1,92	2,45	1,65	1,37	1,8	2,22	0,762	1,43
95. Perzentil	1,86	1,91	1,5	2,05	1,8	1,89	3,53	5,42	2,45	1,68	2,7	4,61	0,986	2,15
Maximum	19	5,0	7,2	19	7,2	19	620	620	81	35	35	620	3,2	620
Standardabweichung	0,711	0,671	0,556	0,897	0,651	0,748	16	23	2,52	1,94	2,32	25	0,37	9,72
Bestimmungsgrenzen	0,05; 0,1	0,05; 0,1	0,05; 0,1	0,05; 0,1	0,05; 0,1	0,05; 0,1	0,005; 0,05; 0,052; 0,1	0,005; 0,05; 0,052; 0,06; 0,1	0,05; 0,06; 0,1	0,04; 0,05; 0,1	0,005; 0,05; 0,052; 0,06; 0,1	0,05; 0,052; 0,1	0,05; 0,1	0,05; 0,1

### Anlage 3.3 Chlorid

#### Statistische Kennwerte für den Parameter Chlorid im Zeitraum 2015 – 2019

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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	18,8 – 35,1								
Statistische Kennwerte														
	Brunnen						Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probenstellen
	alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL			
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
Anzahl Probennahmestellen gesamt	3.257	559	1.164	941	1.077	1.852	3.246	1.477	708	577	1.539	1.251	621	7.124
Anzahl aktive Probennahmestellen	1.856	375	742	629	719	1.066	3.136	1.436	685	554	1.505	1.192	370	5.362
Anzahl untersuchte Probennahmestellen	1.393	281	560	465	507	826	1.110	535	295	218	549	479	56	2.559
Anzahl Probennahmestellen immer <BG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anteil Probennahmestellen 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
Anzahl Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG	1.393	281	560	465	507	826	1.110	535	295	218	549	479	56	2.559
Anteil Probennahmestellen mit mindestens 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

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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)								
Chlorid	mg/l	250	250	250	50	18,8 – 35,1								
Statistische Kennwerte														
	Brunnen						Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probennahmestellen
	alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL			
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
<b>Anzahl Messwerte</b>	7.123	1.741	2.677	2.377	2.263	4.531	4.093	1.976	1.147	728	2.068	1.746	369	11.585
<b>Anzahl Messwerte &lt;BG</b>	3	0	1	1	0	3	1	1	0	0	1	0	0	4
<b>Anteil Messwerte &lt;BG (%)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Minimum</b>	0,05	4,65	1,68	1,99	1,68	0,05	0,50	0,50	3,2	2,0	0,50	2,0	4,79	0,05
<b>5. Perzentil</b>	6,66	13	9,79	5,0	8,42	6,0	6,0	8,0	8,85	4,0	7,86	5,49	7,95	6,57
<b>10. Perzentil</b>	9,73	19	13	6,0	11	8,86	9,0	12	13	6,0	11	7,98	11	9,42
<b>25. Perzentil</b>	19	30	23	12	20	18	20	24	27	10	23	18	18	19
<b>Median</b>	34	47	38	22	34	35	41	40	49	38	40	45	28	35
<b>Mittelwert</b>	45	56	50	32	53	42	115	62	115	273	84	158	34	69
<b>75. Perzentil</b>	54	78	53	43	60	54	80	70	107	167	71	99	40	61
<b>90. Perzentil</b>	85	100	75	78	90	85	225	120	271	814	160	304	67	106
<b>95. Perzentil</b>	107	130	107	93	123	100	388	199	428	1.297	306	622	71	184
<b>Maximum</b>	1.260	279	1.260	269	1.260	269	8.702	774	3.260	8.702	2.196	8.702	139	8.702
<b>Standardabweichung</b>	54	37	75	31	82	33	374	79	206	814	176	530	23	229
<b>Bestimmungsgrenzen</b>	0,1; 5	–	5	5	–	0,1; 5	1	1	–	–	1	–	–	0,1; 1; 5

