

---

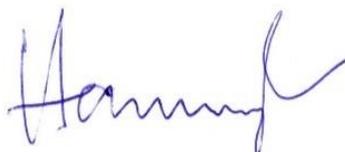
# Geogene Hintergrundwerte für das Grundwasser in Sachsen-Anhalt und Ableitung von Schwellenwerten

**Auftraggeber:** Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft  
Sachsen-Anhalt  
Sachgebiet 5.1.1  
Willi-Brundert-Straße 14  
06132 Halle (Saale)

**Auftragnehmer:** HYDOR Consult GmbH  
Am Borsigturm 40  
13507 Berlin

**Bearbeitung:** M. Sc. Sophie Borrmann  
Dipl. Geol. Elzbieta Rejman-Rasinska  
und  
Dr. Stephan Hannappel

**Berlin, 30.11.2017**



Dr. S. Hannappel

Geschäftsführer HYDOR Consult GmbH

---

*Ἀριστον μὲν ὕδωρ – Das Beste aber ist das Wasser*



---

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	4
Abbildungsverzeichnis .....	5
Tabellenverzeichnis .....	7
1. Veranlassung und Zielstellung .....	9
1.1. Gesetzliche Grundlagen .....	9
1.2. Zielstellung nach Leistungsbeschreibung .....	10
1.3. Bundesweit einheitliche Referenzwerte .....	12
2. Übersicht zur Datenbasis .....	13
2.1. Punktbezogene Datenbasis .....	13
2.1.1. Beschaffenheitsdaten .....	13
2.1.2. Stammdaten .....	15
2.1.3. Schichtenverzeichnisse der Messstellen und Bohrlochdaten des LAGB .....	15
2.2. Flächenbezogene Datenbasis .....	16
2.2.1. Hydrogeologische Übersichtskarte (HÜK200) .....	16
2.2.2. Hydrogeologische Bezugseinheiten Sachsen-Anhalt .....	16
2.2.3. Grundwasserkörper Sachsen-Anhalt .....	20
3. Aufbereitung und Auswahl der Datenbasis .....	22
3.1. Aufbereitung der Beschaffenheitsdaten .....	22
3.2. Aufbereitung der Stammdaten .....	26
3.3. Aggregieren der Beschaffenheits- und Stammdaten .....	26
3.4. Plausibilitätsprüfungen der Beschaffenheitsdaten .....	27
3.4.1. Einzelwertbezogene Plausibilitätsprüfung der Beschaffenheitsdaten .....	28
3.4.2. Analysebezogene Plausibilitätsprüfung des Beschaffenheitsdatensatzes .....	34
3.4.3. Primärstatistische Beschreibung des Beschaffenheitsdatensatzes .....	37
3.5. Verfahrensweise bei Mehrfachanalysen .....	39
3.6. Zuordnung und Untergliederung der Bezugseinheiten .....	40
3.6.1. Generelle Verfahrensweise bei der messstellenscharfen Zuordnung .....	41
3.6.2. Erläuterung der Zuordnung anhand ausgewählter Beispiele .....	45
3.6.3. Sonderfall: Bezugseinheit „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ .....	46
3.6.4. Untergliederung der hydrogeologischen Bezugseinheiten .....	47
3.7. Zusammenfassende Übersicht zu relevanten Beschaffenheits- und Stammdaten .....	51

---

4.	Methodik zur Ermittlung der Hintergrund- und Schwellenwerte .....	58
4.1.	Vorbemerkungen.....	58
4.2.	Methodik der Ermittlung der Hintergrundwerte pro Bezugseinheit .....	59
4.2.1.	Wahrscheinlichkeitsnetze zur Bestimmung der Normalpopulationen .....	59
4.2.2.	Anwendung weiterer statistischer Verfahren bei unzureichender Datenbasis .....	62
4.3.	Methodik der Ermittlung der Schwellenwerte pro Grundwasserkörper .....	66
5.	Ausgewiesene Hintergrund- und Schwellenwerte .....	67
5.1.	Übersicht zu angewandten Methoden und deren Bedeutung für die Interpretation .....	67
5.2.	Ergebnisse zu den ermittelten Hintergrundwerten .....	70
5.3.	Vergleichswerte pro Grundwasserkörper und hydrogeologischer Bezugseinheit.....	77
5.4.	Ergebnisse zu den abgeleiteten Schwellenwerten pro Grundwasserkörper .....	83
6.	Vergleichende Bewertung der neu ausgewiesenen Hintergrundwerte.....	84
6.1.	Vergleich der aktuellen Hintergrundwerte mit bisherigen Werten.....	84
6.2.	Vergleich der aktuellen Hintergrundwerte mit den Werten der BGR .....	88
6.3.	Parameterbezogene Bewertung der aktuellen Hintergrundwerte .....	95
6.3.1.	Chlorid .....	95
6.3.2.	Sulfat.....	97
6.3.3.	Ammonium und Nitrit .....	100
6.3.4.	Ortho-Phosphat.....	103
6.3.5.	Eisen .....	104
6.3.6.	Arsen.....	104
6.3.7.	Blei.....	106
6.3.8.	Cadmium .....	107
6.3.9.	Quecksilber.....	107
6.3.10.	Weitere anorganische Spurenelemente .....	108
6.3.11.	Physiko-chemische Parameter .....	110
7.	Zusammenfassung.....	112
8.	Literaturverzeichnis.....	114
	Anlagen.....	116
	Anlage 1: Übersicht zu der Aggregation der Parameter .....	116
	Anlage 2: Parameterbezogene Übersicht zu den mithilfe eines Umrechnungsfaktors korrigierten Analysen der Datenbank .....	118
	Anlage 3: Parameterbezogene Übersicht zu der Anzahl der Messstellen pro Bezugseinheit und Untergliederung .....	119

---

Anlage 4: Prozentuale Flächenanteile der Grundwasserkörper an den untergliederten Bezugseinheiten .....	122
Anlage 5: Parameter- und einheitsbezogene Übersicht zu den Stoffkonzentrationen .....	125
Anlage 6: Vergleichswerte der Grundwasserkörper für ausgewählte Parameter als Basis der Schwellenwertableitung.....	134
Anlage 7: Schwellenwerte der Grundwasserkörper für ausgewählte Parameter .....	136
Anlage 8: Vergleich der aktuellen Hintergrundwerten mit den bisherigen Werten.....	138
Anlage 9: Zuordnung der Hydrogeologischen Bezugseinheiten mit Untergliederung zu den Hydrogeochemischen Einheiten .....	142
Anlage 10: Vergleich der aktuellen Hintergrundwerte mit den Werten auf Bundesebene .....	143
<b>Beilage: CD mit allen digitalen Daten des Projektes (Bericht inkl. Anlagen, Datenbasis und GIS-Daten nach der GIS-Richtlinie)</b>	

## Abkürzungsverzeichnis

BLAGEO	Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Geowissenschaften
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BZE	Hydrogeologische Bezugseinheit
EG-WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
GFS	Geringfügigkeitsschwellenwert
GrwV	Grundwasserverordnung
GWK	Grundwasserkörper
GWL	Grundwasserleiter
HGC	Hydrogeochemische Einheit
HGW	Hintergrundwert (Grundwasser, nach Definition GrwV 2017)
HÜK 200	Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland 1 : 200.000
HÜK 400	Hydrogeologische Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt 1 : 400.000
LAGB	Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt .
LHW	Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
MW	(arithmetischer) Mittelwert
Probnat	Probability net („Wahrscheinlichkeitsnetz“)
SGD	Staatliche Geologische Dienste Deutschlands
ST-ABW	Standardabweichung
SW	Schwellenwert (Grundwasser)

Nicht aufgeführt sind hier Abkürzungen der chemischen Elemente aus dem Periodensystem sowie von Ionen (s. dazu Tabelle 2-1).

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Anzahl der Messstellen mit Analysen in der Datenbank im Zeitraum 2000 bis 2015 ...	14
Abbildung 2-2 Kartografische Übersicht zu 24.268 Bohrungen im Grundwasserkataster .....	17
Abbildung 2-3 Hydrogeologische Bezugseinheiten Sachsen-Anhalt mit tektonischer Störungen.....	19
Abbildung 2-4 Prozentuale Flächenanteile der hydrogeologischen Bezugseinheiten (.....)	20
Abbildung 2-5 Häufigkeitsverteilung der Flächengrößen der 77 Grundwasserkörper .....	20
Abbildung 2-6 Kartografische Übersicht zu den Grundwasserkörpern des Landes Sachsen-Anhalt....	21
Abbildung 3-1 Verhältnis von den Konzentrationen von zweiwertigem Eisen zu Gesamteisen. ....	23
Abbildung 3-2 Prozentuale Anteile der Teildatensätze des aggregierten Beschaffenheitsdatensatzes .....	27
Abbildung 3-3 Messstellen mit mittleren Chlorid- und Sulfatkonzentrationen.....	32
Abbildung 3-4 Messstellenbezogene Mittelwerte von Chlorid und Sulfat .....	32
Abbildung 3-5 Messstellen mit Schwellenwertüberschreitung für Chlorid und Sulfat in der 6km-Zone um das Kaliwerk Zielitz (d.....)	33
Abbildung 3-6 Lineare Korrelation zwischen Hydrogenkarbonat und der Säurekapazität ( $KS_{3,4}$ ). ....	35
Abbildung 3-7 Korrelation zwischen Gesamtphosphor und Ortho-Phosphat-Phosphor.....	36
Abbildung 3-8 Anzahl der Analysen in Abhängigkeit der Größe des Ionenbilanzfehlers.....	37
Abbildung 3-9 Anzahl der Messstellen und Anzahl der Analysen .....	39
Abbildung 3-10 Gesamtanzahl der (gemittelten) Werte pro Parameter. ....	40
Abbildung 3-11 Prozentuale Anteile der Informationsgrundlagen für die Zuordnung der Bezugseinheiten .....	44
Abbildung 3-12 Vergleich der Kartenwerke HÜK200 und HÜK400 am Beispiel eines Ausschnittsweise im Mansfelder Land.....	45
Abbildung 3-13 Erhöhte Sulfatkonzentrationen im Mündungsbereich der Saale bei Barby und dem östlichen Teilstück der Weißen Elster .....	48
Abbildung 3-14 Tiefenzonierung am Beispiel Chlorid für die hydrogeologische Bezugseinheit „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL“ (BZE 4).....	49
Abbildung 3-15 Untergliederung der hydrogeologischen Bezugseinheiten. d .....	50
Abbildung 3-16 Flächenanteile der Bezugseinheiten und der entsprechenden Untergliederung .....	51
Abbildung 3-17 Prozentualer Anteil der Messstellenarten der 3156 Messstellen .....	52
Abbildung 3-18 Mittlere Filterteufen in Abhängigkeit von der untergliederten Bezugseinheit.....	53
Abbildung 3-19 Anzahl der Messstellen pro untergliederter Bezugseinheit .....	54
Abbildung 3-20 Einheitsbezogene Gegenüberstellung des prozentualen Anteils der Fläche und Messstellenanzahl an der jeweiligen Grundgesamtheit. ....	54
Abbildung 3-21 Prozentualer Flächenanteil der Bezugseinheiten und ihren Untergliederungen an den Grundwasserkörpern.....	56
Abbildung 3-22 Kastengrafiken zu der einheitsbezogenen Konzentrationsverteilung ausgewählter Parameter (Chlorid, Sulfat, Ammonium und Ortho-Phosphat.....)	57
Abbildung 4-1 Konzentrationsverteilung von Ortho-Phosphat [mg/l] für die Einheit „Zechstein“ im Wahrscheinlichkeitsnetz .....	61
Abbildung 5-1 Vergleich der Hintergrundwerte von Chlorid pro Bezugseinheit (links) mit den mithilfe des flächengewichteten Mittels abgeleiteten Werten pro Grundwasserkörper (rechts). ....	79

Abbildung 5-2 Vergleich der Hintergrundwerte von Sulfat pro Bezugseinheit (links) mit den mithilfe des flächengewichteten Mittels abgeleiteten Werten pro Grundwasserkörper (rechts). .....	80
Abbildung 5-3 Vergleich der Hintergrundwerte von Ammonium pro Bezugseinheit (links) mit den mithilfe des flächengewichteten Mittels abgeleiteten Werten pro Grundwasserkörper (rechts). .....	81
Abbildung 5-4 Vergleich der Hintergrundwerte von Ortho-Phosphat pro Bezugseinheit (links) mit den mithilfe des flächengewichteten Mittels abgeleiteten Werten pro Grundwasserkörper (rechts). .....	82
Abbildung 6-1 Kartografischer Vergleich der Hintergrundwerte der Parameter Chlorid und Sulfat auf Landes- und Bundesebene .....	91
Abbildung 6-2 Kartografischer Vergleich der Hintergrundwerte der Parameter Ammonium und Ortho-Phosphat auf Landes- und Bundesebene .....	92
Abbildung 6-3 Kartografischer Vergleich der Hintergrundwerte der Parameter Arsen und Cadmium auf Landes- und Bundesebene. ....	93
Abbildung 6-4 Kartografischer Vergleich der Hintergrundwerte der Parameter Quecksilber und Blei auf Landes- und Bundesebene. ....	94
Abbildung 6-5 Hintergrundwerte des Parameters Chlorid pro hydrogeologischer Bezugseinheit .....	95
Abbildung 6-6 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Sulfat [mg/l] .....	97
Abbildung 6-7 Geologie der Subherzynen Senke, dargestellt ohne känozoische Bildungen. (Franke, 2017; verändert nach Martiklos et al., 2001).....	99
Abbildung 6-8 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Ammonium [mg/l] und Nitrit [mg/l] als Balkendiagramm. Die roten horizontalen Linien kennzeichnen die Höhe der Schwellenwerte laut GrwV (2017). Die Schwellenwerte liegen in beiden Fällen bei 0,5 mg/l.....	101
Abbildung 6-9 Landnutzung in Sachsen-Anhalt nach Corine (2012).....	102
Abbildung 6-10 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Ortho-Phosphat [mg/l].....	103
Abbildung 6-11 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Eisen [mg/l] als Balkendiagramm. ....	104
Abbildung 6-12 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Arsen [µg/l] .....	105
Abbildung 6-13 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Blei [µg/l].....	106
Abbildung 6-14 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Cadmium [µg/l] .....	107
Abbildung 6-15 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Quecksilber [µg/l] .....	108
Abbildung 6-16 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Kobalt [µg/l] als Balkendiagramm. ....	109
Abbildung 6-17 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Kupfer [µg/l] als Balkendiagramm. ....	109
Abbildung 6-18 Einheitsbezogene Spannweiten des 10. Und 90. Perzentils des Parameters pH-Wert [-]......	110
Abbildung 6-19 Einheitsbezogene Spannweiten des 10. und 90. Perzentils des Parameters Sauerstoff [mg/l]. ....	111
Abbildung 6-20 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des (von den gemessenen Redoxspannungen umgerechneten) Redoxpotentials.....	111
Abbildung A-1 Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe (Ca, Cl, HCO <sub>3</sub> , K, Mg, Na). ....	125
Abbildung A-2 Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe (SO <sub>4</sub> ) und Nebeninhaltsstoffe (NH <sub>4</sub> , CN, Fe, F). ....	126
Abbildung A-3 Konzentrationen der Nebeninhaltsstoffe (P, Mn, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> ). ....	127
Abbildung A-4 Konzentrationen der Spurenstoffe (Al, Sb, As, Bi, Pb).....	128

---

Abbildung A-5 Konzentrationen der Spurenstoffe (B, Br, Cd, Cr, Co, Cu).....	129
Abbildung A-6 Konzentrationen der Spurenstoffe (Li, Mo, Ni, Hg Se, Ag).....	130
Abbildung A-7 Konzentrationen der Spurenstoffe (Si, Sr, Tl, U, V, Sn).....	131
Abbildung A-8 Konzentrationen der Spurenstoffe (Zn) und physikochemischen Parameter (AOX, DOC, LF, GH).....	132
Abbildung A-9 Konzentrationen der physikochemischen Parameter (pH, Redox, O <sub>2</sub> , T).....	133

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1 Übersicht zu bundesweit ausgewiesenen, parameterbezogenen Konzentrationen von Schwellenwerten, Geringfügigkeitsschwellenwerten und nationalen Basiswerten.....	12
Tabelle 2-1 Übersicht zu den bearbeiteten Parametern, zu denen Hintergrundwerte abgeleitet wurden.....	13
Tabelle 2-2 Übersicht zur Datenbasis der Beschaffenheitsdaten.....	15
Tabelle 2-3 Übersicht zu den hydrogeologischen Bezugseinheiten (BZE) des Landes Sachsen-Anhalt.....	18
Tabelle 3-1 Übersicht zu den Parametern und Einheiten.....	25
Tabelle 3-2 Parameterbezogene Übersicht zu der Korrektur der Umrechnung bei Einzelwerte.....	25
Tabelle 3-3 Parameterbezogene Übersicht zu der Entfernung von Einzelwerte aufgrund fehlender Angabe zur Maßeinheit.....	26
Tabelle 3-4 Parameterbezogene Übersicht zu der einzelwertbezogenen Plausibilitätsprüfung.....	28
Tabelle 3-5 Verschiedenheit der Bestimmungsgrenzen am Beispiel Kupfer.....	30
Tabelle 3-6 Parameterbezogene Übersicht zu der Plausibilitätsprüfung von Werten unterhalb der Bestimmungsgrenzen.....	31
Tabelle 3-7 Primärstatische Beschreibung aller Parameter des aggregierten und auf Plausibilität geprüften Datensatzes.....	38
Tabelle 3-8 Zuordnung der Einträge der HÜK 200 zu Bezugseinheiten.....	42
Tabelle 3-9 Überblick zur Zuordnung für Messstellen mit konträren Informationen und fehlenden Schichtdaten.....	43
Tabelle 4-1 Maximalwerte der Normalpopulationen der Hauptkationen und -anionen.....	63
Tabelle 4-2 Auflistung von vom Ausschluss betroffener Messstellen.....	64
Tabelle 4-3 Einheitsbezogene Schwellenwerte (90.-Perzentil) spezifischer Halb- und Schwermetalle zur Separation von geogen oder anthropogen hervorgerufenen Anomalien.....	65
Tabelle 5-1 Parameter- und einheitenbezogener Überblick über den Einsatz der verschiedenen Methoden zur Ableitung des Hintergrundwertes in Abhängigkeit von der Datenbasis.....	69
Tabelle 5-2 Hintergrundwerte der Hauptkationen und -anionen des Grundwassers.....	71
Tabelle 5-3 Hintergrundwerte der Nebenelemente.....	72
Tabelle 5-4 Hintergrundwerte der Spurenstoffe (Teil 1).....	73
Tabelle 5-5 Hintergrundwerte der Spurenstoffe (Teil 2).....	74
Tabelle 5-6 Hintergrundwerte der Spurenstoffe (Teil 3).....	75
Tabelle 5-7 Hintergrundwerte der physikochemischen Parameter.....	76
Tabelle 6-1 Zuordnung der aktuellen Hydrogeologischen Bezugseinheiten (mit Untergliederung) zu den Hydrogeologischen Bezugseinheiten von 2008 zwecks Vergleich der jeweiligen Hintergrundwerte pro Parameter.....	85

Tabelle 6-2 Vergleich der Hintergrundwerte zwischen den aktuell bestimmten Hintergrundwerten und denen aus HYDOR (2008) am Beispiel der Parameter Cl, SO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , PO <sub>4</sub> , As, Cd, Hg und Pb.....	87
Tabelle 6-3 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene am Beispiel der Parameter Cl, SO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> , As, Cd, Hg und Pb.....	90
Tabelle A-1 Anzahl der Messstellen für Parameter AOX, Ag, Al, As, B, Ba, Bi, Br, Ca, Cd, Cl, CN und Co. ....	119
Tabelle A-2 Anzahl der Messstellen für Parameter Cr, Cu, DOC, F, Fe, GH, HCO <sub>3</sub> , Hg, K, LF, Li, Mg und Mn. ....	119
Tabelle A-3 Anzahl der Messstellen für Parameter Mo, Na, NH <sub>4</sub> , Ni, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> , P, Pb, pH, PO <sub>4</sub> , Redox, Sb.....	120
Tabelle A-4 Anzahl der Messstellen für Parameter Se, Si, Sn, SO <sub>4</sub> , Sr, T, Tl, U, V und Zn. ....	121
Tabelle A-5 Vergleich der Hintergrundwerte aktuellen und bisherigen Hintergrundwerte für die Hauptinhaltsstoffe.....	138
Tabelle A-6 Vergleich der Hintergrundwerte aktuellen und bisherigen Hintergrundwerte für die Nebeninhaltsstoffe.....	139
Tabelle A-7 Vergleich der Hintergrundwerte aktuellen und bisherigen Hintergrundwerte für die Spurenstoffe.....	140
Tabelle A-8 Vergleich der Hintergrundwerte aktuellen und bisherigen Hintergrundwerte für die physiko-chemischen Parameter.....	141
Tabelle A-9 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die Hauptinhaltsstoffe. ....	143
Tabelle A-10 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die Nebeninhaltsstoffe (Teil 1).....	144
Tabelle A-11 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die Spurenstoffe (Teil 1).....	145
Tabelle A-12 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die Spurenstoffe (Teil 2).....	146
Tabelle A-13 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die Spurenstoffe (Teil 3).....	147
Tabelle A-14 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die physiko-chemischen Parameter. ....	148

## 1. Veranlassung und Zielstellung

### 1.1. Gesetzliche Grundlagen

Die Verordnung zur Änderung der Grundwasserverordnung (GrwV) (vgl. GrwV, 2017) regelt in ihrer Anlage 4a (zu § 5 Absatz 2 und Absatz 3 Satz 1) die „Ableitung von Hintergrundwerten und Hintergrund-Basiswerten“. Die beiden Absätze in § 5 lauten wie folgt:

*(2) „Nach Maßgabe der Anlage 4a berechnen die zuständigen Behörden für Stoffe oder Stoffgruppen, die im Grundwasser natürlich vorkommen, Hintergrundwerte und beziehen diese auf hydrogeochemische Einheiten. Bei gleichartigen hydrogeochemischen Einheiten, die an verschiedenen Orten im Bundesgebiet angetroffen werden, stimmen sich die zuständigen Behörden der betroffenen Länder bei der Berechnung der Hintergrundwerte untereinander ab. Die zuständigen Behörden teilen dem Umweltbundesamt die Hintergrundwerte mit. Das Umweltbundesamt veröffentlicht die Hintergrundwerte für die hydrogeochemischen Einheiten im Bundesgebiet im Bundesanzeiger.“*

*(3) Ist der in Anlage 2 angegebene Schwellenwert für einen Stoff oder eine Stoffgruppe niedriger als der Hintergrundwert der hydrogeochemischen Einheit, der der Grundwasserkörper zuzuordnen ist, soll die zuständige Behörde für den betroffenen Grundwasserkörper einen abweichenden Schwellenwert unter Berücksichtigung der Messdaten nach Anlage 4a festlegen.“*

Anlage 4a der GrwV regelt unter anderem, dass die zuständigen Behörden auf der Basis von Messdaten Hintergrundwerte für im Grundwasser natürlich vorkommende Stoffe oder Stoffgruppen ermitteln. Für jede Messstelle soll das Ergebnis einer repräsentativen Analyse des Stoffes oder der Stoffgruppe ausgewählt werden. Alle Messdaten müssen den Hydrogeochemischen Einheiten (HGC) zugeordnet werden. Diese Einheiten wurden aus den Einheiten der Hydrogeologischen Übersichtskarte von Deutschland 1:200.000 (HÜK200) zusammengefasst. Aus dem Datensatz für jede hydrogeochemische Einheit sollen mittels eines statistischen Auswertungsverfahrens zunächst die Anomalien entfernt werden. Hierbei sind Wahrscheinlichkeitsnetze nach der DIN 53804-1, Ausgabe 2002 anzuwenden. Im Anschluss daran sind das 90. Perzentil und die Verteilungsparameter (Mittelwert, Standardabweichung) für die verbleibende Normalpopulation zu ermitteln.

Der (im Vergleich zur alten GrwV i.d.F. von 2010 neue) Absatz 2 regelt in Verbindung mit der neuen Anlage 4a die Berechnung von Hintergrundwerten für natürlich vorkommende geogene Stoffe für alle hydrogeochemischen Einheiten im Bundesgebiet. Diese sind in der HÜK200 festgelegt. Grundlage der Berechnung sind die von den zuständigen Behörden - in der Regel den geologischen Diensten der Länder - ermittelten Hintergrundwerte, die insbesondere aus der Überwachung des Grundwassers stammen. Eine Erhebung zusätzlicher Überwachungsdaten für die Hintergrundwerte ist nicht vorgesehen. Grundsätzlich wird mit dieser Vorgehensweise auf eine von den Staatlichen Geologischen Diensten Deutschlands (SGD) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) etablierte und bewährte statistische Auswertung der Analysen der Grundwässer Deutschlands zurückgegriffen. Nach Satz 2 erfolgt ein Abgleich zwischen gleichartigen, mehrfach vorkommenden hydrogeochemischen Einheiten in Deutschland. Die so ermittelten Hintergrundwerte werden dem Umweltbundesamt mitgeteilt, das daraufhin eine Zusammenstellung der Hintergrundwerte für alle 186 hydrogeochemischen Einheiten in Deutschland veröffentlicht. Damit wird dem vielfach geäußerten Wunsch Rechnung getragen, diese Da-

ten transparent zu machen. In der Sache bestehen zu der bisherigen Vorgehensweise keine Unterschiede. Eine erneute Ableitung für Stoffe, für die schon Hintergrundwerte vorliegen, ist nicht vorgesehen.

Der neue Absatz 3 entspricht im Grundsatz dem Satz 1 des bisherigen Absatzes 2, wird aber präzisiert. Absatz 3 regelt den Fall, dass der Schwellenwert nach Anlage 2 niedriger ist, als der Hintergrundwert der hydrogeochemischen Einheit, der dem Grundwasserkörper zuzuordnen ist. Dies kann dadurch entstehen, dass die hydrogeochemische Einheit, in der sich der Grundwasserkörper befindet, im Vergleich zu anderen gleichartigen hydrogeochemischen Einheiten in anderen Bundesländern eher im höheren Konzentrationsbereich lag und durch die Flächenmittlung bei der Festlegung des Schwellenwertes nicht in dem Umfang berücksichtigt wurde. Absatz 3 setzt jedoch voraus, dass diese „Überschreitung“ des Schwellenwertes auf natürliche Ursachen zurückzuführen ist. Die zuständige Behörde soll in diesen Fällen für einen Stoff oder eine Stoffgruppe einen abweichenden Schwellenwert für den Grundwasserkörper festlegen.

## **1.2. Zielstellung nach Leistungsbeschreibung**

In Sachsen-Anhalt wurden erstmals im Jahr 2008 entsprechende Hintergrundwerte für die Haupt- und Nebeninhaltsstoffe sowie ausgewählte Schwermetalle auf der Grundlage der damals ausgewiesenen Hydrogeologischen Bezugseinheiten (BZE) bestimmt und auch flächengewichtet auf die damals nach WRRL ausgewiesenen Grundwasserkörper (GWK) übertragen (HYDOR, 2008). Die ermittelten Hintergrundwerte wurden seither unter anderem für die Zustandsbestimmung der aktuell 80 für Sachsen-Anhalt ausgewiesenen Grundwasserkörper als ein entscheidendes Kriterium verwendet (LHW, 2012).

Das Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit wurde seit 2008 (damals 384 Messstellen) weiter ausgebaut und verfügt aktuell über 455 Messstellen. Auch wurden im Rahmen von Ermittlungsuntersuchungen weitere Messstellen, größtenteils aus dem Grundwasserstandsmessnetz, in die Überwachung aufgenommen. Somit hat sich die Datenbasis auch unter dem Gesichtspunkt der Möglichkeit der Einbindung weiterer Daten von Dritten (u.a. Bergbau, Rohwasser, Sand- und Kiesabbau, Sondermessnetze) in den letzten Jahren deutlich verbessert. Weiterhin wurde das analytische Messprogramm auf Parameter erweitert, die vor 2008 noch nicht untersucht worden sind.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist auch die zwischen den beteiligten Fachbehörden erfolgte Anpassung der Bezugseinheiten im Jahr 2013. Des Weiteren musste im Rahmen des Projektes ein methodischer Ansatz zur Ausweisung landesspezifischer Hintergrundwerte empfohlen, geprüft und angewandt werden. Bei Berücksichtigung der landesspezifischen Besonderheiten, hydrogeologischer und hydrologischer Kriterien und der deutlich verbesserten hydrochemischen Datengrundlage soll die Bestimmung der Hintergrundwerte für das Grundwasser Sachsen-Anhalts neu vorgenommen werden.

Ziel des Projektes ist die Ausweisung von geogenen Hintergrundwerten und Schwellenwerten für das Grundwasser des Landes Sachsen-Anhalts unter Verwendung eines enorm erweiterten Messstellen- und Parameterumfangs bei Berücksichtigung der landesspezifischen Besonderheiten hinsichtlich hydrogeologischer Kriterien sowie einer aktualisierten, auf die Besonderheiten Sachsen-Anhalts angepassten Methode bei Berücksichtigung der 2013 neu angepassten BZE. Die Ergebnisdarstellung soll sowohl auf Ebene der BZE als auch auf Ebene der GWK zur Berücksichtigung bei der WRRL-Zustandsbestimmung

erfolgen. Die bisher bundesweit (Kunkel et al., 2004; LAWA, 2017; Wagner et al., 2014), landesweit (HYDOR, 2008) sowie wissenschaftlich erfolgten Ableitungen von Hintergrundwerten (z. B. Grube et al., 2000; Hannappel, 1996; Jahnke, 1999; Merten, 2002; Schenk, 2003; Schleyer & Kerndorff, 1992; TLUG, 1997) sind dabei sowohl hinsichtlich ihrer Methodik als auch der erzielten Ergebnisse auf ihre Eignung zu prüfen.

### 1.3. Bundesweit einheitliche Referenzwerte

Zur Orientierung und Einordnung von Konzentrationen anorganischer Haupt-, Neben- und Spureninhaltsstoffen des Grundwassers ist in der Tabelle 1-1 eine Übersicht zu den gesetzlich vorgeschriebenen Schwellenwerten (GrwV 2017) und den von der LAWA (2016) veröffentlichten Geringfügigkeitsschwellenwerten (GFS) „zur Beurteilung von lokal begrenzten Grundwasserverunreinigungen“ als jeweilige Referenz dargestellt. Zusätzlich sind in der Tabelle die von LAWA & BLA-GEO (2015) dokumentierten „nationalen Basiswerte“ aufgeführt, die in der dortigen Tab. 3.2 aufgeführt sind.

Alle drei Listen enthalten keine Differenzierung in regionale und/oder hydrogeologische Einheiten. Diese tiefer gehende Analyse mit den Werten nach Wagner et al. (2014<sup>1</sup>) wird in Kap. 6 vorgenommen.

Tabelle 1-1 Übersicht zu bundesweit ausgewiesenen, parameterbezogenen Konzentrationen von Schwellenwerten, Geringfügigkeitsschwellenwerten und nationalen Basiswerten

(Anm.: letztere sind inzwischen durch die von der BGR online veröffentlichten „Hintergrundwerte“ pro hydrogeochemischer Einheit regional untersetzt worden)

Parameter	Einheit	Nationale Basiswerte (LAWA & BLA-GEO, 2015)	Schwellenwert GrwV (2017)	GFS (LAWA 2016)
Ammonium	mg/l		0,5	
Antimon	µg/l	0,17		5
Arsen	µg/l	3,21	10	3,2
Barium	µg/l	175		175
Blei	µg/l	1,05	10	1,2
Bor	µg/l	116		180
Cadmium	µg/l	0,3	0,5	0,3
Chlorid	mg/l		250	250
Chrom	µg/l	1,75		3,4
Cyanid	µg/l			10/50*
Fluorid	µg/l	269		
Kobalt	µg/l	2		2
Kupfer	µg/l	5,44		5,4
Molybdän	µg/l	1,34		35
Nickel	µg/l	7,14		7
Nitrat	mg/l		50	
Nitrit	mg/l		0,5	
Ortho-Phosphat	mg/l		0,5	
Quecksilber	µg/l	0,09	0,2	0,1
Selen	µg/l	1,26		3
Sulfat	mg/l		250	250
Thallium	µg/l	0,06		0,2
Uran	µg/l	3,45		
Vanadium	µg/l	1,68		4
Zink	µg/l	57,6		60

\*: leicht freisetzbar / komplex

<sup>1</sup> [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/Beratung/Hintergrundwerte/hgw\\_projektbeschr.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/Beratung/Hintergrundwerte/hgw_projektbeschr.html)

## 2. Übersicht zur Datenbasis

Die Grundlagen zur Ausweisung von Hintergrundwerten auf Ebene der Bezugseinheiten und Grundwasserkörper bilden einerseits punktbezogene Daten, die sowohl Beschaffenheits- und Stammdaten von Grundwassermessstellen, wie auch Schichtenverzeichnisse von Grundwassermessstellen und Bohrungen umfassen. Andererseits besteht die Projektdatenbasis aus flächenbezogenen Daten: Hier sind die Hydrogeologischen Übersichtskarten im Maßstab 1:200 000 (HÜK200) und im Maßstab 1:400 000 (HÜK400), sowie eine Karte zu den Grundwasserkörpern Sachsen-Anhalts zu nennen. Im Folgenden wird diese Datenbasis detailliert beschrieben.

### 2.1. Punktbezogene Datenbasis

#### 2.1.1. Beschaffenheitsdaten

Von zentraler Bedeutung für die Bestimmung der Hintergrundwerte sind die Beschaffenheitsdaten. Die Grundwasser-Analysen stammen aus verschiedenen Quellen und lagen tabellarisch in unterschiedlichen Formaten vor (s. Tabelle 2-2). Die Datenbasis umfasst Daten des Landesmessnetzes Grundwasser-Beschaffenheit, von Ermittlungsuntersuchungen des LHW, Rohwasserdaten, Daten aus dem Bergbau, Sand- und Kiesabbau, sowie Daten aus Sondermessnetzen.

Die Parameterauswahl ergibt sich aus gesetzlichen Vorgaben und ist zudem von der Datenverfügbarkeit abhängig. Eine Zusammenstellung der bearbeiteten Parameter ist in Tabelle 2-1 gegeben (in Klammern die im weiteren Text und den Anlagen verwendeten Abkürzungen).

Tabelle 2-1 Übersicht zu den bearbeiteten Parametern, zu denen Hintergrundwerte abgeleitet wurden (Elemente und Ionen in Kurzform sowie ausgeschrieben)

Hauptinhaltsstoffe	Nebeninhaltsstoffe	Spurenstoffe		Physikochemische Parameter
Calcium (Ca)	Cyanid (CN)	Silber (Ag)	Molybdän (Mo)	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX)
Chlorid (Cl)	Fluor (F)	Aluminium (Al)	Nickel (Ni)	Gelöster organisch gebundener Kohlenstoff (DOC)
Hydrogenkarbonat (HCO <sub>3</sub> )	Eisen (Fe)	Arsen (As)	Blei (Pb)	Elektrische Leitfähigkeit (LF)
Kalium (K)	Mangan (Mn)	Bor (B)	Antimon (Sb)	Gesamthärte (GH)
Magnesium (Mg)	Ammonium (NH <sub>4</sub> )	Barium (Ba)	Selen (Se)	pH-Wert (pH)
Natrium (Na)	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	Bismut (Bi)	Silizium (Si)	Redoxspannung (Redox)
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	Nitrat (NO <sub>3</sub> )	Brom (Br)	Zinn (Sn)	Sauerstoffgehalt (O <sub>2</sub> )
	Gesamt-Phosphor (P)	Cadmium (Cd)	Strontium (Sr)	Temperatur (T)
	ortho-Phosphat (PO <sub>4</sub> )	Kobalt (Co)	Thallium (Tl)	
		Chrom (Cr)	Uran (U)	
		Kupfer (Cu)	Vanadium (V)	
		Quecksilber (Hg)	Zink (Zn)	
		Lithium (Li)		

Ein großer Teil der Analysedatensätze war bereits durch vorangehende Projekte (Jahnke, 2015, 2016) in einer Datenbank zusammengeführt worden. Diese Datenbank besteht aus aggregierten Analysedatensätzen und beinhaltet insgesamt 1.416.288 Einzelwerte von 481 unterschiedlichen hydrochemischen Parametern. Die Analysen basieren auf Proben von ungefähr 8000 verschiedenen Grundwasser- und Oberflächenwassermessstellen, wobei die Anzahl der Analysen pro Messstelle sehr heterogen ist. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die exakte Anzahl der Messstellen und Analysen nicht genau zu ermitteln ist. Denn aufgrund eines fehlenden eindeutigen Identifikationsschlüssels für jede Messstelle sind durch das Aggregieren von Datensätzen unterschiedlicher Quellen Messstellen und Analysen stellenweise doppelt angeführt. Um identische Messstellen zu identifizieren wurden Messstellen mit einem Abstand von bis zu 2 Meter zueinander einerseits zu einem Messpunkt zusammengefasst. Andererseits wurden die Messstellen voneinander unterschieden, wenn sie benachbart sind, jedoch unterschiedliche Tiefenangaben besitzen. Mit Hilfe von diesem einfachen Verfahren wurden 8574 Messstellen zu 7841 Messstellen zusammengefasst und mit einem separaten Identifikationsschlüssel („id\_MST\_XYZ“) versehen.

Zeitlich wird durch die Analysen mit wenigen Ausnahmen eine Spanne von den 60er Jahren bis zu dem Jahr 2015 abgedeckt (s. Abbildung 2-1). Für 3884 Messstellen liegen ab dem Jahr 2000 Analysen vor. Identische Messstellen sind für diese Darstellung jedoch noch nicht identifiziert worden.

In der Datenbank kann auf die Originaldaten und Angaben zu den jeweiligen Quellen zurückgegriffen werden. Gleichzeitig ist jedoch aufgrund der Heterogenität der Parameter und Einheiten in den Originaldaten eine Abfrage („00a\_Abfrage Analysen Masterparameter umgerechnet“) in der Datenbank implementiert, welche Einzelwerte in eine vordefinierte sogenannte Mastereinheit umrechnet. Für das vorliegende Projekt wurde die aus dieser Abfrage resultierende Tabelle zur weiteren Bearbeitung genutzt, welche im Kapitel 3.1 näher erläutert wird.

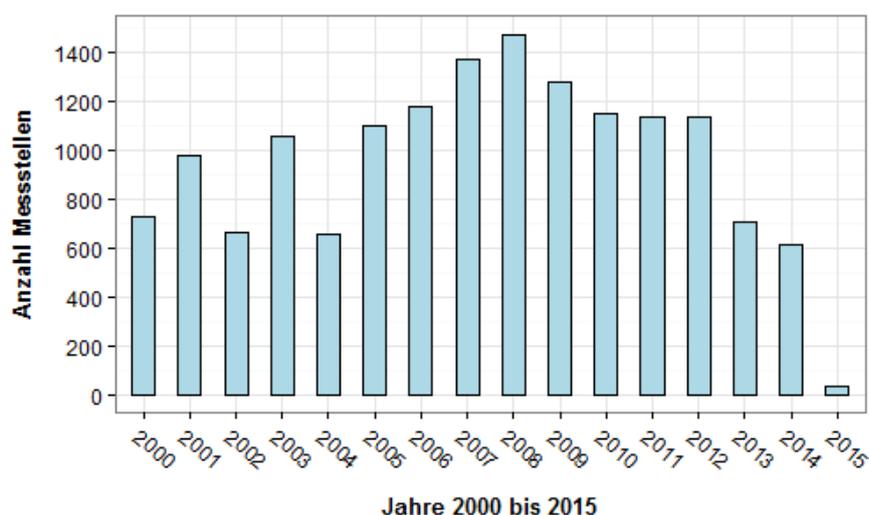


Abbildung 2-1 Anzahl der Messstellen mit Analysen in der Datenbank im Zeitraum 2000 bis 2015

Neben der Datenbank standen noch vier weitere Tabellen zur Verfügung, die Daten des Landesmessnetzes, von Ermittlungsuntersuchungen, Rohwasserdaten und Daten aus einem Projekt zu Quellen in der Harzregion umfassten (s. Tabelle 2-2). Die Anzahl der Analysen bewegen sich hier zwischen 124 bis zu 2523, die Zeiträume von 1993 bis 2016 abdecken. Sowohl die Anzahl der Messstellen, als auch die untersuchten Parameter weisen eine hohe Heterogenität auf. Auch hier werden die Parameter mit unterschiedlichen Einheiten geführt.

Tabelle 2-2 Übersicht zur Datenbasis der Beschaffenheitsdaten  
(Dateien sind nach absteigender Anzahl der Analysen geordnet)

Nr.	Dateiname	Beschreibung	Zeit- raum	Anzahl Analysen	Mess- stellen	Parame- ter
1	2016-02-00 Datenbasis end.ac-cdb	Komplexe Datenbank aus aggregierten Datensätzen von unterschiedlichen Quellen	1905-2015	44323	8574	481
2	Rohwasserdaten_1993_2015_01_09_2016.xml	Rohwasserdaten	1993-2015	2523	248	245
3	GW_Analysen_2015_2016_Landesmessnetz_29_08_2016.xlsx	Daten des Landesmessnetzes	2015-2016	952	527	399
4	E_MST_2015_2016final_29_08_2016.xlsx	Daten von Ermittlungsuntersuchungen	2007-2016	219	72	205
5	Quellen_Fauna_Harz_2013 bis 015_25_08_2016.xlsx	Daten aus Projekt zu Quellen im Harz	2005-2015	124	42	54

### 2.1.2. Stammdaten

Zu den Beschaffenheitsdaten lagen auch Stammdaten in unterschiedlichen Formaten vor. Die Informationsfülle war abhängig von der Herkunft der Daten und somit dem Erhebungszweck. Im Wesentlichen umfassten die Stammdaten folgende für dieses Projekt relevante Angaben:

- Messstellenname
- Identifikationsnummer: In Abhängigkeit von der Herkunft der Daten waren eine sogenannte LIMS-Nummer, MKZ-Nummer und/oder eine datenbankinterne Identifikationsnummer angegeben. Neben den datenbankinternen Nummern des Feldes „id\_MST“, über die die Analysen den einzelnen Messstellen zugeordnet werden konnten, waren zwecks eindeutiger Identifizierung aufgrund von Duplikat-Messstellen auch die Nummern des Feldes „id\_MST\_XYZ“ für die weitere Bearbeitung notwendig.
- Koordinaten: Die Koordinaten der Messstellen lagen größtenteils im Bezugssystem Gauß-Krüger 3°, Zone 4 (DHDN) und nur teilweise im Bezugssystem UTM Zone 32 N vor.
- Ausbaudaten (Einbautiefe, Filteroberkante, Filterunterkante)
- stratigrafische Angaben
- Zuordnung zu einer Hydrogeologischen Bezugseinheit

Insbesondere die Messstellen des LHW sind ausführlich dokumentiert. Die Stammdaten der Messstellen, die beispielsweise durch das LAGB beschrieben werden, enthielten größtenteils wichtige stratigrafische Hinweise.

### 2.1.3. Schichtenverzeichnisse der Messstellen und Bohrlochdaten des LAGB

Zur messstellenscharfen Zuordnung der Bezugseinheiten wurden soweit vorhanden auch Schichtenverzeichnisse und Bohrlochdaten eingesetzt. Es lagen sowohl 527 Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne von den Messstellen des Landesmessnetzes vor, wie auch 127 Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne von den Messstellen für Ermittlungsuntersuchungen. Außerdem standen zur Auswertung Schichtdaten zu 25 445 Bohrungen mit Raumbezug aus der Bohrdatenbank des Grundwasserkatasters mit Daten u.a.

aus der Landesbohrdatenbank des LAGB und einer Aktualität von 2008 zur Verfügung („GWKatas-  
ter.mdb“).

Deren Informationen wurden einerseits in ArcGIS verarbeitet, um festzustellen, ob eine hinreichende Entfernung zu Messstellen ohne Schichtenverzeichnisse gegeben ist (Koordinatangaben lagen in Gauß-Krüger 3°, Zone 4 (DHDN) vor). Andererseits wurden die Schichtdaten in GeODin visualisiert. Die räumliche Abdeckung durch die 24.268 Bohrungen aus der Bohrdatenbank des Grundwasserkatasters 2008, die innerhalb der Landesgrenzen lagen, ist in Abbildung 2-2 dargestellt. Auch wenn die Dichte der Bohrungen in großen Teilen des Landes Sachsen-Anhalt sehr gut ist, gibt es Regionen wie zum Beispiel den Harz, Gebiete südlich von Bernburg (Saale) und Köthen (Anhalt) und das Mansfelder Land, die aus geologischen Gründen (kristalliner Festgesteinsbereich) unterrepräsentiert sind.

## **2.2. Flächenbezogene Datenbasis**

### **2.2.1. Hydrogeologische Übersichtskarte (HÜK200)**

Das digitale Kartenwerk Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland im Maßstab 1:200000 (HÜK200) beschreibt die hydrogeologischen Eigenschaften der oberen, großräumig zusammenhängenden Grundwasserleiter in Deutschland und ist von den Staatlich Geologischen Diensten (SGD) unter Leitung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe erarbeitet worden. Thematisch werden die Grundwasserleiter durch fünf verschiedene Attribute - namentlich die Gesteinsart, die Verfestigung, die Hohlraumart, den geochemischen Gesteinstyp und die Durchlässigkeit - charakterisiert. Projektrelevant ist die allgemeine hydrogeologische Einordnung der kleinräumigen Einheiten und die jeweilige stratigrafische Information. Für dieses Projekt verwendet wurden Polygondaten (Version 2.5) mit dem Stand von Juni 2011. Die Daten sind original im Bezugssystem Gauß-Krüger 3°, Zone 4 (DHDN) dargestellt.

### **2.2.2. Hydrogeologische Bezugseinheiten Sachsen-Anhalt**

Die Hydrogeologische Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt im Maßstab 1:400000 (HÜK400) bildet die Grundlage für die vom LAGB im Jahr 2013 abschließend erstellten Karte zu den hydrogeologischen relevanten Bezugseinheiten (im Folgenden: BZE). Dabei wurde die räumliche und inhaltliche Abgrenzung der Bezugseinheiten unter Zuhilfenahme hydrogeochemischen Beschaffenheitsmustern durchgeführt, die im Rahmen von verschiedenen Projekten mit KONTA ermittelt worden waren (Fritz+Frölich, 2013). Jeder Messstelle, der in KONTA ein Muster der Grundwasserbeschaffenheit zugeordnet worden ist, kann auch eine hydrogeologische Bezugseinheit zugewiesen werden. Im Ergebnis konnte eine weitgehende Übereinstimmung in Hinsicht auf Lage und Einstufung zwischen den Klassen der Messstellen und den entsprechenden Flächen der neu definierten Bezugseinheiten festgestellt werden (Fritz+Frölich, 2013). Insgesamt wurden auf diese Weise für das Land Sachsen-Anhalt 14 Bezugseinheiten neu ausgewiesen, die in Tabelle 2-3 zusammengefasst sind.

Die flächenhafte Ausdehnung und Verbreitung der Bezugseinheiten ist in Abbildung 2-3 zusammen mit den wasserwegsamem Störungen (Datenquelle: LAGB) dargestellt.

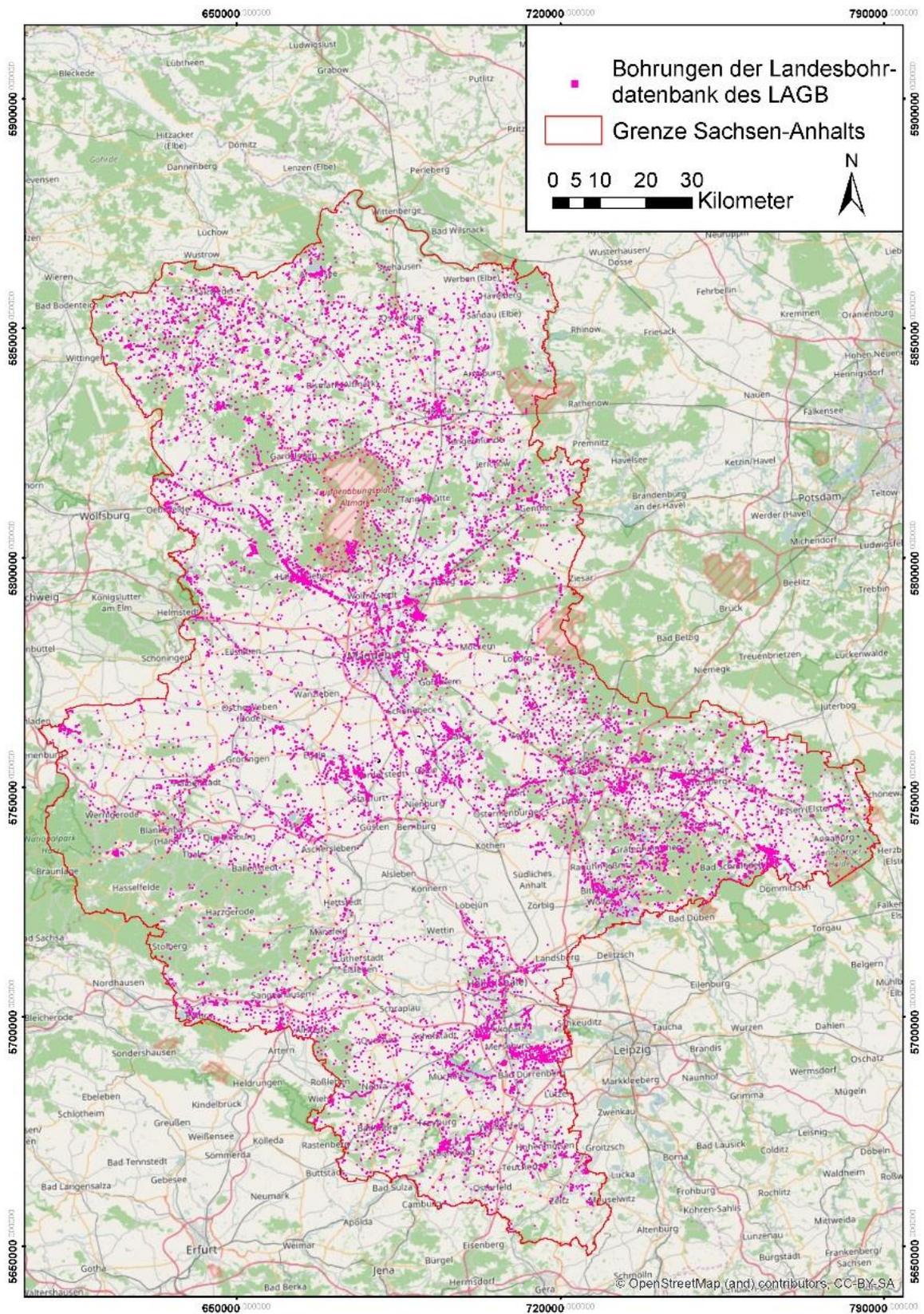


Abbildung 2-2 Kartografische Übersicht zu 24.268 Bohrungen im Grundwasserkataster , deren Schichtdaten aus der online verfügbaren Landesbohrdatenbank des LAGB2 verwendet werden konnten

<sup>2</sup> <https://lagb.sachsen-anhalt.de/service/geofachinformation/landesbohrdatenbank/>

Tabelle 2-3 Übersicht zu den hydrogeologischen Bezugseinheiten (BZE) des Landes Sachsen-Anhalt.

Die Bezugseinheiten sind auf Grundlage der HÜK400 neu definiert worden (die Nummer 3 ist historisch bedingt nicht belegt).