### Anlage 3.4 Sulfat

Statistische Kennwerte für den Parameter Sulfat im Zeitraum 2015 – 2019

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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	40,1 – 130								
Statistische Kennwerte														
	Brunnen						Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probennahmestellen
	alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL			
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
Anzahl Probennahmestellen gesamt	3257	559	1164	941	1077	1852	3246	1477	708	577	1539	1251	621	7124
Anzahl aktive Probennahmestellen	1856	375	742	629	719	1066	3136	1436	685	554	1505	1192	370	5362
Anzahl untersuchte Probennahmestellen	1401	281	565	467	507	834	1120	538	301	218	552	479	57	2578
Anzahl Probennahmestellen immer <BG	6	0	1	5	0	6	14	3	2	8	3	9	1	21
Anteil Probennahmestellen immer <BG (%)	0,4	0,0	0,2	1,1	0,0	0,7	1,3	0,6	0,7	3,7	0,5	1,9	1,8	0,8
Anzahl Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG	1395	281	564	462	507	828	1106	535	299	210	549	470	56	2557
Anteil Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG (%)	99,6	100,0	99,8	98,9	100,0	99,3	98,8	99,4	99,3	96,3	99,5	98,1	98,2	99,2



Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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	40,1 – 130								
Statistische Kennwerte														
	Brunnen						Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probennahmestellen
	alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL			
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
<b>Anzahl Messwerte</b>	7139	1765	2670	2367	2252	4554	4152	2020	1173	716	2137	1726	388	11679
<b>Anzahl Messwerte &lt;BG</b>	92	0	6	79	1	76	113	34	33	32	45	61	6	211
<b>Anteil Messwerte &lt;BG (%)</b>	1,3	0,0	0,2	3,3	0,0	1,7	2,7	1,7	2,8	4,5	2,1	3,5	1,5	1,8
<b>Minimum</b>	0,01	11	0,01	0,01	2,0	0,01	0,01	0,49	0,50	0,01	0,49	0,01	0,05	0,01
<b>5. Perzentil</b>	4,77	41	22	2,0	28	3,0	2,0	10	2,0	0,69	5,0	1,0	9,07	3,76
<b>10. Perzentil</b>	9,38	51	33	3,75	40	6,0	6,28	18	6,92	2,0	14	3,39	13	8,0
<b>25. Perzentil</b>	36	74	60	9,7	60	24	24	48	26	6,99	40	13	42	32
<b>Median</b>	77	117	97	29	86	70	80	98	78	19	89	62	84	78
<b>Mittelwert</b>	94	138	112	47	96	96	101	120	101	59	103	98	93	97
<b>75. Perzentil</b>	136	177	155	69	121	150	142	155	155	85	141	142	135	139
<b>90. Perzentil</b>	195	272	205	115	160	223	217	230	226	167	199	240	192	203
<b>95. Perzentil</b>	256	329	250	150	189	276	270	302	260	213	243	302	204	257
<b>Maximum</b>	628	396	381	628	628	396	1730	1730	857	981	1730	1190	254	1730
<b>Standardabweichung</b>	77	84	70	49	56	86	106	116	93	89	96	119	64	88
<b>Bestimmungsgrenzen</b>	0,02; 0,1; 0,5; 1; 3; 6; 20	–	0,02; 0,1; 1; 3; 6	0,02; 0,1; 0,5; 1; 20	6	0,02; 0,1; 0,5; 1; 3; 20	0,5; 1; 6	1; 6	1; 6	0,02; 0,1; 0,5; 1	1; 6	0,5; 1; 6	0,1; 20	0,02; 0,1; 0,5; 1; 6; 20

### Anlage 3.5 Kalium

#### Statistische Kennwerte für den Parameter Kalium im Zeitraum 2015 – 2019

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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)								
Kalium	mg/l				7	1,81 – 3,99								
Statistische Kennwerte														
	alle	Brunnen					Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probenstellen
		Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL				
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt	alle	≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
Anzahl Probennahmestellen gesamt	3257	559	1164	941	1077	1852	3246	1477	708	577	1539	1251	621	7124
Anzahl aktive Probennahmestellen	1856	375	742	629	719	1066	3136	1436	685	554	1505	1192	370	5362
Anzahl untersuchte Probennahmestellen	1389	276	560	466	502	827	1103	528	296	217	541	480	55	2547
Anzahl Probennahmestellen immer <BG	3	0	2	1	2	1	6	1	0	5	1	5	0	9
Anteil Probennahmestellen immer <BG (%)	0,2	0,0	0,4	0,2	0,4	0,1	0,5	0,2	0,0	2,3	0,2	1,0	0,0	0,4
Anzahl Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG	1386	276	558	465	500	826	1097	527	296	212	540	475	55	2538
Anteil Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG (%)	99,8	100,0	99,6	99,8	99,6	99,9	99,5	99,8	100,0	97,7	99,8	99,0	100,0	99,6