BZE	Kurzbezeichnung	Langlegende
1	Flussauen und Niederungen	GWL in glazifluviatilen und fluviatilen Sedimenten der Flussauen und Niederungen
2	Flussauen mit Auenlehmdecke	GWL in glazifluviatilen Sedimenten der Flussauen mit holozäner Auenlehm- oder organischer Decke
4	Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL	GWL in glazifluviatilen Sedimenten der Endmoränen und Sander ohne Deckschichten
5	Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL	GWL in glazifluviatilen Sedimenten der Endmoränen und Sander, weitgehend unter Geschiebemergelbedeckung
6	Tertiär	GWL in sandigen und schluffigen Sedimenten des Tertiärs
7	Muschelkalk	GWL in Kalk-, Dolomit und Mergelstein, z. T. unter pleistozäner Bedeckung, im Harz devonischer Kalkstein
8	Buntsandstein	GWL in Sand- und Schluffsteinen des Buntsandsteins, z. T. unter pleistozäner Bedeckung
9	Keuper, Jura, Kreide	GWL in Sand- und Schluffsteinen, z. T. Kalk- und Mergelsteinen von Keuper-, Jura- und Kreide
10	Zechstein	GWL in Karbonat- und Sulfatgesteinen des Zechsteins
11	Permokarbon	GWL in Sandsteinen und Konglomeraten des Permokarbon
12	Altpaläozoikum	GWL in altpaläozoische, metamorphe Gesteinen (Schiefer, Grauwacken, Quarzite, Metamorphite)
13	Saure Magmatite	GWL im Zersatz von Granit und Porphy
14	Basische Magmatite	GWL in basischen Ganggesteinen des Harzes
15	Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)	Großflächig und tiefgründig durch Abgrabung, Verkippung und diffusen Schadstoffeintrag veränderte hydrogeologische Verhältnisse

Der Norden und Osten des Landes ist den norddeutschen Lockergesteinsgebieten (BZE 1,2,4-6) zuzuordnen. Die für Sachsen-Anhalt bedeutsamen Grundwasservorkommen sind an die Sande und Kiese gebunden, die diesen Raum dominieren (LHW, 2012). Charakteristisch ist die Elbe-Niederung, welche größtenteils mit Auenlehm bedeckt ist, für diesen Landesteil. Insgesamt 64 Prozent der Landesfläche sind mit Lockergesteinen bedeckt (Abbildung 2-4). Im Süden und Westen überwiegen hingegen die Festgesteine (BZE 7-14). Diese gehören hydrogeologisch sowohl dem Großraum Mitteldeutsches Bruchschollenland, wie auch dem West- und mitteldeutsches Grundgebirge an.

Die Grundgebirge umfassen den Harz, sowie die Magdeburg-Flechtinger Hochlage. Die Festgesteine des Harzes bestehen im Wesentlichen aus Sauren Magmatiten (BZE 13) und Gesteinen, die hydrogeologisch dem Altpaläozoikum (BZE 12) zuzuordnen sind. Die Basischen Magmatiten (BZE 14) bilden sehr kleinflächige Gänge im Gestein ab. Auf diesen Flächen liegen daher nur zwei Messstellen („Rotesteinquelle“, „Kaltetalquelle“). In den zuletzt genannten Festgesteinen (BZE 12-14) sind keine ergiebigen Grundwasserleiter aufzufinden (LHW 2012). Dagegen gelten die Sand- und Kalksteine als wasserwirtschaftlich bedeutsam.

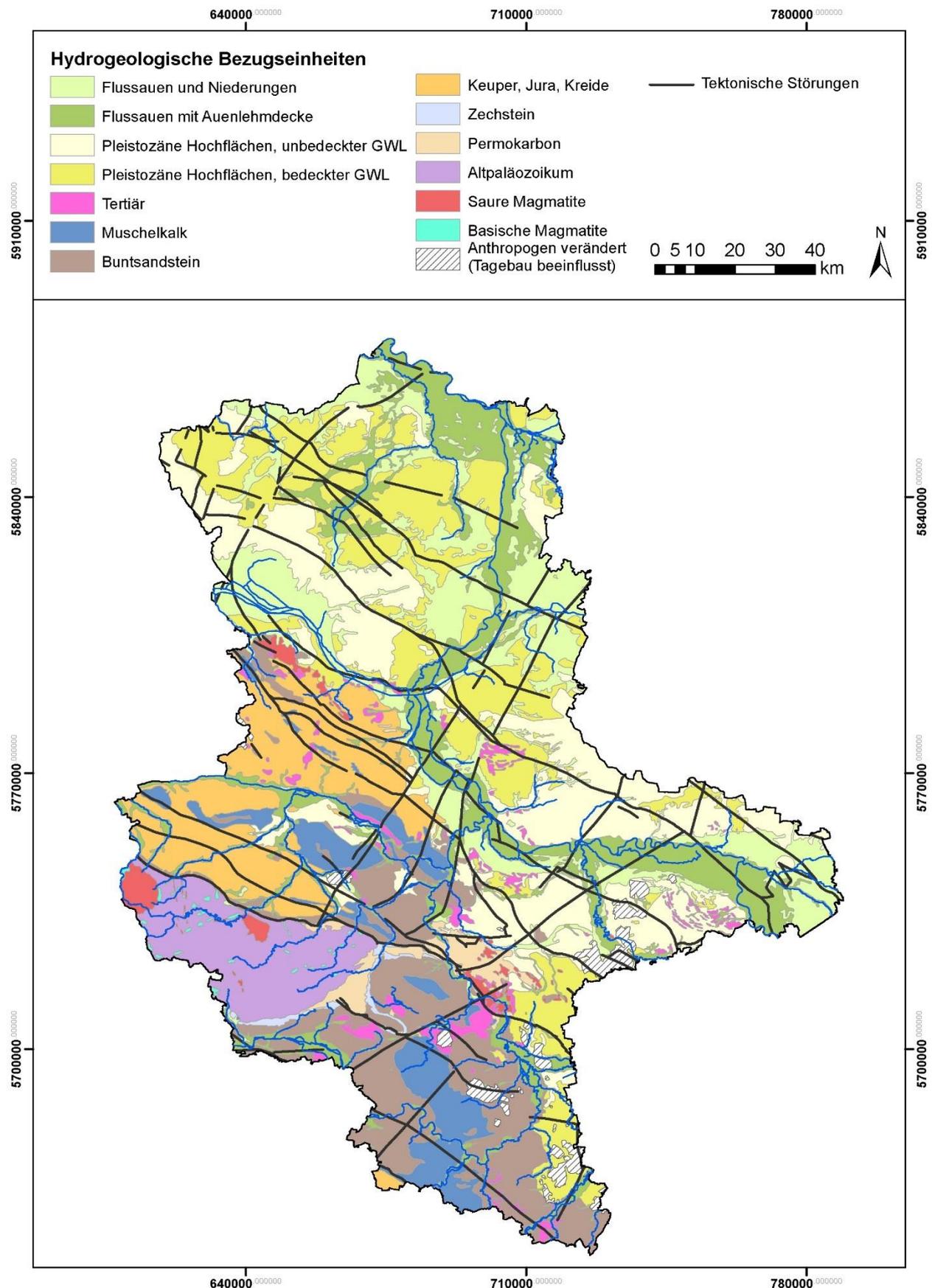
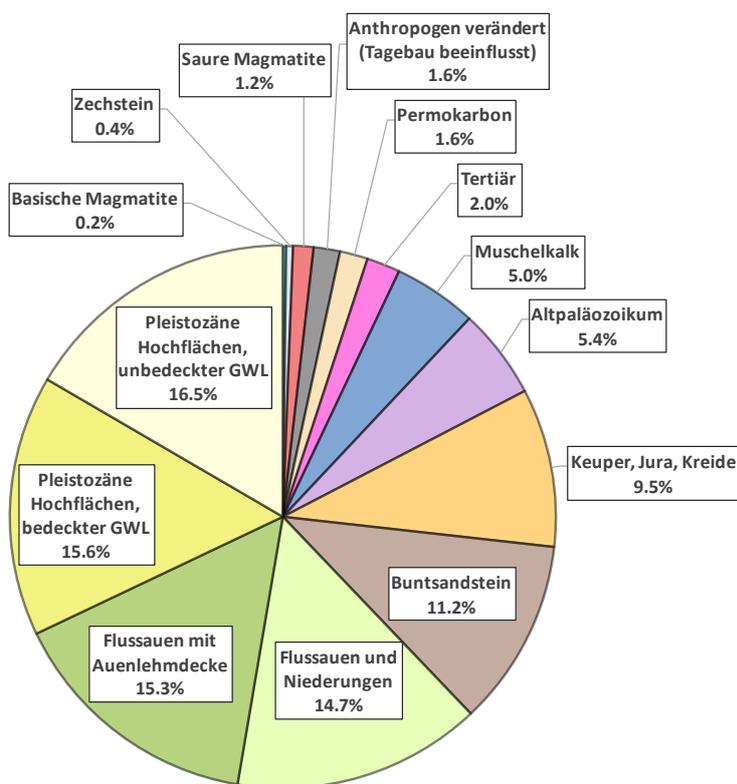


Abbildung 2-3 Hydrogeologische Bezugseinheiten Sachsen-Anhalt mit tektonischer Störungen  
(HÜK 400 LAGB)

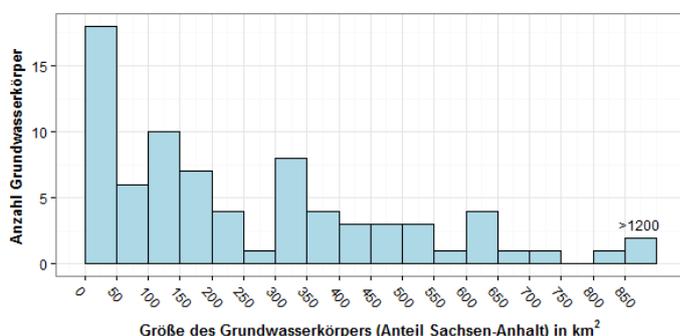


Eine Sonderstellung nimmt die Bezugseinheit „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ ein. Mit dieser Einheit werden Gebiete beschrieben, die großflächig und tiefgründig anthropogenen Veränderungen (Abgrabung, Verkippung und diffuse Schadstoffeinträge) unterzogen worden sind. Als Beispiele sind das Braunkohleabbaugebiet Geiseltal, das Bitterfelder Bergbaurevier und das Zeitz-Weißenfelser Braunkohlerevier anzuführen. Die hydrogeologischen Bezugseinheiten lagen als Polygondaten im Bezugssystem UTM Zone 32 N vor.

Abbildung 2-4 Prozentuale Flächenanteile der hydrogeologischen Bezugseinheiten (Bezogen sind die Anteile auf die Gesamtfläche Sachsens-Anhalts von 20554 km<sup>2</sup>)

### 2.2.3. Grundwasserkörper Sachsen-Anhalt

Für grundwasserbezogene Aufgaben im Rahmen der WRRL wurden deutschlandweit räumliche Bezugseinheiten, die sogenannten Grundwasserkörper, ausgewiesen. Ein Grundwasserkörper ist gesetzlich definiert als „abgegrenztes Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter“ (Richtlinie 2000/60/EG, 2000). Auf der Fläche des Landes Sachsen-Anhalt befinden sich, teils nur anteilig, insgesamt 80 Grundwasserkörper. Diese sind kartographisch in Abbildung 2-6 dargestellt.



Davon sind 35 Grundwasserkörper vollständig im Land und drei haben einen Flächenanteil, der geringer ist als 0.3 km<sup>2</sup>. Letzteres betrifft die Grundwasserkörper mit dem Code 4\_2109, EL 2-1 und SAL GW 035. Zwecks Vollständigkeit wurden auch für diese Grundwasserkörper Schwellenwerte abgeleitet. Abbildung 2-5 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Flächengrößen für die 77 relevanten

Abbildung 2-5 Häufigkeitsverteilung der Flächengrößen der 77 Grundwasserkörper

Grundwasserkörper. Zwei der Grundwasserkörper haben eine flächenhafte Ausdehnung von mehr als 1200 km<sup>2</sup> (GWK-Code: SAL GW 014, SAL GW 065). Die Grundwasserkörper wurden als digitale Polygondaten im Bezugssystem UTM Zone 32 N übergeben und beinhalteten Informationen zu der Bezeichnung der Grundwasserkörper (Code, Name) und der gesamten und anteiligen Flächengröße in km<sup>2</sup>.

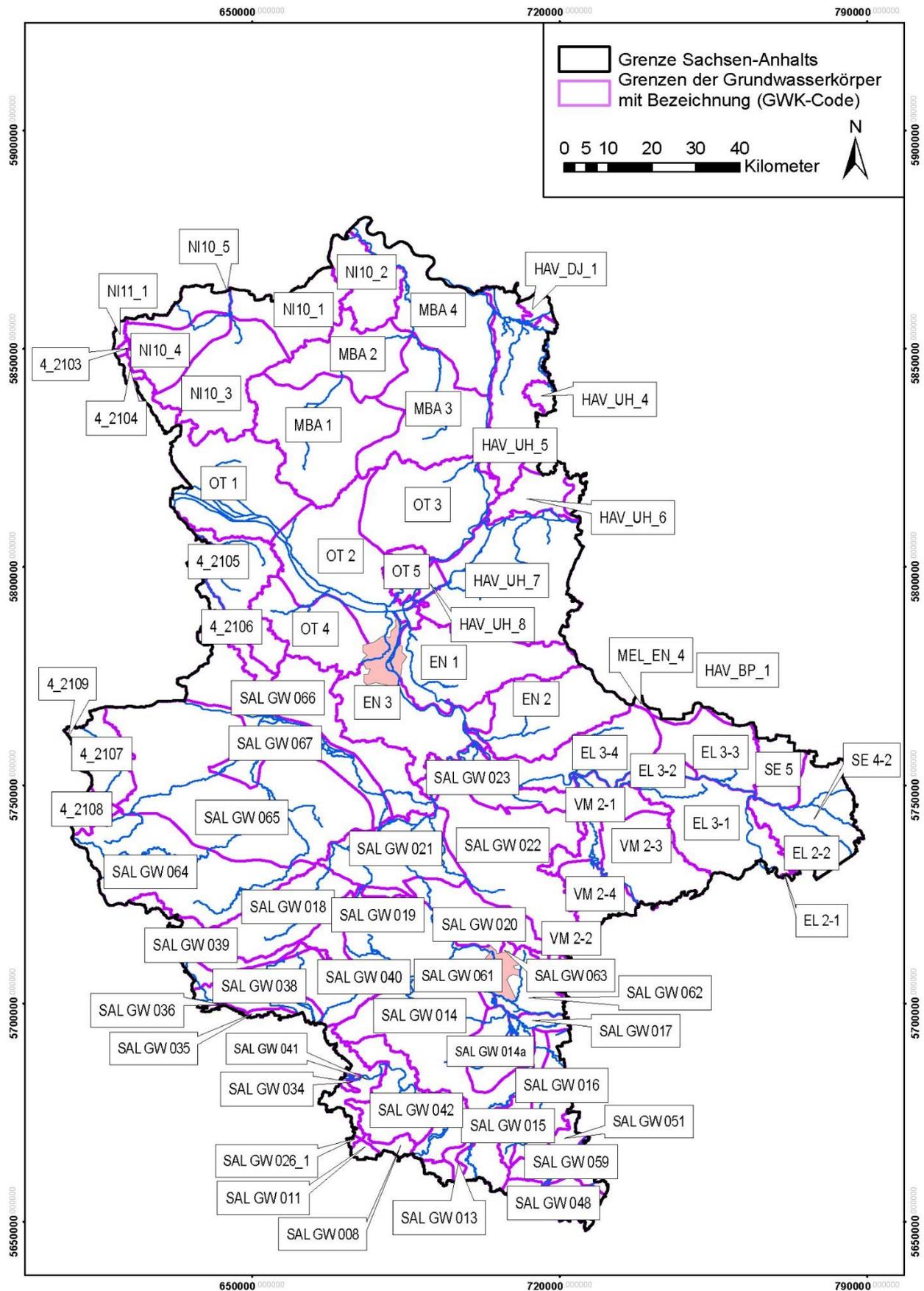


Abbildung 2-6 Kartografische Übersicht zu den Grundwasserkörpern des Landes Sachsen-Anhalt

### 3. Aufbereitung und Auswahl der Datenbasis

In diesem Kapitel wird die Aufbereitung und Auswahl der - zur Bestimmung der Hintergrundwerte auf Ebene der Bezugseinheiten und zur Ableitung der Schwellenwerte auf Ebene der Grundwasserkörper- relevanten Datenbasis erläutert. Die Ausgangsdaten sind im vorangegangenen Kapitel beschrieben worden. Die einzelnen Bearbeitungsschritte fanden teilweise parallel statt und bedingten sich gegenseitig. Deshalb greifen die einzelnen Abschnitte ineinander über. Zur besseren Nachvollziehbarkeit wird zunächst die Aufbereitung der Beschaffenheitsdaten beschrieben. Danach stehen die Stammdaten und die Aggregation beider Datensätze im Fokus. Darauf folgt eine Beschreibung der Untergliederung der Bezugseinheiten und der messstellenscharfen Zuordnung dieser, die von zentraler Bedeutung für die Bestimmung der Hintergrundwerte war. Schlussendlich mündete die Bearbeitung in einem durch die vorangegangenen Arbeiten selektiertem Beschaffenheits- und Stammdatensatz, der für die Hintergrundwertbestimmung mithilfe von Wahrscheinlichkeitsnetzen eingesetzt wurde. Eine Übersicht zu diesem Datensatz findet sich in Abschnitt 3.7. Alle Arbeitsschritte wurden in ArcGIS unter dem Bezugssystem UTM Zone 32N durchgeführten. Entsprechend wurden Geo-Daten, die original in anderen Bezugssystemen vorlagen, georeferenziert. Die CD in der Beilage enthält dazu alle Daten im shape- sowie QGIS-Layout-Format gemäß der GIS-Richtlinie des LHW.

#### 3.1. Aufbereitung der Beschaffenheitsdaten

Wie in Abschnitt 2.1.1 erläutert gab es fünf verschiedene Beschaffenheitsdatensätze in unterschiedlichen Formaten. Zunächst wurden aus den Beschaffenheitsdatensätzen die 49 Parameter ausgewählt, für welche ein Hintergrundwert abzuleiten war (s. Tabelle 2-1). Insgesamt ergab sich aufgrund der Parameterauswahl in der Datenbank beispielsweise eine Reduktion des Datensatzes um ungefähr 375.000 Einzelwerte und 50 Messstellen.

Oft lagen zu den einzelnen Parametern sowohl Angaben zur Gesamtkonzentration vor, als auch zu der Konzentration des gelösten Bestandteils. Diese Angaben wurden meist komplementierend zusammengefasst. In den Analysen gab es häufiger Angaben zu den Gesamtkonzentrationen als den gelösten Bestandteilen. In Fällen, bei denen sowohl Angaben zur Gesamtkonzentration, sowie zur gelösten Konzentration vorlagen, wurde der Maximalwert genommen. Auch für die Stoffgruppe Cyanide lagen Konzentrationen von drei verschiedenen Formen vor, so dass diese, wie oben erläutert, zu einem Parameter zusammengeführt wurden. Für den Parameter Eisen gab es sowohl Analysen von Gesamteisen, wie auch zweiwertigem Eisen. Eine Komplementierung der Daten des Gesamteisens durch zweiwertiges Eisen wurde nicht vorgenommen, da vor allem bei geringen Konzentrationen gravierende Konzentrationsunterschiede in einer Analyse festgestellt worden (s. Abbildung 3-1). Weil die Anzahl der Analysen des Gesamteisens gegenüber dem zweiwertigen Eisen weitaus höher war, wurde der Parameter Eisen nur durch das Gesamteisen vertreten. Insbesondere bei geringen Konzentrationen kommt es zu erheblichen Konzentrationsabweichungen innerhalb einer Analyse (s. Lupe in Abbildung 3-1). Eine Zusammenfassung dieser Parameter wurde daher nicht vorgenommen.

Mit einigen physikochemischen Parametern wurde wie folgt verfahren: die im Labor gemessenen pH-Werte und Sauerstoffgehalte wurden nur zur Komplementierung von in-situ-Werten genutzt. Der Parameter elektrische Leitfähigkeit lag unter anderem für unterschiedliche Temperaturen und als im Labor gemessen vor. Die Form des Parameters elektrische Leitfähigkeit, für die keine weiteren Angaben gegeben waren, lag in der Datenbank für die meisten Analysen vor.

Die Laborwerte wurden daher wiederum nur ergänzend genutzt. Die Leitfähigkeitswerte, die für Temperaturen von 20°C vorlagen, wurden mit einem Korrekturfaktor von 1.116 umgerechnet - unter der Annahme, dass die anderen Werte bei Temperaturen von 25°C ausgewertet worden sind (Hölting & Coldewey 2009). Von allen Werten mit spezifischer Temperaturangabe einer Analyse wurde ein Mittelwert gebildet, der dann auch komplementierend für den Parameter elektrische Leitfähigkeit eingesetzt wurde. Der Parameter Redoxspannung lag größtenteils in nicht korrigierter Form vor. Daher wurden diese Werte mit einem Korrekturfaktor von 239.1 mV zu Redoxpotentialen transformiert und gingen in dieser Form in die weiteren Auswertungen ein (Hölting & Coldewey, 2009). Eine zusammenfassende Übersicht dazu ist in der Anlage 1: Übersicht zu der Aggregation der Parameter zu finden.

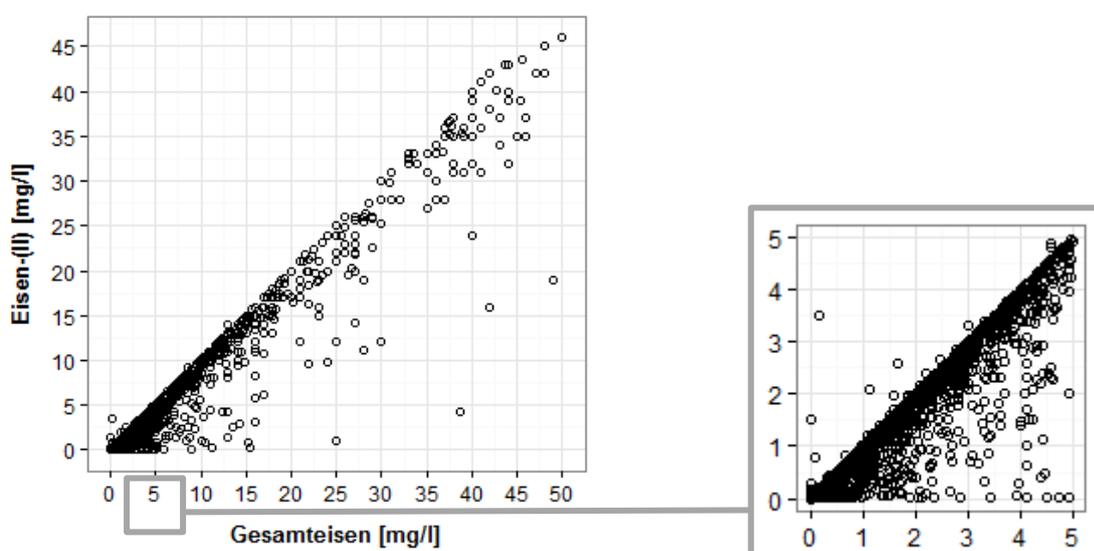


Abbildung 3-1 Verhältnis von den Konzentrationen von zweiwertigem Eisen zu Gesamteisen.

Im Anschluss zu der Parametersauswahl erfolgte an erster Stelle die Auswahl aller Analysen ab dem 01.01.2000. Dies ergab eine weitere Verringerung der Anzahl der Einzelwerte der Datenbank um ungefähr 385.600 und eine Reduktion der Messstellenanzahl um 4327. Bei dem Rohwasserdatensatz verringerte sich die Analyseanzahl um 100 und die Messstellenanzahl um eins. Danach wurde eine Homogenisierung der angegebenen Einheiten pro Parameter vorgenommen. Wie schon erwähnt, wurde zur Aufbereitung der Analysedaten aus der Datenbank eine bereits in der Datenbank implementierte Abfrage genutzt, welche alle Analysen eines Parameters automatisiert in eine ausgewählte sogenannte Mastereinheit überführt. Die Parameter und die jeweilige im Weiteren verwendete Einheit ist in der Tabelle 3-1 aufgeführt. Auch die Analysedaten aus den anderen Quellen wurden dieser parameterbezogenen Mastereinheit angepasst.

Im Zuge einer ersten oberflächlichen parameterbezogenen Plausibilitätsprüfung wurden Unstimmigkeiten bei der stoffspezifischen Umrechnung der Daten in Mastereinheiten in der datenbankinternen Abfrage festgestellt, welche nachgestellt korrigiert wurde. Dies betraf insgesamt 10327 Einzelwerte und davon insbesondere die Parameter Arsen, elektrische Leitfähigkeit und Mangan. Die Umrechnung wurde in diesen Fällen korrigiert. Die Anzahl der Analysen ist parameterbezogen in der

Tabelle 3-2 aufgeschlüsselt. Eine ausführliche Dokumentation der betreffenden Analysen der Datenbasis und angewandten Umrechnungsfaktoren ist in Anlage 2 zu finden.

Tabelle 3-1 Übersicht zu den Parametern und Einheiten (Analysen unterschiedlicher Einheiten eines Parameters wurden in eine sogenannte Mastereinheit überführt (für die Analysen der Datenbank wurde hierfür ein automatisiertes datenbankinternes Verfahren angewandt))

Parameter	Einheit	Parameter	Einheit	Parameter	Einheit
<b>AOX</b>	µg/l	<b>Fe</b>	mg/l	<b>Pb</b>	µg/l
<b>Ag</b>	µg/l	<b>GH</b>	°dH	<b>pH</b>	
<b>Al</b>	µg/l	<b>HCO<sub>3</sub></b>	mg/l	<b>PO<sub>4</sub></b>	mg/l
<b>As</b>	µg/l	<b>Hg</b>	µg/l	<b>Redox</b>	mV
<b>B</b>	µg/l	<b>K</b>	mg/l	<b>Sb</b>	µg/l
<b>Ba</b>	µg/l	<b>LF</b>	µS/cm	<b>Se</b>	µg/l
<b>Bi</b>	µg/l	<b>Li</b>	µg/l	<b>Si</b>	mg/l
<b>Br</b>	mg/l	<b>Mg</b>	mg/l	<b>Sn</b>	µg/l
<b>Ca</b>	mg/l	<b>Mn</b>	mg/l	<b>SO<sub>4</sub></b>	mg/l
<b>Cd</b>	µg/l	<b>Mo</b>	µg/l	<b>Sr</b>	mg/l
<b>Cl</b>	mg/l	<b>Na</b>	mg/l	<b>T</b>	°C
<b>CN</b>	mg/l	<b>NH<sub>4</sub></b>	mg/l	<b>TI</b>	µg/l
<b>Co</b>	µg/l	<b>Ni</b>	µg/l	<b>U</b>	µg/l
<b>Cr</b>	µg/l	<b>NO<sub>2</sub></b>	mg/l	<b>V</b>	µg/l
<b>Cu</b>	µg/l	<b>NO<sub>3</sub></b>	mg/l	<b>Zn</b>	µg/l
<b>DOC</b>	mg/l	<b>O<sub>2</sub></b>	mg/l		
<b>F</b>	mg/l	<b>P</b>	mg/l		

Tabelle 3-2 Parameterbezogene Übersicht zu der Korrektur der Umrechnung bei Einzelwerte

Parameter	Anzahl Einzelwerte	
<b>As</b>	926	Des Weiteren wurden weitere 5494 Einzelwerte aufgrund von fehlender Angabe einer Einheit entfernt. Eine Zusammenstellung zu den betroffenen Parametern befindet sich in Tabelle 3-3.
<b>Br</b>	26	
<b>CN</b>	611	Neben der Homogenisierung der Einheiten wurden alle Datensätze dahingehend bereinigt, dass Einzelwerte mit Nullwerten oder nicht eindeutig zuordenbaren Sonderzeichen (betraf v.a. die Datenbank) entfernt worden. Jeder Einzelwert, der in den Datensatz als kleiner der Bestimmungsgrenze gekennzeichnet worden war, wurde auch weiterhin als solcher geführt. Bei Einzelwerte, die für einen Parameter und ein Datum zweifach vorlagen, wurde nur der Maximalwert weiterhin mitgeführt.
<b>Co</b>	523	
<b>DOC</b>	725	
<b>F</b>	299	
<b>LF</b>	2474	
<b>Mn</b>	4743	

Nach der beschriebenen Aufbereitung standen von der Datenbank in summa 25.925 Analysen von insgesamt 3466 Messstellen und von dem Rohwasserdatensatz 2323 von insgesamt 247 Messstellen zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung. Die anderen Datensätze waren von einer Reduktion in Bezug auf Analysen- oder Messstellenanzahl nicht betroffen. Alle Datensätze wurden zwecks Aggregation in ein einheitliches Tabellenformat gebracht.

Tabelle 3-3 Parameterbezogene Übersicht zu der Entfernung von Einzelwerte aufgrund fehlender Angabe zur Maßeinheit

Parameter	Anzahl Einzelwerte	Parameter	Anzahl Einzelwerte
Al	8	Li	123
B	49	Mg	297
Ba	60	Mn	107
Br	186	Na	278
Ca	295	NH <sub>4</sub>	357
Cd	9	Ni	8
Cl	299	NO <sub>2</sub>	258
Co	8	NO <sub>3</sub>	158
Cr	8	O <sub>2</sub>	208
DOC	20	P	171
F	39	Pb	8
Fe	149	Redox	337
GH	68	Si	107
HCO <sub>3</sub>	278	SO <sub>4</sub>	299
K	462	Sr	197
LF	643		

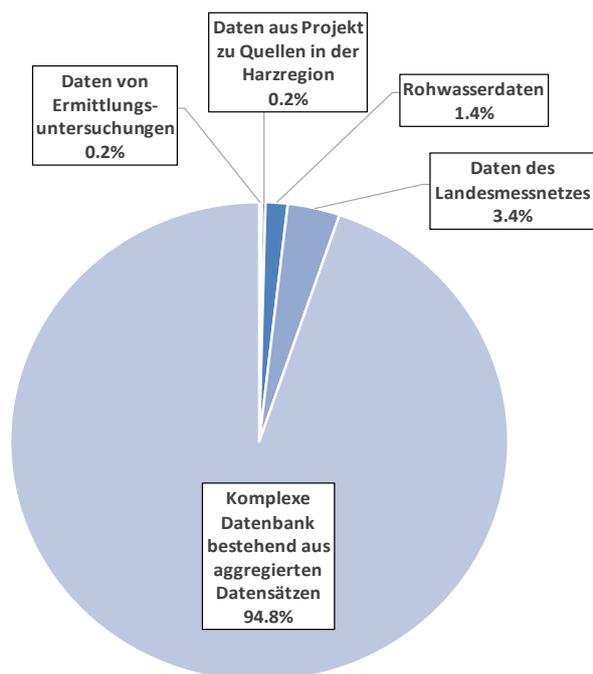
### 3.2. Aufbereitung der Stammdaten

Auch die verschiedenen Tabellenformate, in denen die Stammdaten bereitgestellt waren, wurden zunächst in ein einheitliches Format überführt. Ausgewählt für die weitere Bearbeitung wurden alle die unter Punkt 2.1.2 aufgezählten projektrelevanten Informationen. Insgesamt lagen Stammdaten für zirka 3900 Messstellen vor – Duplikatmessstellen sind an dieser Stelle noch inbegriffen. Aufgrund des fehlenden einheitlichen Identifikationsschlüssels wurde zum vereinfachten Datenmanagement jeder Messstelle eine projektinterne Identifikationsnummer zugewiesen. Messstellen mit Duplikaten wurden später unter einer Nummer zusammengefasst. Ein weiterer Schritt bei der Aufbereitung der Stammdaten war die Ermöglichung der Darstellung aller Stammdaten in dem Bezugssystem UTM Zone 32 N. Dafür musste der überwiegende Teil der Daten in ArcGIS georeferenziert werden. Darauf basierend wurden die Koordinaten für diese Messstellen neu berechnet. Danach fanden bei der Bearbeitung nur Koordinaten in dem Bezugssystem UTM Zone 32 N Verwendung. Die Stammdaten jeder Messstelle wurden um die Einträge zu der HÜK 200 und HÜK 400 an dem jeweiligen Punkt der Messstelle ergänzt. Diese Informationen wurden über die Koordinatenangaben in ArcGIS ermittelt. Bedeutend für die weitere Arbeit waren bei der HÜK 200 der so genannte Eintrag „BezHe“ und bei der HÜK 400 der Eintrag „Kurzbezeic“.

### 3.3. Aggregieren der Beschaffenheits- und Stammdaten

Auf die vorab beschriebene Aufbereitung der Beschaffenheits- und Stammdatensätze folgte deren Aggregation. Zunächst wurden die Analysedaten über verschiedene Identifikationsnummern oder auch den Messstellennamen mit den dazugehörigen Stammdaten verknüpft. Problematisch erwies sich dabei, dass die Messstellen nicht über einen eindeutigen und einheitlichen Schlüssel identifiziert werden konnten. Denn dies erschwerte beim Zusammenführen der Datensätze das Eliminieren von

Analysen, die redundant vorlagen. Aus der Aggregation resultierte eine Tabelle, die 27348 Analysen umfasste und Stammdaten von 3936 Messstellen. Der prozentuale Anteil der Teildatenbestände ist für den aggregierten Beschaffenheitsdatensatz in der Abbildung 3-2 dargestellt. Während der Aggregation ergab der Abgleich der Daten aus den Ermittlungsuntersuchungen, dem Projekt zu Quellen in der Harzregion und den Rohwasserdaten mit den Daten der Datenbank, dass mehr als die Hälfte dieser Analysen bereits in der Datenbank integriert war; zu der Datenbank identische Analysen wurden gelöscht.



Auf Grundlage der Stammdaten konnten insgesamt 360 Duplikatmessstellen identifiziert werden. Diese wurden einerseits anhand der datenbankinternen Identifikationsnummer „id\_MST\_XYZ“ selektiert. Andererseits wurde die Selektion auch manuell vorgenommen – hier wurden beispielsweise Messstellen mit gleicher Nummer, aber unterschiedlichen Namen genauer analysiert. Schließlich wurden die Stammdaten von Duplikaten komplementierend zusammengefasst und die Messstellen wurden unter einer Projekt-ID zusammengeführt. Aus dieser Zusammenfassung resultierende identische Analysedaten wurden eliminiert.

Außerdem wurden die Messstellen einer projektbezogenen Eignungsprüfung unterzogen. Ausschlaggebend für eine Eignung waren:

Abbildung 3-2 Prozentuale Anteile der Teildatensätze des aggregierten Beschaffenheitsdatensatzes

- Zugehörigkeit zum Grundwassermessnetz
- Vorhandensein von Koordinaten zwecks hydrogeologischer Einordnung
- Lage innerhalb der HÜK 200 und der Karte zu den Hydrogeologischen Bezugseinheiten Sachsen-Anhalts

Als ungeeignet erwiesen sich insgesamt 214 Messstellen. Mehr als ein Drittel dieser Messstellen gehörte dem Messnetz der oberirdischen Gewässer an. Gemeinsam mit den Stammdaten dieser Messstellen wurden auch die zugehörigen zirka 7000 Analysen eliminiert. Demnach diente als Grundlage für die Plausibilitätsprüfung ein Beschaffenheitsdatensatz, der aus 17.510 Analysen von 3207 verschiedenen Messstellen bestand.

### 3.4. Plausibilitätsprüfungen der Beschaffenheitsdaten

Im Anschluss an die Aggregation zu einem einheitlichen Datensatz wurden die Beschaffenheitsdaten einer stufenweisen Plausibilitätsprüfung unterzogen. An erster Stelle wurden Einzelwerte anhand von recherchierten parameterbezogenen Spannweiten auf Plausibilität geprüft. Werte unterhalb der Bestimmungsgrenzen wurden einer zweiten separaten Plausibilitätsprüfung unterzogen. An dritter Stelle wurde eine analysebezogene Prüfung durchgeführt. Hier war ein niedriger Ionenbilanzfehler ausschlaggebend für eine weitere Verwendung der Daten.

### 3.4.1. Einzelwertbezogene Plausibilitätsprüfung der Beschaffenheitsdaten

#### 3.4.1.1. Generelle einzelwertbezogene Plausibilitätsprüfung

Für die allgemeine einzelwertbezogene Plausibilitätsprüfung wurden für jeden Parameter Plausibilitätsgrenzen festgelegt. Die Spannweiten orientierten sich an Minimal- und Maximalwerten die in geeigneten, nationalen oder landesweiten hydrogeochemischen Berichten zu finden waren (z. B. Kunkel et al. 2004; Wagner et al., 2003). In der Regel sind Einzelwerte, die sich um mehr als eine Größenordnung nach oben, wie nach unten von der oberen beziehungsweise unteren Plausibilitätsgrenze unterschieden, aus dem Datensatz eliminiert worden. Die untere Plausibilitätsgrenze wurde nachgeschaltet durch eine Plausibilitätsprüfung von Werten kleiner der Bestimmungsgrenze korrigiert. Dazu sei auf Abschnitt 3.4.1.2 verwiesen. Im Ergebnis der Prüfung wurden im Mittel 0,7 % der Einzelwerte pro Parameter entfernt. Bei den Parametern Nickel, Bismut, Bor, Bromid, Eisen, Silizium sowie Strontium waren sogar mehr als 1 % der Einzelwerte von der Eliminierung betroffen. In Tabelle 3-4 sind die Plausibilitätsgrenzen und das Ergebnis der Plausibilitätsprüfung für jeden Parameter zusammengestellt. Dargestellt sind außerdem die Minima und Maxima der Parameter nach der Prüfung und der prozentuale Anteil der entfernten Werte in Bezug auf die Gesamtanzahl der Analysewerte pro Parameter.

Tabelle 3-4 Parameterbezogene Übersicht zu der einzelwertbezogenen Plausibilitätsprüfung

Parameter	Einheit	Untere Plausibilitätsgrenze	Obere Plausibilitätsgrenze	Minimum	Maximum	Anteil unplausible Werte [%]
AOX	µg/l	2	400	0,005	1400	0,42
Ag	µg/l	0,003	3,1	0,001	6	0,13
Al	µg/l	0,2	734,3	0,015	9850	0,12
As	µg/l	0,013	73	0,001	950	0,09
B	µg/l	0,368	2838	0,05	10000	1,21
Ba	µg/l	0,02	893	0,025	3800	0,75
Bi	µg/l	0,002	10,62	0,001	0,009	10,00
Br	mg/l	0,17	37,9	0,01	16,3	3,59
Ca	mg/l	0,01138	1671	0,1	8540	0,04
Cd	µg/l	0,002	6,76	0,0005	74	0,61
Cl	mg/l	0,2	23000	0,25	239300	0,02
CN	mg/l	0,001	0,01	0,00025	0,08	1,64
Co	µg/l	0,001	99,22	0,006	130	0,46
Cr	µg/l	0,048	35,89	0,01	83	0,72
Cu	µg/l	0,013	607,2	0,0005	1000	0,56
DOC	mg/l	0,5	50	0,025	141	0,07
Fe-ges,	mg/l	0,00004	28	0,000005	416	0,15
Fe-gel,	mg/l	0,07	9,88	0,005	6,2	1,04
GH	°dH	0,278	335	0,1	2620	-
HCO <sub>3</sub>	mg/l	4	2097	0,15	2677,9	0,02
Hg	µg/l	0,007	241,1	0,00005	100	0,02
K	mg/l	0,00096	496	0,005	46800	0,02
LF	µS/cm	-	40000	0,3	268000	0,04
Li	µg/l	0,011	21300	0,4	28	-

Parameter	Einheit	Untere Plausibilitätsgrenze	Obere Plausibilitätsgrenze	Minimum	Maximum	Anteil unplausible Werte [%]
Mg	mg/l	0,00312	440	0,1	29600	-
Mn	mg/l	0,000004	7,24	0,000005	40	0,04
Mo	µg/l	0,015	15,63	0,004	46	-
Na	mg/l	0,00037	14700	0,1	137000	0,01
NH <sub>4</sub>	mg/l	0,01	24	0,002	240	-
Ni	µg/l	0,035	87,5	0,0025	610	1,26
NO <sub>2</sub>	mg/l	0,01	2,39	0,0005	8,21	0,02
NO <sub>3</sub>	mg/l	0,01	500	0,005	1200	0,02
O <sub>2</sub>	mg/l	-	14,2	0,01	36,1	0,03
P	mg/l	0,01	7	0,001	13,7	0,15
Pb	µg/l	0,005	56	0,001	649	0,75
pH		4,7	9,2	4	10	0,16
PO <sub>4</sub>	mg/l	0,031	21,5	0,001	42	0,16
Redox	mV	-138	506	-451	845	-
Sb	µg/l	0,008	18,39	0,001	530	-
Se	µg/l	0,396	246,5	0,01	204	0,09
Si	mg/l	0,32	53,61	0,01	42	2,76
Sn	µg/l	0,008	9,274	0,01	25	-
SO <sub>4</sub>	mg/l	0,99	4790	0,05	32200	0,01
Sr	mg/l	0,00003	28	0,000005	90	5,24
T	°C	-	64,8	1,2	22	0,01
Tl	µg/l	0,001	96,33	0,001	304	-
U	µg/l	0,0005	220	0,001	260	-
V	µg/l	0,007	88,11	0,005	50	0,03
Zn	µg/l	0,025	2352	0,0019	9600	0,37

### 3.4.1.2. Plausibilitätsprüfung der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenzen

Eine große Bedeutung bei der Ableitung der Hintergrundwerte kommt den Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze zu. Deren Anzahl ist bei der Arbeit mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz entscheidend und fällt insbesondere bei der Ableitung der Hintergrundwerte für Spurenelemente ins Gewicht. An dieser Stelle sei erwähnt, dass alle Parameter aufgrund des heterogenen Datensatzes unterschiedliche Bestimmungsgrenzen aufwiesen. Auch die Häufigkeit mit der eine parameterbezogene Bestimmungsgrenze im Datensatz vorkam, war verschieden. Dies soll am Beispiel Kupfer verdeutlicht werden. Die Häufigkeit des Auftretens der verschiedenen Bestimmungsgrenzen ist Tabelle 3-5 zu entnehmen.

Um unplausible Bestimmungsgrenzen auszuschließen, wurden alle Werte, die als kleiner der Bestimmungsgrenze gekennzeichnet waren, parameterbezogen einer separaten Prüfung unterzogen. Auch hier wurden untere und obere Plausibilitätsgrenzen festgelegt und alle Werte außerhalb dieser Grenzen eliminiert. Positivfunde wiederum, die kleiner der unteren Plausibilitätsgrenze für Bestimmungsgrenzen waren, wurden auch als unplausibel eingestuft und entsprechend aus dem Datensatz entfernt.

Für die Festlegung der Plausibilitätsgrenzen wurden verschiedene Dokumentationen über Bestimmungsmethoden mit Angaben zur unteren Grenze des Anwendungsbereiches konsultiert (u.a. Wagner et al.; 2003, LAWA, 2004). Aufgrund des Alters dieser Dokumentationen und der Weiterentwicklung der Laboranalytik in den vergangenen Jahren dienten die angegebenen Anwendungsgrenzen nur als Richtwerte. Für die Festlegung der Plausibilitätsgrenzen waren Häufigkeitsverteilungen ausschlaggebend: Sowohl kleinere, als auch größere Bestimmungsgrenzen eines Parameters wurden als unplausibel angenommen, wenn diese Bestimmungsgrenzen nur eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Analysen betraf. Vor allem sehr hohe Bestimmungsgrenzen sind bei der Arbeit mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz Störfaktoren und wurden daher großzügig entfernt.

Tabelle 3-5 Verschiedenheit der Bestimmungsgrenzen am Beispiel Kupfer (die unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen sind der Heterogenität des Datensatzes geschuldet)

Bestimmungsgrenzen [ $\mu\text{g/l}$ ]	Häufigkeit	Bestimmungsgrenzen [ $\mu\text{g/l}$ ]	Häufigkeit
<b>0.001</b>	6	<b>3</b>	48
<b>0.002</b>	4	<b>4</b>	5
<b>0.004</b>	1	<b>5</b>	197
<b>0.005</b>	1	<b>10</b>	370
<b>0.03</b>	6	<b>15</b>	6
<b>0.04</b>	1	<b>20</b>	145
<b>0.2</b>	1	<b>30</b>	18
<b>0.3</b>	8	<b>50</b>	17
<b>1</b>	2198	<b>100</b>	16
<b>2</b>	2966	<b>1000</b>	2

Eine Übersicht zu den Plausibilitätsgrenzen, den Richtwerten aus der Literatur und dem prozentualen Anteil der entfernten Werte ist in Tabelle 3-6 dargestellt. Teils lagen die in der Literatur angegebenen Anwendungsgrenzen niedriger als die in dem Datensatz vorkommenden Bestimmungsgrenzen (z.B. bei Aluminium). In anderen Fällen wurde die untere Plausibilitätsgrenze niedriger angesetzt als aus der Literatur ersichtlich: Dies betraf nur Fälle, in denen geringe Abweichungen zwischen den Richtwerten und Bestimmungsgrenzen des Datensatzes festzustellen waren. Hier wurde die Annahme getroffen, dass sich die Bestimmungsgrenzen in den letzten Jahren nach unten verschoben haben.

Tabelle 3-6 Parameterbezogene Übersicht zu der Plausibilitätsprüfung von Werten unterhalb der Bestimmungsgrenzen

(dargestellt sind die unteren und oberen Plausibilitätsgrenzen und die von der Literatur vorgegebenen Richtwerte: der prozentuale Anteil der entfernten Werte ist der letzten Spalte zu entnehmen)

Parameter	Einheit	Untere Plausibilitätsgrenze	Obere Plausibilitätsgrenze	Richtwert gemäß Literatur	Anteil unplausibler Werte [%]
<b>AOX</b>	µg/l	1	10	1	1,125
<b>Ag</b>	µg/l	0,002	1	Grenze nicht belegt	4,731
<b>Al</b>	µg/l	2	50	0,05	0,648
<b>As</b>	µg/l	0,01	10	0,013	0,217
<b>B</b>	µg/l	0,5	100	0,368	0,450
<b>Ba</b>	µg/l	0,05	10	0,029	0,482
<b>Ca</b>	mg/l	-	-	Vorkommen Werte < BG unplausibel	0,006
<b>Cd</b>	µg/l	0,001	3	0,001	0,993
<b>CN</b>	mg/l	0,001	0,05	Grenze nicht belegt	0,075
<b>Co</b>	µg/l	0,001	10	0,001	0,443
<b>Cr</b>	µg/l	0,05	50	0,02	0,053
<b>Cu</b>	µg/l	0,005	50	0,005	0,420
<b>DOC</b>	mg/l	0,2	10	Grenze nicht belegt	0,110
<b>F</b>	mg/l	0,04	1	0,05	1,448
<b>Fe</b>	mg/l	0,001	0,2	0,005	0,024
<b>GH</b>	°dH	-	-	Vorkommen Werte < BG unplausibel	0,089
<b>HCO<sub>3</sub></b>	mg/l	1	5	Grenze nicht belegt	0,015
<b>Hg</b>	µg/l	0,001	1	0,001	1,655
<b>K</b>	mg/l	0,5	2,5	0,1	0,007
<b>Mn</b>	mg/l	0,00001	0,05	0,000004	0,197
<b>Mo</b>	µg/l	0,5	10	0,015	0,980
<b>Na</b>	mg/l	-	-	Vorkommen Werte < BG unplausibel	0,006
<b>NH<sub>4</sub></b>	mg/l	0,01	0,1	0,01	0,398
<b>Ni</b>	µg/l	0,035	20	0,035	0,593
<b>NO<sub>2</sub></b>	mg/l	0,001	0,5	0,001	0,060
<b>NO<sub>3</sub></b>	mg/l	0,05	5	0,05	0,058
<b>P</b>	mg/l	0,003	2	Grenze nicht belegt	0,054
<b>Pb</b>	µg/l	0,005	10	0,005	2,859
<b>PO<sub>4</sub></b>	mg/l	0,005	0,5	Grenze nicht belegt	0,193
<b>Sb</b>	µg/l	0,002	5	0,002	2,008
<b>Se</b>	µg/l	0,01	10	Grenze nicht belegt	0,033
<b>Si</b>	mg/l	-	-	Vorkommen Werte < BG unplausibel	0,183
<b>Tl</b>	µg/l	0,004	0,5	0,001	0,038
<b>V</b>	µg/l	0,01	10	0,007	0,192
<b>Zn</b>	µg/l	0,005	100	0,001	0,025

### 3.4.1.3. Sonderfall: Deutlich erhöhte Chlorid- und Sulfatwerte

Auch nach der durchgeführten Plausibilitätsprüfung waren im Datensatz verhältnismäßig hohe Chlorid- und Sulfatwerte (Mittelwerte  $\text{Cl} > 500 \text{ mg/l}$  und  $\text{SO}_4 > 1000 \text{ mg/l}$ ) bei einzelnen Messstellen auffällig. Teils waren die Analysen der Messstellen auch durch hohe Konzentrationen bei anderen Hauptparametern gekennzeichnet. Die Lokalisation dieser Messstellen gab Aufschluss über die Ursache für die „extremen“ Konzentrationen (s. Abb. 3.3). Markante Ballungsgebiete sind beispielsweise das Kaliwerk Zielitz (Markierung 1) und das ehemalige Braunkohleabbaugebiet Geiseltal (Markierung 2), die anthropogen verursachte Erhöhungen von Chlorid- und Sulfatkonzentrationen repräsentieren. Geogener Natur sind zum Beispiel die Salzquellen bei Hecklingen (Markierung 3).

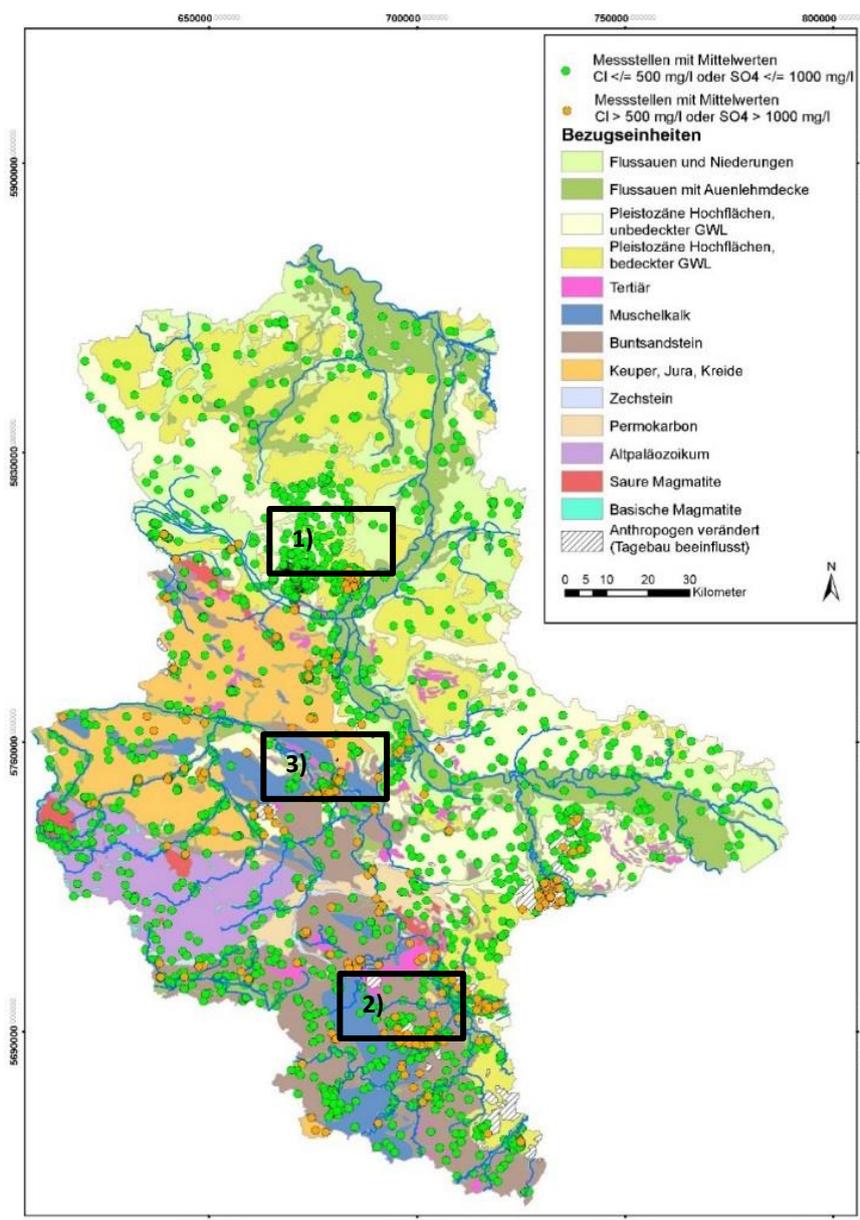


Abbildung 3-3 Messstellen mit mittleren Chlorid- und Sulfatkonzentrationen.