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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)								
Kalium	mg/l				7	1,81 – 3,99								
Statistische Kennwerte														
	Brunnen						Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probennahmestellen
	alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL			
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
Anzahl Messwerte	6285	1264	2360	2326	2188	3763	4029	1936	1141	710	2024	1726	241	10555
Anzahl Messwerte <BG	100	4	41	49	23	74	63	19	14	26	17	40	2	165
Anteil Messwerte <BG (%)	1,6	0,3	1,7	2,1	1,1	2,0	1,6	1,0	1,2	3,7	0,8	2,3	0,8	1,6
Minimum	0,025	0,25	0,025	0,025	0,025	0,025	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,025
5. Perzentil	0,71	1,1	0,80	0,613	0,89	0,70	0,79	0,90	0,80	0,595	0,90	0,70	0,80	0,74
10. Perzentil	0,98	1,38	1,07	0,80	1,1	0,902	1,0	1,3	1,0	0,80	1,2	0,90	0,97	0,99
25. Perzentil	1,5	2,03	1,66	1,22	1,79	1,4	1,61	2,1	1,58	1,24	1,83	1,4	1,44	1,53
Median	2,4	3,41	2,8	1,96	3,14	2,2	2,84	3,8	2,3	2,2	3,2	2,46	2,23	2,56
Mittelwert	3,23	4,62	3,47	2,42	4,14	2,8	5,25	7,05	3,62	3,46	5,01	5,26	2,8	3,99
75. Perzentil	3,7	5,3	4,0	2,95	4,87	3,39	5,5	6,97	3,99	4,63	5,96	4,7	3,5	4,24
90. Perzentil	5,56	8,17	5,8	4,1	7,4	4,72	9,68	14	6,9	7,97	9,47	7,98	5,7	7,1
95. Perzentil	7,4	11	7,3	5,0	9,3	5,6	15	21	8,97	9,96	15	14	6,28	9,8
Maximum	166	68	166	91	68	166	336	336	119	31	182	336	22	336
Standardabweichung	4,9	5,53	5,79	3,49	4,97	4,96	12	16	5,47	3,53	6,91	16	2,21	8,23
Bestimmungsgrenzen	0,5	0,5	0,5	0,5	0,05; 0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

### Anlage 3.6 ortho-Phosphat

Statistische Kennwerte für den Parameter ortho-Phosphat im Zeitraum 2015 – 2019

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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)								
Phosphat-ortho	mg/l	0,5			0,3	0 – 0,121								
Statistische Kennwerte														
	alle	Brunnen					Grundwassermessstellen					Rohmischwasser	alle Proben-nahme-stellen	
		Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL				
		≤ 25	25 – 50	> 50	un-bedeckt	bedeckt	alle	≤ 25	25 – 50	> 50	un-bedeckt			bedeckt
Anzahl Probennahmestellen gesamt	3257	559	1164	941	1077	1852	3246	1477	708	577	1539	1251	621	7124
Anzahl aktive Probennahmestellen	1856	375	742	629	719	1066	3136	1436	685	554	1505	1192	370	5362
Anzahl untersuchte Probennahmestellen	1018	157	367	408	317	642	627	292	154	126	281	272	30	1675
Anzahl Probennahmestellen immer <BG	610	85	240	224	197	380	352	144	96	73	137	170	25	987
Anteil Probennahmestellen immer <BG (%)	59,9	54,1	65,4	54,9	62,1	59,2	56,1	49,3	62,3	57,9	48,8	62,5	83,3	58,9
Anzahl Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG	408	72	127	184	120	262	275	148	58	53	144	102	5	688
Anteil Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG (%)	40,1	45,9	34,6	45,1	37,9	40,8	43,9	50,7	37,7	42,1	51,2	37,5	16,7	41,1

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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)								
Phosphat-ortho	mg/l	0,5			0,3	0 – 0,121								
Statistische Kennwerte														
	Brunnen						Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probenahmestellen
	alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL			
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
Anzahl Messwerte	3968	601	1378	1687	1087	2580	1721	782	418	321	712	788	165	5854
Anzahl Messwerte <BG	2879	465	1139	1022	863	1812	1233	516	320	238	443	611	134	4246
Anteil Messwerte <BG (%)	72,6	77,4	82,7	60,6	79,4	70,2	71,6	66,0	76,6	74,1	62,2	77,5	81,2	72,5
Minimum	0,003	0,003	0,005	0,003	0,003	0,003	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,025	0,003
5. Perzentil														
10. Perzentil														
25. Perzentil														
Median														
Mittelwert														
75. Perzentil														
90. Perzentil														
95. Perzentil														
Maximum	3,17	1,88	2,62	3,17	2,62	3,17	20	20	2,51	1,83	20	6,8	0,99	20
Standardabweichung														
Bestimmungsgrenzen	0,05; 0,1	0,05; 0,1	0,05; 0,1	0,1	0,05; 0,1	0,1	0,02; 0,05; 0,1	0,02; 0,05; 0,1	0,02; 0,05; 0,1	0,1	0,1	0,1; 0,5	0,05; 0,1	0,05; 0,1