Im Allgemeinen kann man ein Konzentrationsgefälle von Nord nach Süd feststellen, welches geogen bedingt durch die Verbreitung von Lockergesteins- und Festgesteinsgebieten hervorgerufen wird. Diesem hydrochemischen Unterschied wird in der Untergliederung der hydrogeologischen Bezugseinheiten Rechnung getragen (s. Kapitel 3.6.4).

Darüber hinaus gibt es „Ballungsgebiete“ in Grundwasserkörpern mit hoch mineralisierten Wässern: Insbesondere sind davon Grundwasserleiter in Tagebau beeinflussten Regionen betroffen. Als Beispiele seien das Geiseltal und das Kaliwerk Zielitz genannt. Hier gibt es unter anderem Halden mit mineralisch verunreinigtem Steinsalz, deren Grundwasserbeeinflussung durch die hohen Konzentrationen der Hauptparameter widergespiegelt wird. Sowohl für die vom Tagebau beeinflussten

Gebiete, deren Flächen größtenteils durch die BZE „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ (BZE 15) abgedeckt werden, als auch für die Region Zielitz sind gesonderte Regelungen zur weiteren

Verarbeitung der Analysendaten der dort anzutreffenden Messstellen getroffen worden. Die Verfahrensweise mit Messstellen in und um die BZE 15 wird in dem Abschnitt 3.6.3 näher erläutert.

Um das Kaliwerk Zielitz wurde eine Zone mit einem Radius von 6 km festgelegt. Innerhalb dieser Zone befinden sich alle Messstellen, bei denen eine Beeinflussung durch die Steinsalzhalde aufgrund erhöhter Chlorid- und Sulfatwerte nicht auszuschließen ist. Modellrechnungen belegen, dass große Mengen an durch Niederschlag gelöstem Salz in den Untergrund gelangen und sich dort, vor allem in den östlichen und südlichen Gebieten der Halden, Salzfahnen ausbreiten (LAGB, 2007). In Abstimmung mit dem LHW wurde für den Parameter Chlorid der Schwellenwert 100 mg/l und für den Parameter Sulfat der Schwellenwert 250 mg/l festgelegt. Bei Überschreitung einer dieser Schwellenwerte durch die Mittelwerte der Analysen der Messstellen in der 6-km-Zone wurden die entsprechenden Messstellen von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen, da deren Analysen nicht den geogenen Hintergrund der Region aufzeigen. Die Schwellenwerte orientieren sich an den Hintergrundwerten, die 2008 für die tieferen quartären Grundwasserleiter im Nordraum ausgewiesen worden waren (HYDOR, 2008). Für Chlorid bewegten sich deren Spannweiten zwischen 50 und 60 mg/l und für Sulfat zwischen 100 bis 120 mg/l. Insgesamt sind von dieser Präselektion, welche für die Ableitung von Hintergrundwerten ungeeignete Messstellen auswählt, 161 Messstellen betroffen. Die Verteilung der Messstellen mit Schwellenwertüberschreitungen in dem Gebiet Zielitz ist in der Abbildung 3-5 dargestellt.

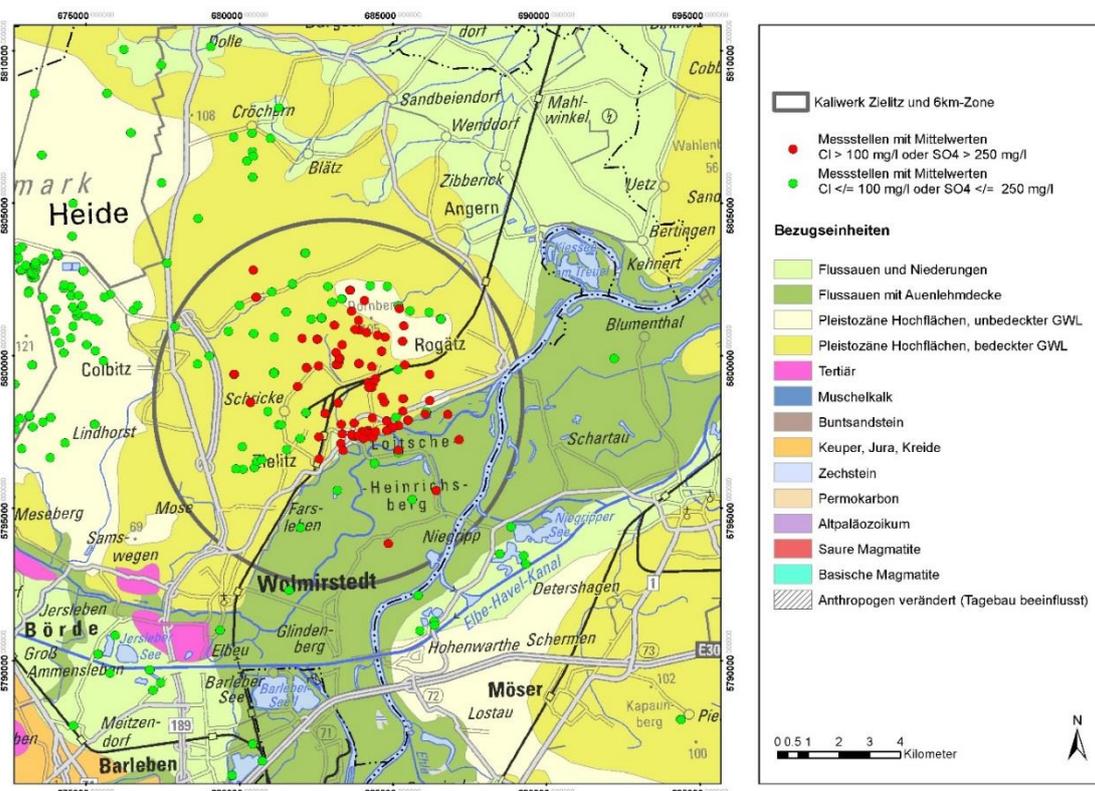


Abbildung 3-5 Messstellen mit Schwellenwertüberschreitung für Chlorid und Sulfat in der 6km-Zone um das Kaliwerk Zielitz

(durch Niederschlag gelöstes Salz der Steinsalzhalde in Zielitz wird in das Grundwasser verlagert)

Zudem gab es sieben Messstellen, die auf Wunsch des Auftraggebers aufgrund ihrer hohen Konzentrationen der Hauptparameter als für die Ableitung von Hintergrundwerten ungeeignet eingestuft worden.

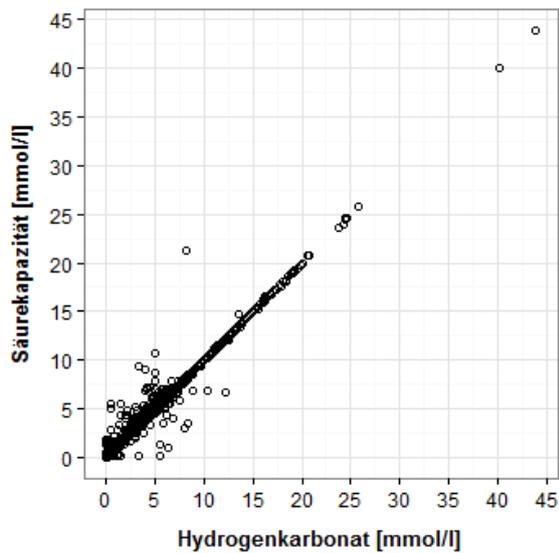
Dies betrifft folgend Messstellen des Landesmessnetzes: Aseleben UP, Aseleben OP, Hornhausen 2, Teutschenthal Westhalde, Teutschenthal Osthalde, den Schlüsselstollen und Seegen Gottes Stollen.

Neben den erwähnten deutlich anthropogen überprägten Flächen gibt es jedoch auch nachweislich geogen bedingte Erhöhung der Konzentrationen der Hauptparameter, die von der regionalen geogenen Hintergrundkonzentration abweichen. Erwähnenswert sind beispielsweise die Binnensalzstellen bei Hecklingen, die aufgrund der Solequellen, Salzwiesen und -weiden zum Naturschutz- und FHH-Gebiet ausgewiesen worden sind. Die Messstellen weisen gemittelte Chloridkonzentrationen zwischen 1310 und 11700 mg/l, sowie gemittelte elektrische Leitfähigkeiten zwischen 6080 und 33800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf. Solche Messstellen wurden nicht aus dem Datensatz entfernt, da ihre Analysen eine geogene Anomalie darstellen, die mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes (Probnets, Walter 2008) identifiziert und selektiert werden kann.

### **3.4.2. Analysebezogene Plausibilitätsprüfung des Beschaffenheitsdatensatzes**

Zunächst wurde der gesamte Beschaffenheitsdatensatz anhand von den Zusammenhängen zwischen Säurekapazität und Hydrogenkarbonat, sowie zwischen Ortho-Phosphat-Phosphor und Gesamtphosphor auf Plausibilität untersucht.

Der Zusammenhang zwischen Säurekapazität und Hydrogenkarbonat besteht darin, dass zur Bestimmung von Hydrogenkarbonat zunächst die Säurekapazität ermittelt werden muss. Die Säurekapazität beschreibt das Verhältnis der Stoffmenge an Hydroniumionen, die eine entsprechende Menge Wasser bis zum Erreichen eines bestimmten pH-Wertes aufnehmen kann, zu deren Volumen. Zur Bestimmung der Säurekapazität ( $KS_{4,3}$ ) wird Salzsäure der Konzentration 0.1 mol/l in die Grundwasserprobe, die zuvor mit einer Indikatorlösung versetzt worden ist, bis zum Farbumschlag titriert. Aus der Menge an titrierter Salzsäure kann die Konzentration von Hydrogenkarbonat berechnet werden. Der Zusammenhang zwischen den Parametern ist linear. Die Säurekapazität selbst zählte zwar nicht zu den Parametern, zu denen Hintergrundwerte abgeleitet worden. Dennoch wurden für die Untersuchung dieses Zusammenhangs alle Analysen des „unbereinigten“ Datensatzes (Status vor einzelwertbezogener Plausibilitätsprüfung) ausgewählt, zu denen Werte zur Säurekapazität und zu Hydrogenkarbonat vorlagen. Der lineare Zusammenhang wird durch die 14245 Analysen des gegebenen Beschaffenheitsdatensatz bestätigt und spricht allgemein für die Güte der Beschaffenheitsdaten (Abbildung 3-6).



Auch der Zusammenhang zwischen Ortho-Phosphat-Phosphor und Gesamtphosphor kann Aufschluss über die Güte der Laboranalysen geben. Gesamtphosphor setzt sich aus dem anorganisch gelösten Ortho-Phosphat, gelösten organischen Phosphorverbindungen und dem partikulären Phosphor zusammen. In der Regel sollte die Konzentration von Ortho-Phosphat-Phosphor im Grundwasser den größten Anteil von Gesamtphosphor stellen. Von 5728 Analysen, bei denen sowohl positive Werte zu Ortho-Phosphat-Phosphor, wie auch Gesamtphosphor vorlagen, bildet Ortho-Phosphat-Phosphor im Mittel 61 % der Gesamtphosphorkonzentration.

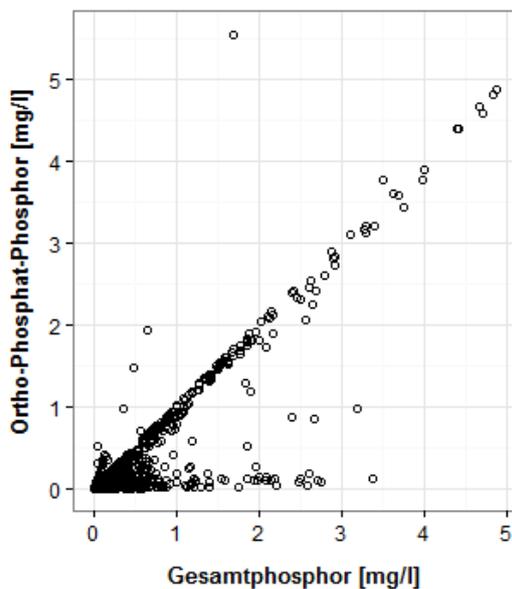
Abbildung 3-6 Lineare Korrelation zwischen Hydrogenkarbonat und der Säurekapazität ( $KS_{3,4}$ ). Dargestellt sind die Messwerte von insgesamt 14245 Analysen des „unbereinigten“ Beschaffenheitsdatensatzes.

Betrachtet man vergleichend nur die 555 Analysen des Landesmessnetzes aus dem Zeitraum 2015 bis 2016 beträgt der prozentuale Anteil des Ortho-Phosphat-Phosphors vom Gesamtphosphor durchschnittlich 71 %. Grafisch dargestellt ist die Gegenüberstellung von Ortho-Phosphat-Phosphor und Gesamtphosphor in der Abbildung 3-7. Bei der Darstellung berücksichtigt sind 5706 Analysen kleiner 5 mg/l. Ortho-Phosphat-Phosphor bildet im Durchschnitt nur einen Anteil von 61 % an Gesamtphosphor. Dies ist für Ortho-Phosphat-Phosphor insbesondere in Konzentrationsbereichen unter 0.5 mg/l ersichtlich.

Augenfällig ist, dass es vor allem bei Konzentrationsbereichen kleiner 0.5 mg Ortho-Phosphat-Phosphor zu einer größeren Streuung kommt. Dementsprechend ist bei vielen Messstellen die Beeinflussung durch organische Phosphorverbindungen erhöht. Insbesondere bei oberflächennahen Grundwassermessstellen ist dies plausibel. Die Analysen stammen mehrteilig von Messstellen aus dem quartären Lockergesteinsbereich, deren Teufe meist weniger als 15 m beträgt.

In Ausnahmefällen war die Konzentration von Ortho-Phosphat-Phosphor größer als die von Gesamtphosphor ist. Dies betraf vor allem ältere Laboranalysen. Da die Einzelwerte für sich plausibel waren, wurden diese Analyseergebnisse nicht entfernt.

Im vorliegenden Datensatz wird das allgemein zu erwartende Verhältnis zwischen Gesamtphosphor und Ortho-Phosphat Phosphor größtenteils bestätigt. Bemerkenswert sind jedoch die beschriebenen Abweichungen zwischen Ortho-Phosphat-Phosphor und Gesamtphosphor, da sie sich auf die Ableitung der Hintergrundwerte auswirken. Beide Parameter sind, da sie nicht durch ein 1:1-Verhältnis charakterisiert sind, nicht als Äquivalente zu betrachten.



Neben dieser ersten analysebezogenen Prüfung wurden die Analysen tiefergreifend durch die Berechnung des Ionenbilanzfehlers plausibilisiert. Voraussetzung für die Berechnung war die Vollständigkeit der Analysen in Bezug auf die Hauptkationen (Ca, K, Mg, Na,) und -anionen (Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>), sowie die wichtigsten Nebeninhaltsstoffe (Fe, Mn, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>). Diese Bedingung wurde von insgesamt 8346 Analysen (a 1319 Messstellen) erfüllt. Dies entspricht fast 50 % des gesamten Beschaffenhitsdatensatzes. Die Ionenbilanz berechnet sich anhand der molekularen dann wie folgt:

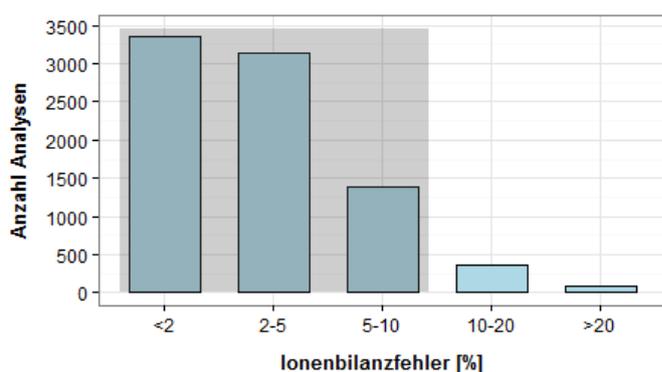
Abbildung 3-7 Korrelation zwischen Gesamtphosphor und Ortho-Phosphat-Phosphor

$$\text{Ionenbilanzfehler (\%)} = \frac{\sum \text{Kationen (c, eq}^+) - \sum \text{Anionen (c, eq}^-)}{0.5 * [\sum \text{Kationen (c, eq}^+) + \sum \text{Anionen (c, eq}^-)]} * 100$$

Im Idealfall ist die Anzahl der positiv und negativ geladenen Ionen gleich. Abweichungen durch positive oder negative Ladungsüberschüsse deuten auf Analysefehler hin. In der Regel werden die Ionenbilanzrechnungen in Abhängigkeit von der Mineralisation (Ionensumme) der Probe bewertet. In der Vergangenheit wurden von der Ionensumme abhängig verschiedene plausible Vertrauensbereiche angewandt. Beispielsweise sollte der relative Fehler der Ionenbilanz nach DVWK 128/1992 in Abhängigkeit von der Ionenkonzentration 2 % (> 2 mmol/l) bzw. 5 % (< 2 mmol/l) nicht überschreiten.

Eine fehlende Berücksichtigung von Komplexen und das Vorkommen hoher organischer Anteile im Grundwasser kann theoretisch auch höhere Abweichungen der Ionenbilanz hervorrufen. Von der LAWA (1993) hingegen wird vorgeschlagen, Analysen ab einem relativen Ionenbilanzfehler von 5 % (> 5 mmol/l) bzw. 10 % (< 5 mmol/l) als unplausibel zu werten. In UBA (2000) werden für den bundesweiten Datensatz die Grenzen mit der Einschränkung, dass teils nicht alle Nebeninhaltsstoffe analysiert worden sind, wie folgt festgelegt: Es werden nur Analysen akzeptiert, deren Fehler weniger als 10 % (> 2 mmol/l) bzw. 15 % (< 2 mmol/l) abweichen.

Für den vorliegenden Datensatz wurde die Grenze auch bei 10 % festgelegt, da die Häufigkeit des Vorkommens gering mineralisierter Grundwässer (< 2 mmol/l) in Sachsen-Anhalt vernachlässigbar gering ist (< 1 %). In Abbildung 3-8 ist die Anzahl der Analysen in Abhängigkeit von der Größe des Ionenbilanzfehlers aufgeschlüsselt. Die Mehrzahl der Analysen zählt zu dem plausiblen Vertrauensbereich (grünlich verfärbter Bereich). Grünlich hervorgehoben sind Analysen, die gemäß dem berechneten Ionenbilanzfehler zum plausiblen Vertrauensbereich zählen. Nur 2.5 % der Analysen des Gesamtdatensatzes wurden als unplausibel gewertet und aus dem Datensatz entfernt.



Ungefähr 5.5 % (456 Analysen) des Teildatensatzes wiesen einen Fehler > 10 % auf und wurden daher aus dem Datensatz entfernt. Übertragen auf den gesamten Datensatz wurden 2.5 % der Analysen als unplausibel eingestuft. In 51 Fällen handelte es sich um die einzige Analyse von einer Messstelle. Dementsprechend reduzierte sich auch der Stammdatensatz.

Abbildung 3-8 Anzahl der Analysen in Abhängigkeit der Größe des Ionenbilanzfehlers

### 3.4.3. Primärstatistische Beschreibung des Beschaffenheitsdatensatzes

Nach der Durchführung der oben beschriebenen Bearbeitungsschritte umfasst der aggregierte und reduzierte Datensatz, der die Basis zur Ableitung von den Hintergrund- und Schwellenwerten bildete, in summa 17054 Analysen von 3156 Messstellen. Tabelle 3-7 beschreibt den Beschaffenheitsdatensatz primärstatistisch und gibt somit einen ersten Überblick über die Spannweiten der einzelnen Parameter. Zudem ist die Anzahl der Analysen pro Parameter aufgezeigt.

An dieser Stelle wird schon ersichtlich, bei welchen Parametern die Datenverfügbarkeit relativ mangelhaft ist (Bi, Br, Li, Si, Sn, Sr).

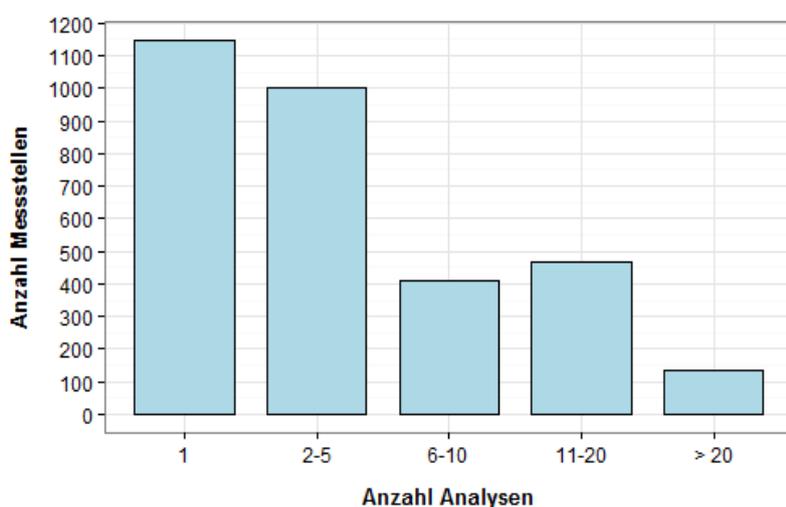
Tabelle 3-7 Primärstatistische Beschreibung aller Parameter des aggregierten und auf Plausibilität geprüften Datensatzes

Parameter	Einheit	Anzahl	Minium	MW	Maximum	Standardabw,	Varianz
AOX	µg/l	8049	1	16,37	1900	35,15	1235,27
Ag	µg/l	719	0,002	0,10	6	0,28	0,08
Al	µg/l	6149	0,5	68,26	9850	443,97	197110,29
As	µg/l	7440	0,02	3,87	700	22,25	495,19
B	µg/l	6797	0,5	201,52	10000	563,54	317571,72
Ba	µg/l	3052	0,05	61,27	3800	90,45	8180,82
Bi	µg/l	144	0,001	0,002	0,009	0,002	2,26E-06
Br	mg/l	235	0,01	0,14	16,3	1,07	1,14
Ca	mg/l	14402	0,1	164,24	2520	169,29	28658,06
Cd	µg/l	7506	0,001	0,44	74	1,63	2,65
Cl	mg/l	14854	0,5	223,26	70200	2530,01	6400953,97
CN	mg/l	1287	0,001	0,01	0,08	0,009	7,68E-05
Co	µg/l	3031	0,006	2,63	130	8,32	69,14
Cr	µg/l	7257	0,02	2,97	83	6,05	36,57
Cu	µg/l	7489	0,005	5,95	560	22,00	484,13
DOC	mg/l	10549	0,2	3,12	141	4,61	21,27
Fe	mg/l	2961	0,04	0,30	10	0,45	0,20
Fe	mg/l	11849	0,001	4,01	416	15,63	244,33
GH	°dH	8684	0,1	29,94	633,51	34,14	1165,60
HCO <sub>3</sub>	mg/l	12800	1	241,67	2450	163,06	26588,37
Hg	µg/l	5385	0,001	0,12	30	0,59	0,35
K	mg/l	14150	0,1	10,89	920	37,38	1397,61
LF	µS/cm	15981	0,4	1516,34	155000	5965,44	35586455,36
Li	µg/l	195	0,4	4,51	28	5,04	25,41
Mg	mg/l	14419	0,1	35,74	3250	66,06	4364,13
Mn	mg/l	11895	7,00E-06	0,37	40	1,34	1,79
Mo	µg/l	2312	0,02	1,24	24	2,05	4,20
Na	mg/l	14153	0,1	146,53	44800	1605,48	2577552,20
NH <sub>4</sub>	mg/l	13864	0,006	0,41	220	4,22	17,83
Ni	µg/l	7549	0,03	6,74	610	19,72	389,03
NO <sub>2</sub>	mg/l	12510	0,001	0,06	4,53	0,12	0,01
NO <sub>3</sub>	mg/l	14580	0,01	23,33	1200	47,08	2216,64
O <sub>2</sub>	mg/l	13676	0,01	2,40	36,1	3,15	9,90
P	mg/l	8998	0,003	0,16	13,7	0,60	0,36
Pb	µg/l	7282	0,005	3,37	649	20,20	408,14
pH	-	16394	4,1	7,01	10	0,64	0,41
PO <sub>4</sub>	mg/l	10887	0,005	0,27	42,01	1,56	2,44
Redox	mV	12380	-451	222,96	845	151	22661
Sb	µg/l	2889	0,002	1,51	270	8,12	65,95
Se	µg/l	3034	0,01	1,45	204	4,30	18,46
Si	mg/l	520	0,01	7,40	42	4,01	16,06
Sn	µg/l	302	0,001	10,04	50	19,60	384,12
SO <sub>4</sub>	mg/l	14861	0,1	342,20	30490	653,25	426731,90
Sr	mg/l	146	0,00001	7,34	90	14,08	1982,34
T	°C	10263	1,2	10,71	22	1,41	1,98
Tl	µg/l	2616	0,001	0,15	3,4	0,19	0,04
U	µg/l	2984	0,001	4,87	260	15,05	226,38
V	µg/l	3091	0,01	2,33	41	3,50	12,28
Zn	µg/l	7661	0,002	90,64	9600	446,36	199240,88

### 3.5. Verfahrensweise bei Mehrfachanalysen

Für die Mehrheit der Messstellen lagen, wie verdeutlicht, Mehrfachanalysen vor. Für mehr als 60 % der Messstellen liegen für den Zeitraum 2000-2016 Mehrfachanalysen vor.

Um die Repräsentativität aller Messstellen gleich zu gewichten, wurde für die statistische Auswertung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz mit einem Wert pro Messstelle operiert. Da das Wahrscheinlichkeitsnetz eine untere Grenze in Bezug auf die Anzahl der einfließenden Werte aufweist, wurden parameter- und einheitenweise auch andere statistische Methoden angewandt, um einen Hintergrundwert ableiten zu können.



Dafür wurde wiederum aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit (vgl. Abbildung 3-10) insbesondere bei den Spurenstoffen auf alle Analysen zurückgegriffen. Detailliert sind diese Methoden in Kapitel 4 beschrieben. Für die Herleitung eines Wertes pro Messstelle zwecks Auswertung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz wurde das arithmetische Mittel aller Analysen dieser

Abbildung 3-9 Anzahl der Messstellen und Anzahl der Analysen Messstelle gebildet. Der Mittelwert gilt als guter Schätzer des Zentrums einer Verteilung und ist sensitiv gegenüber jedem Einzelwert der Verteilung.

Letzteres bedeutet auch, dass er im Gegensatz zu dem Lagemaß Median stark durch Extremwerte beeinflusst werden kann. Dieser Effekt war gewünscht, da die Nivellierung von Extremwerten vor der Auswertung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz dessen Ergebnisse verzerren würde und die Hintergrundwerte auf diese Weise künstlich nach unten gedrückt werden würden. Aus diesem Grund wurde auch auf eine weitere Präselektion von Messstellen verzichtet. Die Mittelwertbildung bei Parametern, bei denen Werte kleiner der Bestimmungsgrenze auftraten, folgte einer speziellen Methode. Ziel war es, nach der Mittelwertbildung messstellenbezogene Werte kleiner der Bestimmungsgrenze und Positivfunde klar trennen zu können.

Dieses Vorgehen war für die Arbeit mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz essentiell. Daher wurde der messstellenbezogene Mittelwert im Falle, dass die Werte mehrheitlich unter der Bestimmungsgrenze lagen, nur mit den Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze gebildet. Waren die Analysen eines Parameters mehrheitlich Positivfunde bzw. war die Anzahl zwischen Werten kleiner der Bestimmungsgrenze und Positivfunden gleich, wurde der Mittelwert nur auf Basis der Positivfunde abgeleitet. Das Verfahren bei Gleichstand steht auch in Zusammenhang mit der Mindestanzahl an Werten oberhalb der Bestimmungsgrenze, die für die Herleitung des Hintergrundwertes mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes notwendig war.



Einen Spezialfall stellt die Einheit „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ dar (s. Kap. 3.6.3). Dieser Sonderfall steht thematisch im Zusammenhang mit der Untergliederung der Bezugseinheiten. Denn in beiden Fällen waren lokale und regionale Konzentrationsunterschiede bei den Hauptparametern Chlorid und Sulfat Anlass für das Suchen nach einer profunden und differenzierten Lösung, um diesen Unterschieden Rechnung zu tragen.

### **3.6.1. Generelle Verfahrensweise bei der messstellenscharfen Zuordnung**

Die messstellenscharfe Zuordnung der Bezugseinheiten erfolgte unter Berücksichtigung verschiedener zur Verfügung stehender Informationen. Die Informationsdichte war von Messstelle zu Messstelle unterschiedlich. Besonders gut dokumentiert waren die Messstellen des Landes- und Ermittlungsmessnetzes. Im Folgenden werden die für die Zuordnung relevanten Informationen kurz benannt:

- a) Zusatzinformationen: bereits zugeordnete Bezugseinheiten; Angaben zur Stratigraphie (v.a. „STRAT\_01“ und „STRAT\_02“ in Tabelle), Filterlage, Einbautiefe
- b) Schichtenverzeichnisse, Schichtdaten der Landesbohrdatenbank
- c) Karte der hydrogeologischen Bezugseinheiten Sachsen-Anhalts (HÜK 400)
- d) Hydrogeologische Übersichtskarte (HÜK 200)

Bis auf die Informationen aus den Schichtenverzeichnissen oder den Schichtdaten waren alle Daten in einer Tabelle zusammengeführt: Für alle Messstellen lagen Einträge zu der HÜK 400 und 200 vor. Diese Angaben waren ein Kriterium der projektbezogenen Eignungsprüfung. Darüber hinaus enthielten die Stammdaten von fast 60 % der Messstellen stratigrafische Informationen. Diese Angaben stammten größtenteils von Dritten, beispielsweise dem LAGB. Bei ungefähr 25 % der Messstellen war bereits eine Zuordnung zu einer Bezugseinheit in den Stammdaten aufgeführt. Dies betraf überwiegend die Messstellen des Landes- und Ermittlungsmessnetzes.

An erster Stelle wurde die Korrespondenz zwischen den Zusatzinformationen und den Einträgen der HÜK 200 und HÜK 400 geprüft. Dafür wurden die Einträge der HÜK 200 jeweils einer Bezugseinheit zugeordnet. Diese vorgenommene Zuordnung ist in der Tabelle 3-8 aufgezeichnet.

Bei insgesamt 57 % der 3156 Messstellen stimmten alle Informationen miteinander überein. In den anderen Fällen war mindestens eine Angabe widersprüchlich. Deshalb erhielt jede Information in Abhängigkeit von ihrer Qualität und Herkunft eine Gewichtung. Jede der verbleibenden 1372 Messstellen wurde einzeln geprüft.

In der Regel wurde den Zusatzinformationen eine hohe Bedeutung beigemessen. Dies galt insbesondere für die Zuweisung einer Bezugseinheit durch das LHW. Die bereits vorgenommene Einordnung von Stollen wurde übernommen, da die entsprechenden Einzugsgebiete unbekannt waren. Für einige Quellen hingegen lagen Berichte zu den Einzugsgebieten vor. Bei widersprüchlichen Informationen oder gar fehlenden Zusatzinformationen wurden, sofern vorhanden, Schichtverzeichnisse und Schichtdaten der Landesbohrdatenbank konsultiert. Schichtenverzeichnisse lagen nur für Messstellen des Landes- und Ermittlungsmessnetzes vor. Die Bohrlochdaten wurden jedoch nur bei Messstellen zu Rate gezogen, bei denen die Filterlage bekannt war und die Entfernung der Messstelle zu der Bohrung weniger als 200 m betrug. Letztere Einschränkung wurde aufgrund der Heterogenität der Schichtfolge auf kleinräumiger Skala vorgenommen und sollte eine gesicherte Zuweisung garantieren.

Tabelle 3-8 Zuordnung der Einträge der HÜK 200 zu Bezugseinheiten  
(BZE 14 nicht zugeordnet)

BZE	HÜK 200	BZE	HÜK 200
1	Auensande, Dünensande, Flugsande, fluviatile Ablagerungen, limnische Ablagerungen, ma-	9	Cenoman bis Turon (ungegliedert)
1	Auensande, Dünensande, Flugsande, fluviatile Ablagerungen, limnische Ablagerungen, ma-	9	Gipskeuper und Schilfsandstein (ungegliedert)
1	Bildungen der Rinnen und Hochterrassen	9	Involutus, Münchenberg, Heidelberg und Heimbürgschichten
1	Flussschotter (Niederterrasse), Kames, Schmelzwasserablagerungen	9	Involutus, Münchenberg, Heidelberg und Heimbürgschichten, Eisenerz Ilsede
1	Terrassenkiese und -sande (Haupt- u. Mittel-terrasse)	9	Jura (ungegliedert)
1/2	Niederterrassen	9	Keuper (ungegliedert)
1/2	Terrassenkiese und -sande (Niederterrasse)	9	Lettenkeuper
1/2	Urstromtäler	9	Lias
1/2	Urstromtäler und Niederterrassen	9	Maastricht
2	Gewässer	9	marine Ablagerungen, glaukonitisch, Kalksandsteine
2	Niederterrassen unter organogener Bedeckung (Auenschotter)	9	Rhätkeuper-Schichten
4/5	Ablagerungen des Saale-Drenthe-Stadium	9	Unterer Gipskeuper
4/5	Schmelzwasserablagerungen der Saale, Warthe-Stadium	9	Unterkreide (ungegliedert)
4/5	Schmelzwasserablagerungen, Flussschotter (Oberterrasse)	10	Zechstein (ungegliedert)
4/5	Schmelzwasserablagerungen, Flussschotter; Sande und Kiese der Elster- und Saalekaltzeit	11	Kyffhäuser-Formation
4/5/6	Tertiär bis Quartär, glazigen gestört (ungegl.)	11	Rotliegend (ungegliedert)
5	Drenthe- Grundmoränen, Beckenablagerungen	11	sedimentäres Rotliegend
6	Ablagerungen des Eozän	11	sedimentäres Unterrotliegend
6	Ablagerungen des Oligozän bis Miozän	12	altpaläozoische basische Magmatite
6	flächenhaft verbreitetes, braunkohlenführendes Eozän	12	Devon (ungegliedert)
6	flächenhaftes Tertiär (ungegliedert)	12	Flysch des Harzes und von Flechtingen
6	GWL/GWG 9 (Braunkohle)	12	Massenkalke
6	Rupel	12	metamorphe Zone von Wippra
6	Tertiär (ungegliedert)	12	metamorphe Zone von Wippra Klippmühlenquarzit
7	Ceratiten- und Trochitenkalk, Mittlerer Muschelkalk	12	Mittelharzer Porphyrgänge (ungegliedert)
7	Mittlerer Muschelkalk	12	Oliststrome, Rutschmassen
7	Muschelkalk (ungegliedert)	13	Acker-Bruchberg Quarzit
7	Oberer Muschelkalk	13	Gommernquarzit
7	Wellenkalk, Terebratelbank (Unterer Muschelkalk)	13	Ramberg und Brockegranit
8	Buntsandstein (ungegliedert)	13	Rotliegendvulkanite

BZE	HÜK 200	BZE	HÜK 200
8	Mittlerer Buntsandstein (außer Solling-Folge)	13	Rotliegendvulkanite, Harzer Porphyrgänge
8	Oberer Buntsandstein	15	Abgrabung
8	Röt	15	nicht bewertet
8	Salinarröt und Myophoriendolomite ("Grauer Röt")		
8	Unterer Buntsandstein		

Zudem ist anzumerken, dass eine bindige Schicht ab einer Mächtigkeit von 2 m als bedeckend eingestuft worden ist. Das Vorkommen einer bindigen Schicht war für die Unterscheidung zwischen „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL“ (BZE 4) und „Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL“ (BZE 5) wichtig. Für die Messstellen, für die keine Schichtdaten zur Verfügung standen, wurde die Entscheidung systematisch getroffen, s. Tabelle 3-9.

Tabelle 3-9 Überblick zur Zuordnung für Messstellen mit konträren Informationen und fehlenden Schichtdaten

BZE	Zuordnungskriterien
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- in HÜK 200 oder HÜK 400 Hinweis auf BZE 1 (Ausnahme: in HÜK 400 "Flussauen mit Auenlehmdecke", dann Zuordnung zu BZE 2) und Zusatzinformationen übereinstimmend</li> <li>- nur Hinweis auf Quartär in Zusatzinformationen und Einbautiefe bis zu 50 m, weder Übereinstimmung mit HÜK 200 noch HÜK 400</li> <li>- fehlende Zusatzinformationen und zumindest in HÜK 200 Hinweis auf BZE 1 und Einbautiefe bis zu 10 m (Ausnahme: in HÜK 400 "Flussauen mit Auenlehmdecke", dann Zuordnung zu BZE 2)</li> <li>- fehlende Zusatzinformationen und in HÜK 200 "Terrassenkiese und -sande (Haupt- und Mittelterrasse)", "Terrassenkiese und -sande (Niederterrasse)" oder "Flussschotter, Kames, Schmelzwasserablagerungen" und Zusatzinformationen übereinstimmend (Ausnahme: in HÜK 400 "Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL" und "Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL", dann entsprechend Zuordnung BZE 4 oder 5)</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- in HÜK 400 Hinweis auf BZE 2 und Zusatzinformationen übereinstimmend</li> <li>- fehlende Zusatzinformationen und Hinweis in HÜK 400 und Einbautiefe bis zu 5 m</li> <li>- fehlende Zusatzinformationen und Hinweis in HÜK 400 auf BZE 2 und in HÜK 200 auf quartäre GWL</li> </ul>
4/5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- in HÜK 400 "Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL" oder "Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL" und Zusatzinformationen übereinstimmend</li> <li>- fehlende Zusatzinformationen und in HÜK 200 "Auensande,..." oder "Urstromtäler...", in HÜK 400 Hinweis auf BZE 4 oder 5 und Einbautiefe über 10 m</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hinweis auf BZE 6 in Zusatzinformationen</li> <li>- fehlende Zusatzinformationen und zumindest in HÜK 200 Hinweis auf BZE 6 (Ausnahme: in HÜK 400 Hinweis auf quartäre GWL und Einbautiefe mehr als 5 m)</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hinweis auf BZE 7 in Zusatzinformationen</li> <li>- fehlende Zusatzinformationen und zumindest in HÜK 200 Hinweis auf BZE 7 (Ausnahme: in HÜK 400 Hinweis auf Quartär und Einbautiefe mehr als 5 m)</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hinweis auf BZE 8 in Zusatzinformationen</li> <li>- fehlende Zusatzinformationen und zumindest in HÜK 200 Hinweis auf BZE 8</li> <li>- fehlende Zusatzinformationen und in HÜK 400 Hinweis auf BZE 8 und Einbautiefe mehr als 50 m</li> </ul>
9/10/11/12	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hinweis auf jeweilige Einheit in Zusatzinformationen</li> <li>- fehlende Zusatzinformationen und zumindest in HÜK 200 Hinweis auf jeweilige Einheit</li> </ul>
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zumindest in HÜK 200 Hinweis auf BZE 13</li> </ul>
14	<ul style="list-style-type: none"> <li>- in HÜK 400 Hinweis auf BZE 14</li> </ul>
15	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hinweis auf BZE 15 in Zusatzinformationen</li> <li>- in HÜK 400 Hinweis auf BZE 15 und alle MST im Umkreis von 2 km (vgl. 3.6.3)</li> </ul>

Meistens war neben den Zusatzinformationen die HÜK 200 entscheidend für die Zuweisung. Ein Vergleich der Kartenwerke HÜK 200 und HÜK 400 zeigt nämlich, dass vor allem auf lokaler Ebene Differenzen vorkommen und die HÜK 200 ein detailliertes Bild der geologischen Eigenschaften gibt. Exemplarisch sind diese Unterschiede für ein Gebiet im Mansfelder Land in Abbildung 3-12 aufgezeigt. Zudem wurden einige Zuordnungen tiefenabhängig getroffen. Ein weiterer Aspekt war der Abgleich mit hydrochemischen Daten, die im Zweifelsfall typisch für die zugeordnete Bezugseinheit sein sollten. Eine Sonderstellung nehmen die Einheit „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ (BZE 15) und angrenzende Gebiete ein. Denn alle Messstellen, die in der HÜK 400 dieser Einheit zugewiesen worden waren, und Messstellen im Umkreis von 2 km bekamen die BZE 15 zugewiesen (vgl. 3.6.3). Einen Überblick zu den prozentualen Anteilen der Informationen, die die Grundlage für die Zuordnung bildeten, ist in der Abbildung 3-11 dargestellt, Abb. Abbildung 3-12 zeigt einen Ausschnitt aus dem Bereich des Mansfelder Landes.

Als erstes sind in der Darstellung die Informationen genannt, auf deren Grundlage die Zuweisung erfolgte. Angemerkt sind außerdem noch die Informationen, zu denen Erstgenannte in Widerspruch stehen. Bei insgesamt 57 % der Messstellen gab es eine Übereinstimmung der vorliegenden Informationen. Bei widersprüchlichen Angaben wurden – sofern möglich – Schichtenverzeichnisse und -daten zur Festlegung einer Bezugseinheit konsultiert (betrifft 10 %). In 15 % der Fälle waren Zusatzinformationen und teils die HÜK 200 oder HÜK 400 ausschlaggebend für die Zuordnung. Nur bei 5 % der Messstellen wurde die Entscheidung auf Basis der HÜK 200 bzw. HÜK 400 getroffen. Eine Sonderstellung bilden die Messstellen, die der Einheit „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ zugewiesen worden (vgl. 3.6.3).

Wie schon erwähnt, lagen für die Mehrheit der Messstellen übereinstimmende Informationen vor. Insgesamt ungefähr 10 % der Messstellen wurden aufgrund der zusätzlichen Prüfung von Schichtdaten einer Bezugseinheit zugeordnet. Nur bei wenigen Messstellen (5 %) wurde die Entscheidung auf Basis der HÜK 200 oder HÜK 400 getroffen.

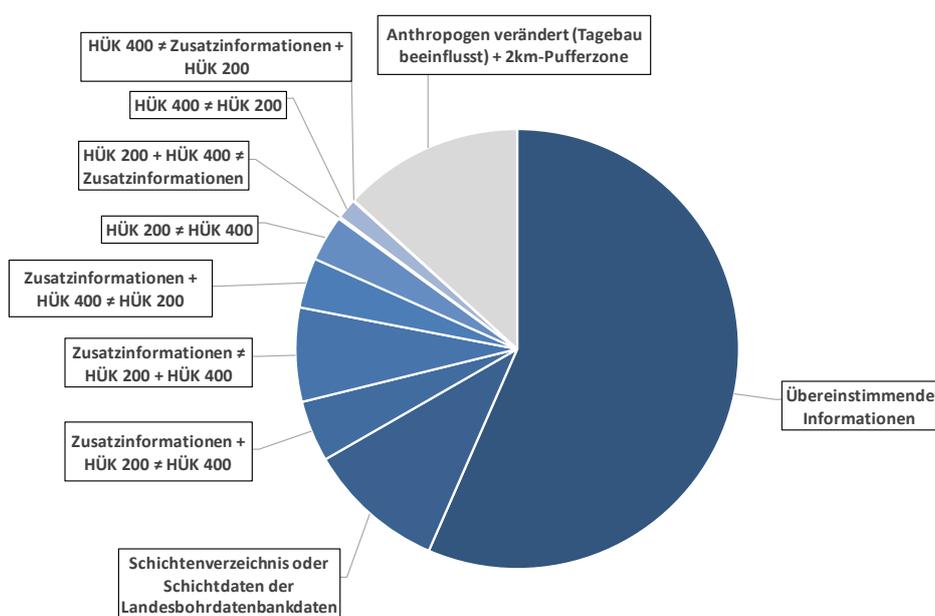


Abbildung 3-11 Prozentuale Anteile der Informationsgrundlagen für die Zuordnung der Bezugseinheiten

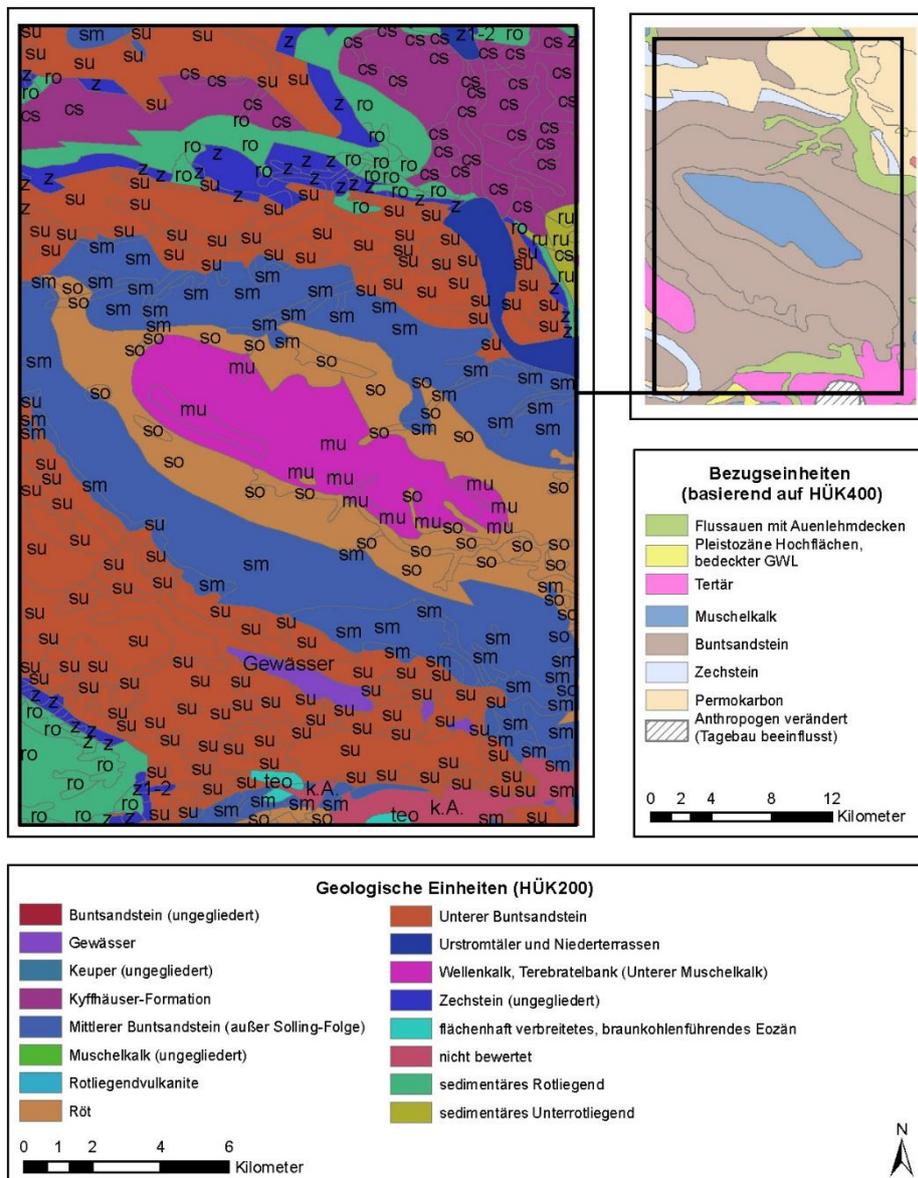


Abbildung 3-12 Vergleich der Kartenwerke HÜK200 und HÜK400 am Beispiel eines Ausschnitts im Mansfelder Land

### 3.6.2. Erläuterung der Zuordnung anhand ausgewählter Beispiele

Anhand von drei Beispielen wird im Folgenden die Vorgehensweise bei der Zuordnung der Bezugseinheiten bei widersprüchlichen Informationen veranschaulicht. Zunächst wird die Informationslage der ausgewählten Messstellen beschrieben und dann das Ergebnis der Zuordnung aufgezeigt.

Die erste Messstelle der Betrachtung gehört zu dem Messsystem des Fachinformationssystems Hydrogeologie des LAGB in Sachsen-Anhalt. Die Messstelle trägt den Namen „Hyp Naumburg 3/995“. Und liegt nördlich von Naumburg an der Saale. Der Filter ist unter 5 m u. GOK platziert. Zusatzinformationen liegen keine vor. Die HÜK 400 gibt „Buntsandstein“ (BZE 8) an und die HÜK 200 deutet auf Auenlande hin. Da die Messstelle genau an der Grenze zu den auch in der HÜK 400 eingetragenen „Flussauen mit Auenlehmdecke“ (BZE 2) liegt, wurden Schichtdaten der Landesbohrdatenbank zur Zuordnung zu Hilfe genommen.

In diesem Fall liegt an selbiger Stelle ein Bohrprofil bis zu einer Tiefe von 13 m vor. Es zeigt, dass an dem Punkt Buntsandstein in allen Tiefen des Bohrprofils anzutreffen ist. Daher wurde dieser Messstelle die BZE 8 zugeordnet.

An zweiter Stelle soll ein Beispiel gegeben werden, anhand dessen eine Messstelle aufgrund ihrer Zusatzinformation eingeordnet worden ist. Es handelt sich um die Messstelle „Hy Stf 02/95“, die in der an der Bode gelegenen Stadt Staßfurt lokalisiert ist. Der Filter der Messstelle befindet sich zwischen 5.6 und 7.6 m u. GOK. Laut Zusatzinformation ist die Messstelle im Quartär ausgebaut worden. Die HÜK 400 gibt „Muschelkalk“ (BZE 7) vor und in der HÜK 200 ist an dieser Stelle „Unterer Buntsandstein“ angegeben. Auch diese Messstelle ist nach der HÜK 400 in Nachbarschaft zu den Bereichen der „Flussauen mit Auenlehmdecke“. Weil die Messstelle sehr flach ausgebaut worden ist und die Nähe zu quartären Schichten gegeben ist, wurde die Messstelle mit der Bezugseinheit „Flussauen und Niederungen“ (BZE 1) versehen. Ob der Grundwasserleiter an dieser Stelle bedeckt ist, war nicht bekannt. Die Zuordnung deckt sich auch mit den Bohrprofilen von in 300 m Entfernung im ehemaligen Flussbett gelegenen Bohrungen, die allesamt bis zu einer Tiefe von 10 m unbedeckte quartäre Grundwasserleiter anzeigen.

Das dritte Beispiel beleuchtet die Zuordnung der Landesmessstelle „Uni MSH 3/15“. Die Messstelle liegt nördlich von Kelbra (Kyffhäuser) an dem Fluss Helme. Die Filterlage für die Messstelle ist zwischen 4.2 bis 5.2 m u. GOK angegeben. Zusätzliche Informationen waren nicht bekannt. In der HÜK 200 sind an dieser Stelle Terrassenkiese und -sande (Niederterrasse) dargestellt. Diese Angaben entsprechen sowohl der Einheit „Flussauen und Niederungen“ (BZE 1), wie auch der Einheit „Flussauen mit Auenlehmdecke“ (BZE 2). Laut HÜK 400 liegt die Messstelle im Verbreitungsgebiet des Buntsandsteines. Der Buntsandstein erstreckt sich zwar in Messstellennähe über eine Länge von 10 km. Aber die Lockergesteinsschichten des Quartärs sind ringsherum nicht abgetragen worden. Die Messstelle liegt, wie die HÜK 200 zeigt, genau im zum Buntsandstein angrenzenden Gebiet. Aufgrund der geringen Ausbautiefe der Messstelle und der Umgebungsanalyse wurde die Zuordnung BZE 8 ausgeschlossen und sich stattdessen für die BZE 2 entschieden. Auch die hydrochemischen Daten deuten beispielsweise mit Sulfatgehalten um 300 mg/l eher auf die BZE 2 als BZE 8 hin.

### **3.6.3. Sonderfall: Bezugseinheit „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“**

Wie schon in Abschnitt 3.4.1.3 erwähnt, hat die Bezugseinheit „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ (BZE 15) eine Sonderstellung. Diese Einheit ist über großflächig und tiefgründig veränderte hydrogeologische Verhältnisse definiert, die durch anthropogene Eingriffe wie Abgrabungen, Verkipungen und diffuse Schafstoffeinträge im Umfeld des Braunkohletagebaus verursacht worden sind. Die Einzugsgebiete dieser Bereiche wurden hinsichtlich erhöhter Stoffkonzentrationen (vor allem Sulfat) näher analysiert. Beispielsweise wurde eine deutliche Ausschwemmung von Sulfat von der Bergbauregion Bitterfeld/Wolfen in das Muldetal festgestellt. Dieser Einflussbereich wurde daher mit einer Pufferzone von 2 km allseitig um die BZE 15 berücksichtigt. Auch in Jahnke (2015) wurden alle Messstellen in diesen Flächen und im Abstand von 2 km um diese Einheit gesondert behandelt, um auf diese Weise Einflüsse von großräumigen Grundwasserabsenkungen zu berücksichtigen. Der 2-km-Gürtel soll hier also den hydrochemischen Einflussbereich der Tagebaue in einem ersten Ansatz beschreiben. Alle Messstellen hier wurden der BZE 15 zugeordnet, das waren 416 Messstellen und 13 % der gesamten Datenbasis.