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

## Anlage 3.7 Bor

### Statistische Kennwerte für den Parameter Bor im Zeitraum 2015 – 2019

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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>Bor gesamt</b>	µg/l		180	1000	150	8,41 – 62,5								
Statistische Kennwerte														
	alle	Brunnen					Grundwassermessstellen					Rohmischwasser	alle Probennahstellen	
		Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL				
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt	alle	≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt			bedeckt
Anzahl Probennahmestellen gesamt	3257	559	1164	941	1077	1852	3246	1477	708	577	1539	1251	621	7124
Anzahl aktive Probennahmestellen	1856	375	742	629	719	1066	3136	1436	685	554	1505	1192	370	5362
Anzahl untersuchte Probennahmestellen	1099	231	454	347	391	658	818	454	199	115	423	325	36	1953
Anzahl Probennahmestellen immer <BG	406	46	172	154	130	252	323	136	102	61	150	149	7	736
Anteil Probennahmestellen immer <BG (%)	36,9	19,9	37,9	44,4	33,2	38,3	39,5	30,0	51,3	53,0	35,5	45,8	19,4	37,7
Anzahl Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG	693	185	282	193	261	406	495	318	97	54	273	176	29	1217
Anteil Probennahmestellen mit mindestens 1 Wert >BG (%)	63,1	80,1	62,1	55,6	66,8	61,7	60,5	70,0	48,7	47,0	64,5	54,2	80,6	62,3

Parameter	Einheit	SW	GFS	GW	PW	HGW	Kennwerte, die die Vergleichswerte 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>Bor gesamt</b>	µg/l		180	1000	150	8,41 – 62,5								
Statistische Kennwerte														
	Brunnen						Grundwassermessstellen						Rohmischwasser	alle Probennahmestellen
	alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL		alle	Filterunterkante (m u. GOK)			Bedeckung GWL			
		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		≤ 25	25 – 50	> 50	unbedeckt	bedeckt		
<b>Anzahl Messwerte</b>	3168	709	1235	1046	1093	1885	1955	1160	480	195	1047	733	69	5192
<b>Anzahl Messwerte &lt;BG</b>	1222	207	457	475	385	764	714	334	218	105	335	322	20	1956
<b>Anteil Messwerte &lt;BG (%)</b>	38,6	29,2	37,0	45,4	35,2	40,5	36,5	28,8	45,4	53,8	32,0	43,9	29,0	37,7
<b>Minimum</b>	0,50	0,50	2,5	1,5	2,5	0,50	2,5	2,5	2,5	10	2,5	5,0	0,025	0,025
<b>5. Perzentil</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10		10	10	10	10
<b>10. Perzentil</b>	10	20	10	10	13	10	10	20	10		10	10	10	10
<b>25. Perzentil</b>	25	25	25	25	25	25	25	25	25		25	25	10	25
<b>Median</b>	37	50	41	25	49	30	40	49	30		46	26	30	39
<b>Mittelwert</b>	50	58	53	44	55	48	91	83	96		75	79	39	65
<b>75. Perzentil</b>	66	70	70	60	70	60	85	90	82		89	76	50	70
<b>90. Perzentil</b>	94	99	100	86	100	91	180	170	170		160	178	80	120
<b>95. Perzentil</b>	120	130	130	112	120	125	310	277	301		224	334	86	181
<b>Maximum</b>	970	970	680	580	970	680	2900	2900	2350	1760	2900	2350	150	2900
<b>Standardabweichung</b>	49	60	50	41	54	48	181	141	213		130	145	31	119
<b>Bestimmungsgrenzen</b>	20; <b>50</b>	20; <b>50</b>	20; <b>50</b>	5; 20; <b>50</b>	20; <b>50</b>	5; 20; <b>50</b>	5; 10; 20; <b>50</b>	5; 10; 20; <b>50</b>	5; 10; 20; <b>50</b>	20; <b>50</b>	5; 10; 20; <b>50</b>	20; <b>50</b>	0,05; 10; 20; <b>50</b>	5; 20; <b>50</b>

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

**Referat Öffentlichkeitsarbeit**

Henning-von-Tresckow-Straße 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)

[agrар-umwelt.brandenburg.de](http://agrар-umwelt.brandenburg.de)