Liegen zu einem späteren Zeitpunkt genauere Informationen in digitaler Form vor (z. B. anhand der Risswerke der Bergbaubetreiber), können diese ersatzweise verwendet werden.

#### **3.6.4. Untergliederung der hydrogeologischen Bezugseinheiten**

Wie in Abschnitt 3.4.1.3 diskutiert, liegen zwischen dem Norden und Süden Sachsens-Anhalts geogen bedingte Konzentrationsunterschiede bei den Parametern Chlorid und Sulfat vor. Insbesondere die Bezugseinheiten, die die Verbreitung der quartären und tertiären Gesteine repräsentieren, sind jedoch sowohl im Norden, wie auch im Südwesten präsent. Daraus ergeben sich innerhalb dieser Bezugseinheiten Konzentrationsspannen, die einen erheblichen Einfluss auf die Ableitung der Hintergrundwerte hätten.

Daraus entstand der Vorschlag, die Bezugseinheiten unter Verwendung der hydrogeologischen Großräume zu untergliedern (vgl. BGR & SGD, 2016). Sachsen-Anhalt besteht aus den drei Großräumen „Nord- und mitteldeutsches Lockergesteinsgebiet“ (GR1), dem „Mitteldeutschen Bruchschollenland“ (GR5) und dem „West- und mitteldeutschem Grundgebirge“ (GR8). Die Großräume 5 und 8 (GR5+GR8) wurden aufgrund der gemeinsamen Festgesteinscharakteristik zusammengefasst. Um die Hypothese zu überprüfen, ob die Normalpopulationen von GR1 und GR5+GR8 verschieden voneinander sind, wurden zunächst beispielhaft mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes die Normalpopulationen der Einheiten „Flussauen mit Auenlehmdecken“ (BZE 2) und „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL“ (BZE 4) für die Parameter Chlorid und Sulfat bestimmt. Anschließend wurde der Mann-Whitney-U-Test ( $\alpha=0.5$ ) angewandt. Dieses nicht-parametrische Testverfahren prüft die Verschiedenheit unabhängiger Stichproben. Im Ergebnis waren die Populationen für Chlorid in beiden Fällen signifikant voneinander verschieden. Bei dem Parameter Sulfat waren nur die Populationen der BZE 4 signifikant voneinander verschieden.

Aus den Vorüberlegungen und -untersuchungen ergab sich sogar die Notwendigkeit einer Untergliederung. Denn einerseits gelten Mischpopulationen als ungeeignet für das Arbeiten mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz. Und andererseits würden die Hintergrundwerte zumindest für die Parameter Chlorid und Sulfat im Festgesteinsbereich bei fehlender zusätzlicher Untergliederung unterschätzt und im Lockgesteinsbereich leicht überschätzt werden. Bei anderen Parametern wie zum Beispiel Ammonium, für die auch ein Signifikanztest durchgeführt worden ist, ergaben sich keine räumlich signifikanten Differenzen.

Die endgültige Untergliederung wurde anhand der räumlichen Verteilung der Chlorid- und Sulfatkonzentrationen, sowie der hydrogeologischen Groß- und Teilräume ausgerichtet: Die Bezugseinheiten „Pleistozänen Hochflächen, unbedeckter GWL“ (BZE 4) und „Pleistozänen Hochflächen, bedeckter GWL“ (BZE 5) des GR1 wurden zusätzlich in einen GR1 Nord und GR1 Süd unterteilt. Letzterer setzt sich aus den Teilräumen „Dübener und Dahleener Heide“ (TR 1528) und „Köthen-Bitterfelder Hochfläche und Leipziger Land“ (TR 1529) zusammen. Für beide Teilräume, die sich südlich der Elbeniederung befinden, ist eine Störung der hydrogeologischen Verhältnisse im Umfeld der ehemaligen Braunkohletagebauten charakteristisch.

In Folge können die Gehalte an Eisen, Mangan und Sulfat lokal erhöht und die pH-Werte verringert sein. Dementsprechend wurden die BZE 4 und BZE 5 insgesamt dreifach gegliedert (GR5+GR8, GR1 Nord, GR1 Süd). Von einer weiteren Untergliederung in Teilräume wurde abgesehen, da dies das

räumliche Konzentrationsmuster einerseits nicht erforderte. Andererseits wurde auch eine Mindestmessstellenanzahl je untergliederter Bezugseinheit angesetzt, um eine Auswertung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz zu ermöglichen. Für die Einheiten „Flussauen und Niederungen“ (BZE 1), „Flussauen mit Auenlehmdecke“ (BZE 2) und „Tertiär“ (BZE 6) wurde aus eben genannten Gründen nur eine zweifache Gliederung vorgesehen. Gleichwohl die Grundwasserleiter des Teilraums „Mulde-Niederung“ (TR 1316), die durch Bergbautätigkeiten und landwirtschaftlich intensiv genutzte Flächen überprägt worden sind, hervorstechen: Hier dominieren Calcium-Sulfat-Wässer. Vor allem im südlichen Teilstück der Mulde in Sachsen-Anhalt sind erhöhte Sulfatkonzentrationen auffällig. Diese sind aber dem 2km-Pufferbereiches um die BZE „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ einverleibt und beeinflussen daher nicht die Hintergrundwerte der Bezugseinheiten „Flussauen und Niederungen“ (BZE 1) und „Flussauen mit Auenlehmdecke“ (BZE 2). Weil jedoch sowohl der Mündungsbereich der Saale bei Barby, als auch das östliche Teilstück der Weißen Elster (südöstlich von Halle (Saale)) Sulfatgehalte größer als 1000 mg/l aufzeigen, im GR1 liegen und an den Festgesteinsbereich angrenzen, wurden diese Gebiete dem GR 5 und GR 8 zugeschlagen (Abbildung 3-13) (GR5+GR8+Saale EZG). Hydrochemisch ist dies gerechtfertigt, da sie Entlastungsgebiete für zechsteinbürtige, hochmineralisierten Tiefenwässer darstellen (LAGB, 2007).

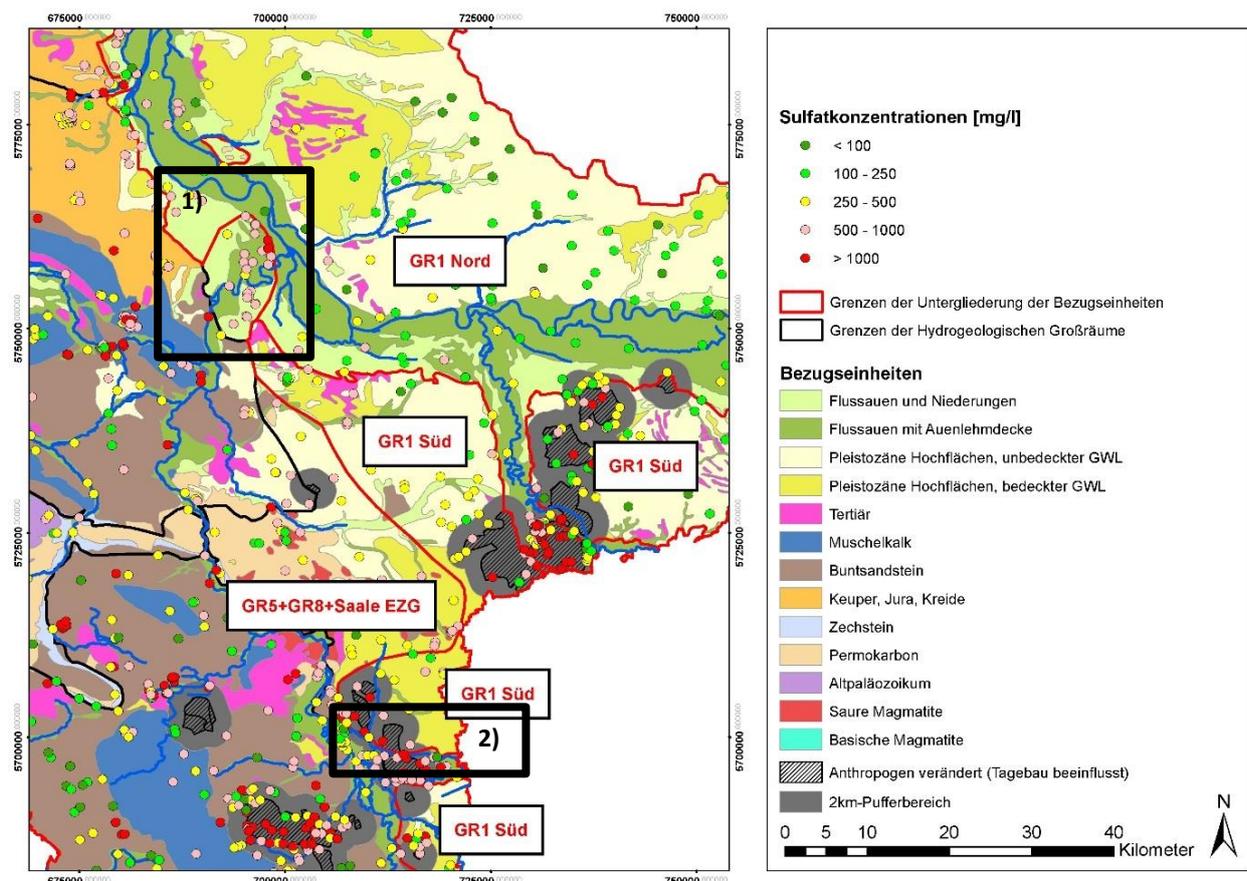


Abbildung 3-13 Erhöhte Sulfatkonzentrationen im Mündungsbereich der Saale bei Barby und dem östlichen Teilstück der Weißen Elster

Das Ergebnis der Untergliederung ist in der Abbildung 3-15 kartografisch veranschaulicht. In der nachfolgenden Abbildung 3-16 wird außerdem der prozentuale Flächenanteil jeder dieser 21 Einheiten aufgeschlüsselt. In Abhängigkeit von der zugewiesenen hydrogeologischen Bezugseinheit und der

Lokalisation in einer der drei verschiedene Kompartimenten (GR1 Nord, GR1 Süd oder GR5+GR8+Saale EZG) wurde für jede Messstelle eine neue hydrochemisch differenziertere Einheit definiert.

Die hydrochemische Zusammensetzung des Grundwassers ist auch einer tiefenabhängigen Komponente unterworfen. Dies betrifft vor allem die Lockergesteinsgebiete. Für den Parameter Chlorid wurde die Tiefenzonierung anhand der Bezugseinheit „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL“ (BZE 4) analysiert. Aufgrund der mangelhaften Datenbasis in Bezug auf Filterlagen, wurde die Untergliederung bei der Untersuchung der Tiefenabhängigkeit nicht berücksichtigt. Für den Konzentrationsbereich bis zu 90 mg/l konnten drei signifikant verschiedene Teilpopulationen identifiziert werden (Abbildung 3-14).

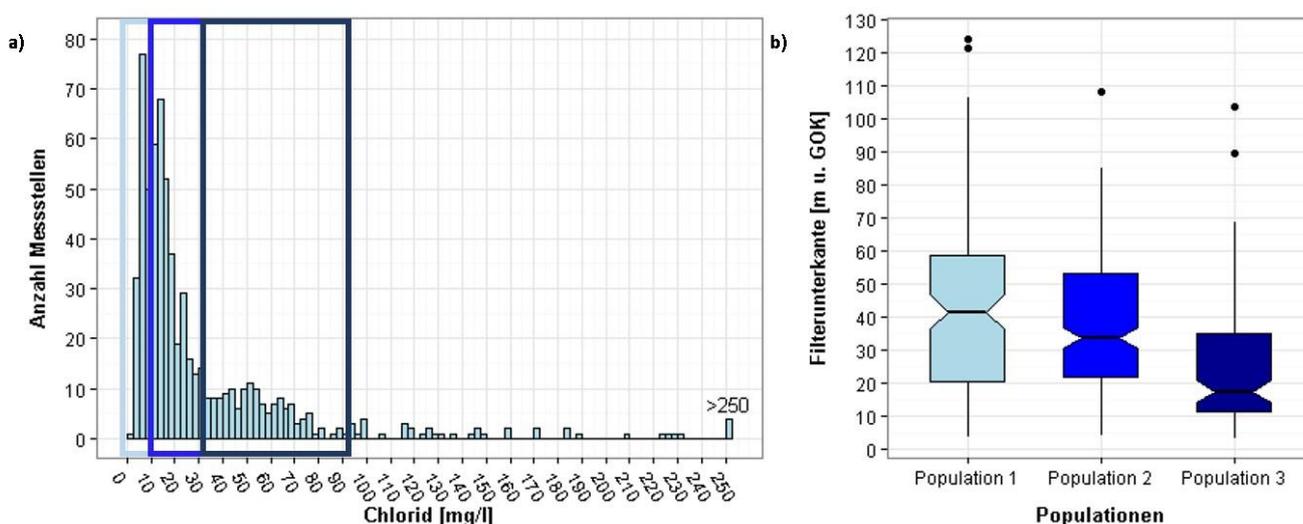


Abbildung 3-14 Tiefenzonierung am Beispiel Chlorid für die hydrogeologische Bezugseinheit „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL“ (BZE 4)

Aus der Häufigkeitsverteilung der Chloridkonzentration (a) ist eine Überlappung verschiedener Populationen ersichtlich. Die einzelnen Populationen sind bis zu einem Konzentrationsbereich von 90 mg/l farblich voneinander zu unterscheiden: Hellblau markiert den Bereich zwischen 0-10 mg/l (Population 1) petrolblau zwischen 10-30 mg/l (Population 2) und dunkelblau zwischen 30-90 mg/l (Population 3). Die Boxplots (oder: „Kastengrafiken“) b) zeigt für alle Messstellen, bei denen die Filterunterkante bekannt war (n=496), die Verteilung der Streuungs- und Lagemaße für die drei verschiedenen Populationen. Dass die Populationen voneinander signifikant verschieden sind, wird durch die sich nicht überschneidenden Kerben der Kästen angedeutet.

Die erste Population umfasst Messstellen mit einer Konzentration unter 10 mg/l. Der Filter dieser Messstellen liegt mehrheitlich in Tiefen zwischen 20 bis 60 m u. GOK (Median: 42 m u. GOK). Die zweite Teilpopulation umspannt Konzentrationsbereiche zwischen 10 bis 30 mg/l und die Messstellen weisen zwar eine ähnliche Tiefenlage auf. Aber liegen tendenziell flacher (Median: 34 m u. GOK). Die flach ausgebauten Messstellen der Population 3 (Median: 17 m u. GOK) weisen Konzentrationen größer als 30 mg/l auf. Obwohl diese Tiefenzonierung in dem vorliegenden Datensatz eine Rolle spielt und sie in vorangegangenen Ableitungen von Hintergrundwerten berücksichtigt worden ist (vgl. HYDOR, 2008; Wagner et al., 2014), wurde diese nicht in das Konzept der Untergliederung integriert. Ausschlaggebend dafür war die fehlende Kenntnis der Filterlagen für alle Messstellen.

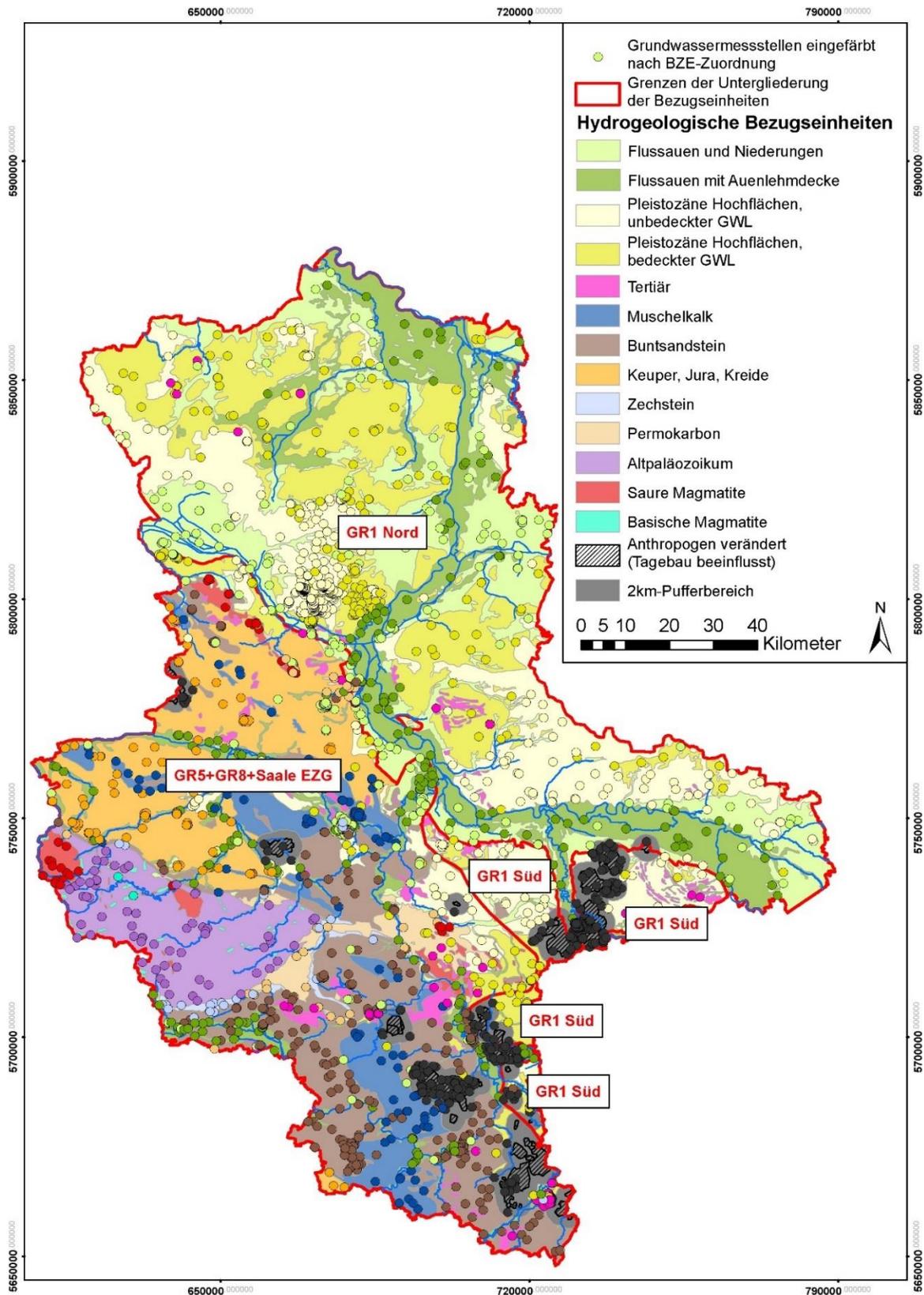


Abbildung 3-15 Untergliederung der hydrogeologischen Bezugseinheiten. (die Untergliederung orientiert sich sowohl an den hydrogeologischen Groß- und Teilräumen als auch an den Konzentrationsmustern der Parameter Chlorid und Sulfat auf lokaler Ebene)

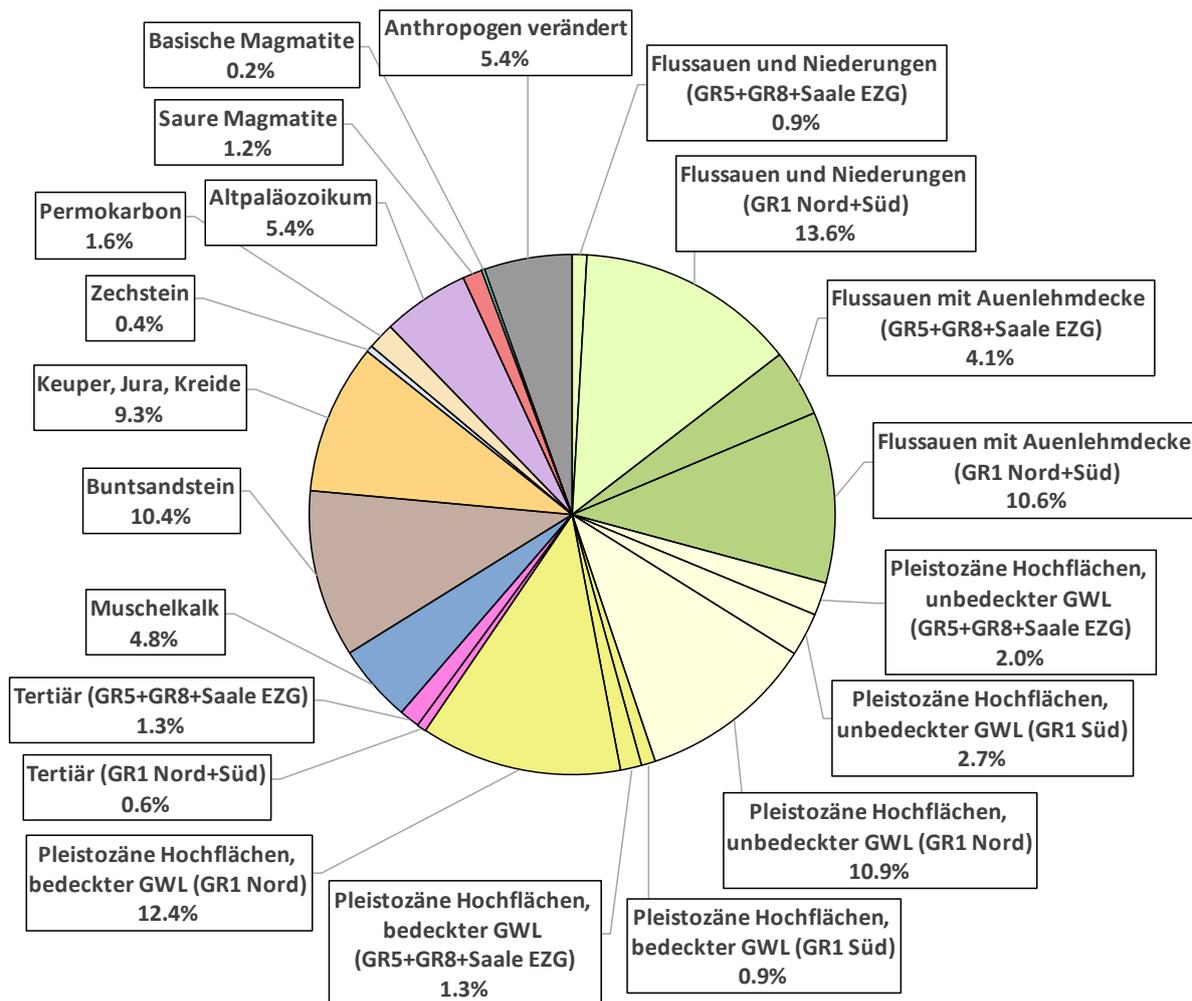


Abbildung 3-16 Flächenanteile der Bezugseinheiten und der entsprechenden Untergliederung  
Bezogen sind die Anteile auf die Gesamtfläche Sachsens-Anhalts von 20554 km<sup>2</sup>.

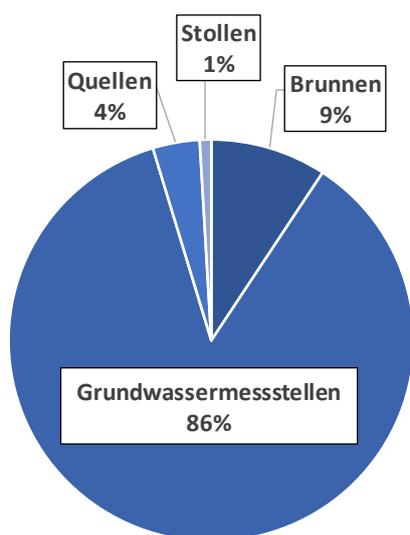
### 3.7. Zusammenfassende Übersicht zu relevanten Beschaffenheits- und Stammdaten

Für die Ermittlung der Hintergrundwerte standen nach der projektbezogenen Eignungsprüfung, den einzelwert- und analysebezogenen Plausibilitätsprüfungen und dem Ausschluss von wenigen Messstellen aufgrund hydrochemischer Eigenschaften und Vor-Ort-Analyse letztlich die Beschaffenheitsdaten von 3156 Grundwassermessstellen inkl. von Quellen zur Verfügung.

Für jede Messstelle lagen hydrochemische Analysen vor, die maximal 49 Parameter umfassten. Um jeder Messstelle die gleiche Bedeutung beizumessen, wurde bei Mehrfachanalysen der Mittelwert für die Bearbeitung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz genutzt. Bei der Anwendung anderer statistischer Verfahren aufgrund unzureichender Datenbasis, wurden mit Einschränkungen alle zur Verfügung stehenden Analysen genutzt. Näheres zu der Methodik wird im nachfolgenden Kapitel 4 erläutert. Jeder dieser Messstellen wurde eine der 14 Bezugseinheiten und bei den Lockergesteinen eine

zusätzliche Untergliederung zugewiesen. Im Folgenden soll eine Übersicht über diesen Datensatz gegeben werden, der auch dem Verständnis der Diskussion über die abgeleiteten Hintergrund- und Schwellenwerte dienen soll. Die Zusammenfassung ist vor allem grafisch dokumentiert.

Als erstes gibt die Abbildung 3-17 Aufschluss über die prozentualen Anteile der Messstellenarten. Mit 86 % bilden die Grundwassermessstellen den Hauptanteil an den für die Ableitung der Hintergrundwerte relevanten Datensatz. Den kleinsten Anteil (5 %) im Datensatz stellen Quellen (Anzahl: 117) und Stollen (Anzahl: 30). Insgesamt 98 % der Einzugsgebiete der Quellen und Stollen sind im Festgesteinsbereich zu lokalisieren. Ein Drittel dieser Messstellen wurde der Bezugseinheit „Altpaläozoikum“ zugeordnet, ungefähr ein Fünftel der Messstellen dem „Buntsandstein“.



Die Grundwassermessstellen und Brunnen können zusätzlich durch ihre Ausbaudaten charakterisiert werden. Für die Einordnung hydrochemischer Daten ist die Kenntnis über die Filterlage einer Messstelle von Relevanz. Für 2311 Messstellen lagen sowohl Daten zu der Filteroberkante, wie -unterkante vor. Zusammengefasst sind diese Angaben in der Abbildung 3-18. Erwartungsgemäß sind die Messstellen in den Lockergesteinen hauptsächlich flach verbaut und weisen mittlere Filtertiefen von weniger als 15 m u. GOK auf. Die Streuung der Filtertiefen bei den „Pleistozänen Hochflächen, unbedeckter GWL“, sowie „Pleistozänen Hochflächen, bedeckter GWL“ ist jedoch im Vergleich zu den anderen quartären Bezugseinheiten größer. Hier sind Filterlagen in Bereichen zwischen 15 und 45 m u. GOK zu erwarten.

Abbildung 3-17 Prozentualer Anteil der Messstellenarten der 3156 Messstellen

Dies steht im Zusammenhang mit den Grundwasserflurabständen, die in den pleistozänen Hochflächen durchschnittlich höher sind in den Niederungen. Dabei sind die bedeckten Grundwasserleiter oft in tieferen Bereichen als die unbedeckten Grundwasserleiter anzutreffen.

Auch die große Anzahl von Messstellen in den beiden Einheiten trägt zu der Streuung bei. Die tertiären Bereiche stechen mit Tiefen bis zu 150 m u. GOK hervor. Die Filterlagen bewegen sich in dieser Einheit im Mittel zwischen 20 und 75 m u. GOK. Dies deckt sich gleichfalls mit den Grundwasserflurabständen, die im Vergleich zu den anderen Einheiten eine große Bandbreite aufweisen und auf sehr tiefe Grundwasserleiter schließen lassen.

Die Bezugseinheit „Zechstein“ hebt sich von allen Einheiten ab, da diese Grundwasserleiter in der Regel in Tiefen über 100 m u. GOK anzutreffen sind. Dementsprechend liegen die Filtermitten hauptsächlich zwischen 80 und 260 m u. GOK. Die Mehrheit der Messstellen in den Festgesteinen zeigen nur für die Einheit „Muschelkalk“ und „Buntsandstein“ Filtertiefen über 25 m u. GOK auf. Bei der Einheit „Anthropogen verändert, Tagebau beeinflusst“ wird die heterogene Zusammensetzung der Messstellen auch durch die große Streuung der Filterlagen widerspiegelt (zw. 3 bis 216 m u. GOK).

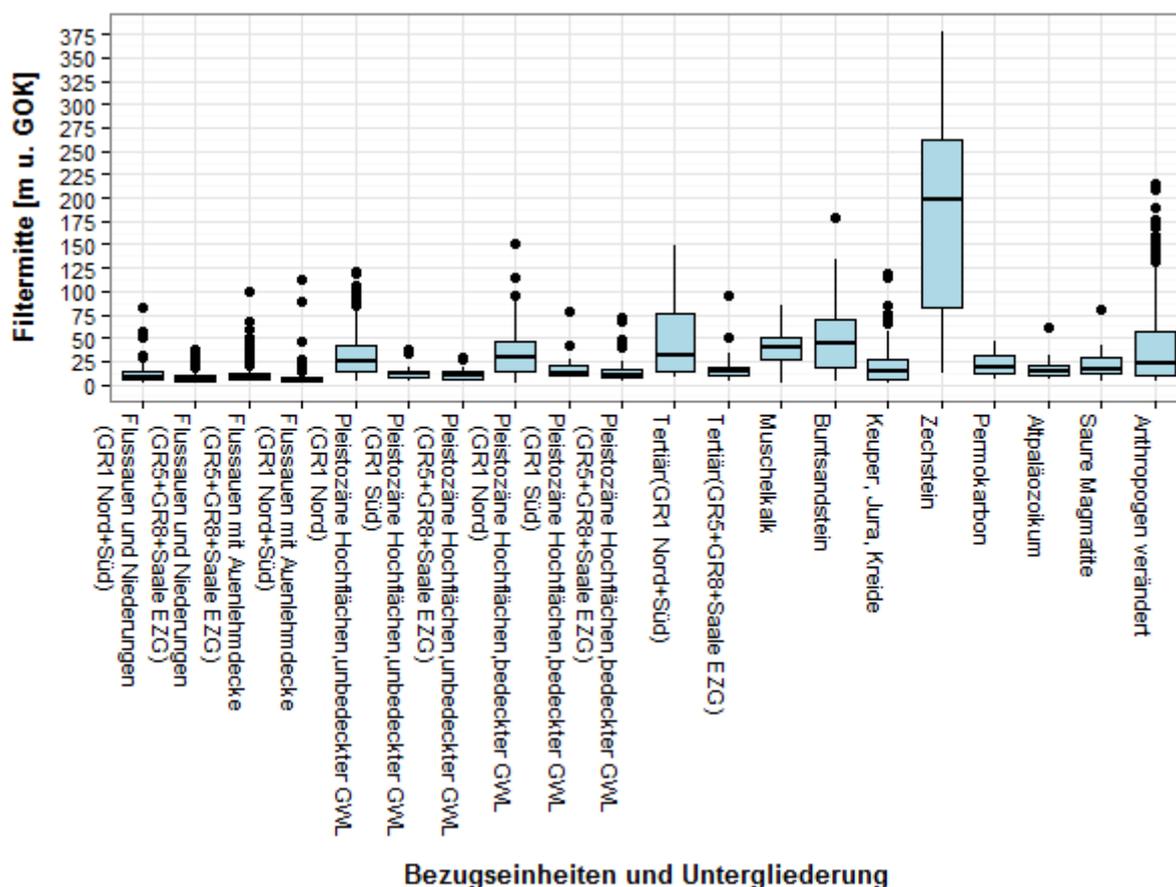


Abbildung 3-18 Mittlere Filterteufen in Abhängigkeit von der untergliederten Bezugseinheit

Neben der Messstellenart und Filterlage interessiert die Messstellenanzahl pro Bezugseinheit und Untergliederung. Diese ist in der Abbildung 3-19 aufgeführt. Wie schon erwähnt, weisen vor allem die Gebiete in den pleistozänen Hochflächen eine hohe Messstellenanzahl auf. Weniger als 100 Messstellen zählen die pleistozänen Hochflächen im Festgesteinsbereich und Süden Sachsens-Anhalts, das „Tertiär“, „Zechstein“, „Permokarbon“, „Altpaläozoikum“, die „Sauren Magmatite“ und „Basischen Magmatite“. Die Bezugseinheiten „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ und „Buntsandstein“ haben die dritt- und viertgrößte Anzahl an Messstellen. Die parameterbezogene Messstellenanzahl ist der Anlage 3: Parameterbezogene Übersicht zu der Anzahl der Messstellen pro Bezugseinheit und Untergliederung zu entnehmen. Auch die Messstellendichte gibt Aufschluss über die Repräsentativität der Analysen für die gegebenen Einheiten.

Die Gegenüberstellung der Messstellenanzahl und Flächengröße ist der Abbildung 3-20 zu entnehmen. Die Einheiten „Flussauen und Niederungen (GR5+GR8+Saale EZG)“, „Flussauen mit Auenlehmdedecke (GR5+GR8+Saale EZG)“, „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR1 Nord)“, „Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)“, „Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)“, „Zechstein“, „Saure Magmatite“ und „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ besitzen gemessen an ihrem prozentualen Flächenanhalt in Sachsen-Anhalt einen – auf die Anzahl von 3156 Messstellen bezogenen – höheren Prozentsatz. Die Messstellendichte in den anderen Gebieten ist teils sehr viel geringer. Die räumliche Verteilung selbst ist kartografisch in der Abbildung 3-15 aufgezeigt. Für die statistische Ableitung der Hintergrundwerte selbst war jedoch nur die parameterbezogene Anzahl an Messstellen bzw. Analysen von Relevanz.

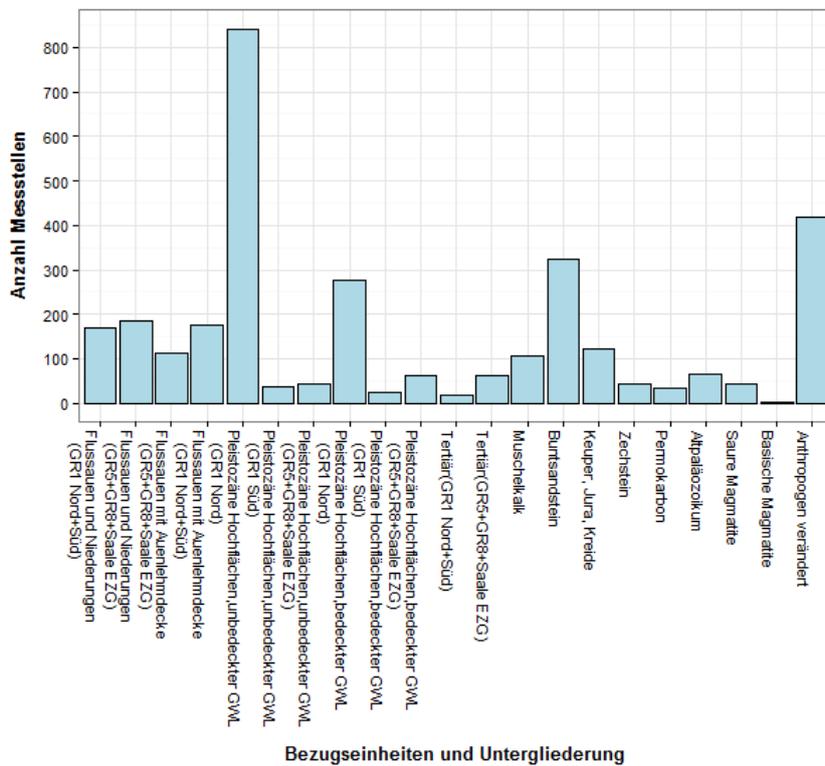


Abbildung 3-19 Anzahl der Messstellen pro untergliederter Bezugseinheit

Für die Ableitung der Schwellenwerte pro Grundwasserkörper ist nicht die Messstellenanzahl pro Grundwasserkörper, sondern der Flächenanteil der Bezugseinheiten inkl. der vorgenommenen Untergliederung von Bedeutung. Eine Übersicht dazu ist in der Abbildung 3-21 aufgestellt. Die tabellarische Ausführung zu den prozentualen Flächenanteilen ist Anlage 4 zu entnehmen. Nur sieben Grundwasserkörper (4\_2103, 4\_2109, EL 2-1, MEL\_EN\_4, NI11\_1, SAL GW 035, SAL GW 036) bestehen nur aus einer Einheit.

Die Mehrheit der Grundwasserkörper besteht fünf verschiedenen Einheiten. Inwiefern der Flächenanteil Einfluss auf die Ableitung des Schwellenwertes auf Grundwasserkörperebene hat ist in Abschnitt 4.3 erläutert.

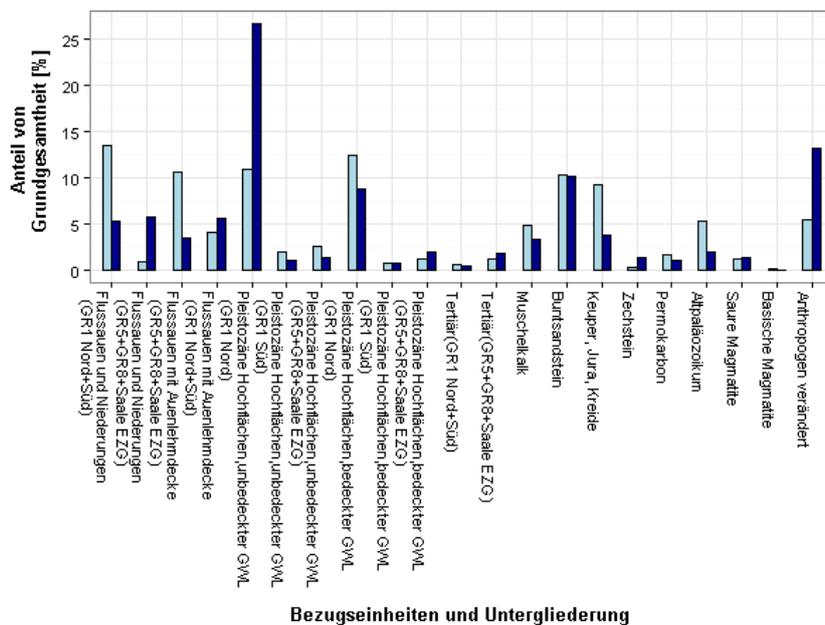


Abbildung 3-20 Einheitsbezogene Gegenüberstellung des prozentualen Anteils der Fläche (hellblau) und Messstellenanzahl (dunkelblau) an der jeweiligen Grundgesamtheit.

Nach der Charakterisierung der Stammdaten und der Übersicht zu der Anzahl an Messstellen pro Parameter und Einheit werden an dieser Stelle exemplarisch die hydrochemischen Daten beschrieben. Sowohl für einen ersten Überblick, als auch eine detaillierte Analyse eignen sich Histogramme und Kastengrafiken zur Beschreibung eines Datensatzes.

Dabei zeigen Histogramme die Häufigkeitsverteilung in Bezug auf Konzentrationsspannen und geben zum Beispiel Aufschluss über die Schiefe der Verteilung. Zudem kann ein Histogramm auch Hinweise auf verschiedene Populationen in einer Einheit geben. Die Kastengrafik gibt rangstatistische Merkmale wider: Der Kasten selbst umfasst alle Daten innerhalb des ersten und dritten Quantiles. Der Strich in dem Kasten markiert den Median. Die Enden der Antennen beschränken sich auf maximal das 1.5-fache des Interquartilsabstandes. Jedoch endet die Antenne bei dem Wert der Daten, der noch innerhalb dieser Grenze liegt. Werte außerhalb dieser Grenze zeigen potentielle Ausreißer an. Daher können Kastengrafiken auch die Identifikation von Extremwerten unterstützen.

Für die Parameter Chlorid, Sulfat, Ammonium und Ortho-Phosphat sind diese Kastengrafiken exemplarisch in der Abbildung 3-22 aufgeführt. Die anderen Parameter sind in Anlage 5: Parameter- und einheitsbezogene Übersicht zu den Stoffkonzentrationen aufgeführt. Die Kastengrafiken sind in der Regel an subjektiv festgelegten Obergrenzen beschnitten, damit der Datensatz besser veranschaulicht werden kann. Daher sind stellenweise nicht alle Ausreißer dargestellt und manche Kästen und Antennen nicht vollständig abgebildet. Anzumerken ist außerdem, dass in der Darstellung auch Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze (in voller Höhe) mit eingeflossen sind. Die Darstellung der Einheit „Basische Magmatite“ (BZE 14) ist generell nicht sehr repräsentativ, da hierbei maximal zwei Werte vorlagen.

Die Kastengrafiken geben wichtige Anhaltspunkte zu den Konzentrationsspannen eines Parameters in den verschiedenen Einheiten. Vor allem in Zusammensicht treten deutliche Unterschiede hervor. Beispielsweise weisen die Festgesteinsbereiche (GR5+GR8+Saale EZG) der Einheiten „Flussauen und Niederungen“ (BZE 1), „Flussauen mit Auenlehmedecke“ (BZE 2), sowie „Tertiär“ (BZE 6) deutlich höhere Chlorid- und Sulfatkonzentrationen auf, als der Lockergesteinsbereich (GR1 Nord+Süd) (vgl. Abbildung 3-22). Auch für die Einheiten „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL“ (BZE 4) und „Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL“ (BZE 5) ist die Untergliederung von großer Relevanz.

Bei den Parametern Ammonium und Sulfat hingegen erscheinen die Unterschiede innerhalb der untergliederten Einheiten nicht sehr markant. Gleichfalls lässt die Zusammenschau vermuten, dass es sich bei der Einheit „Altpaläozoikum“ (BZE 12) um relativ gering mineralisierte Wässer handelt. Gleichfalls spiegeln die Kastengrafiken die Streuung eines Datensatzes wider. Sie drückt sich durch die Gesamtlänge des Kastens (mit Antennen) aus. Bezeichnend dafür ist zum Beispiel die Einheit „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ (BZE 15) bei dem Parameter Ammonium. Histogramme und Kastengrafiken wie sie in der Abbildung 3-22 und in Anlage 4: Prozentuale Flächenanteile der Grundwasserkörper an den untergliederten Bezugseinheiten dargestellt sind, waren ein sehr wichtiges Hilfsmittel bei der Ableitung der Hintergrundwerte.

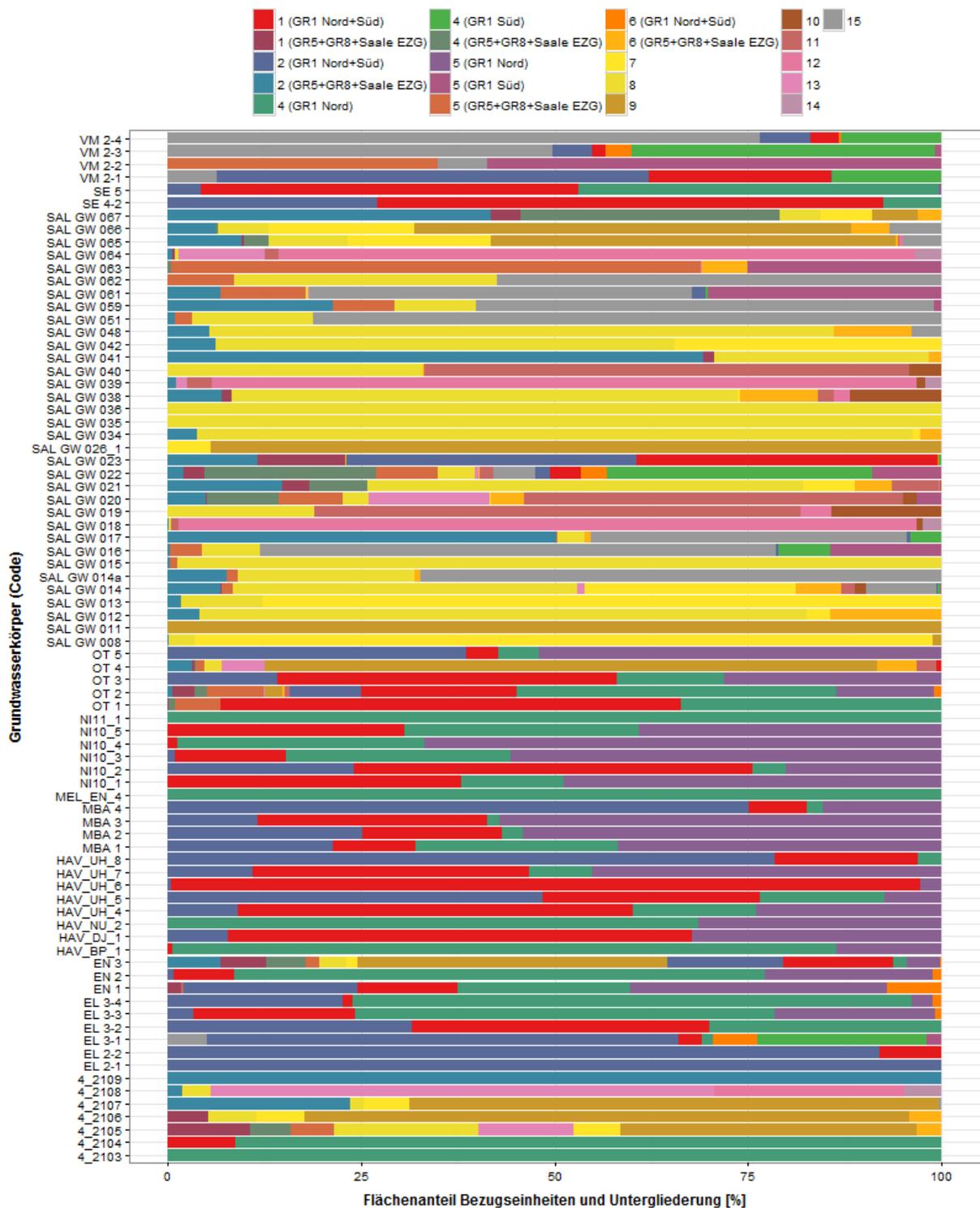


Abbildung 3-21 Prozentualer Flächenanteil der Bezugseinheiten und ihren Untergliederungen an den Grundwasserkörpern.  
 Die Grundwasserkörper werden durch den jeweiligen GWK-Code verschlüsselt. Die meisten Grundwasserkörper sind in Bezug auf ihre Anteile an den Bezugseinheiten heterogen aufgebaut.

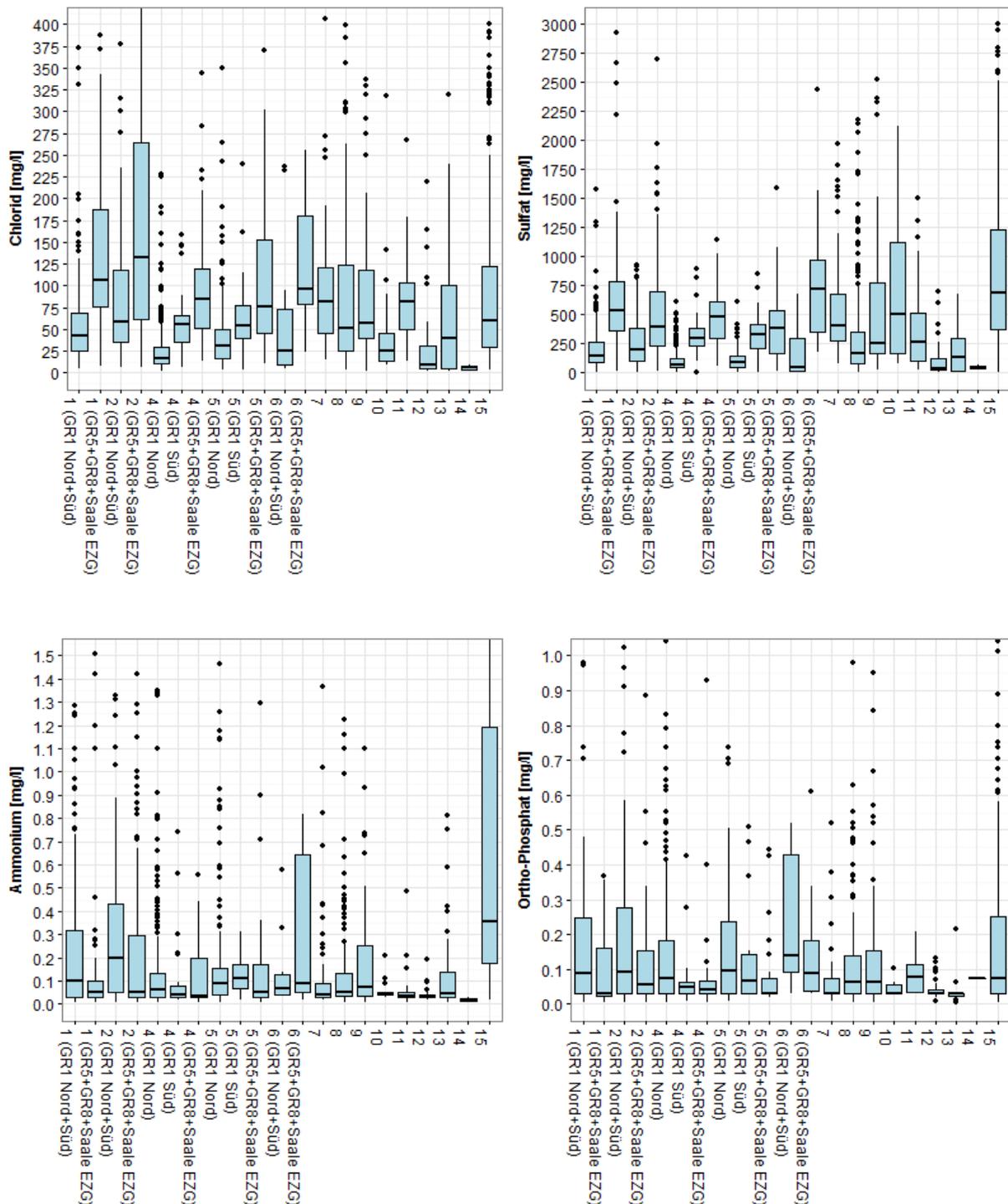


Abbildung 3-22 Kastengrafiken zu der einheitsbezogenen Konzentrationsverteilung ausgewählter Parameter (Chlorid, Sulfat, Ammonium und Ortho-Phosphat).

Schlüssel für Untergliederung: 1 = Flussauen und Niederungen, 2 = Flussauen mit Auenlehmdecke, 4 = Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL, 5 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 6 = Tertiär, 7 = Muschelkalk, 8 = Buntsandstein, 9 = Keuper, Jura, Kreide, 10 = Zechstein, 11 = Permokarbon, 12 = Altpaläozoikum, 13 = Saure Magmatite, 14 = Basische Magmatite, 15 = Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)

## 4. Methodik zur Ermittlung der Hintergrund- und Schwellenwerte

### 4.1. Vorbemerkungen

Der Hintergrundwert eines chemischen Stoffes im Grundwasser ist in Anlehnung an die Definition von Kunkel et al. (2004) als die Obergrenze der Konzentrationen definiert, die im Grundwasser der jeweils untersuchten hydrogeochemischen Einheit unter dem Einfluss der natürlichen Einwirkungen entsteht. Die Autoren verweisen jedoch zu Recht darauf, dass die aktuell ubiquitär vorhandenen, anthropogenen Einflüsse in einem dicht besiedelten Land wie der Bundesrepublik Deutschland von natürlichen Einwirkungen nicht mehr abgetrennt werden können. Ähnlich argumentieren auch andere Autoren (Hannappel 1996, Schenk 2003, Wagner et al. 2014). Jahnke (2016) betont, dass grundsätzlich immer der Datenselektion und -vorbereitung eine große Bedeutung zukommt. Dem wurde deshalb im durchgeführten Projekt ein besonderes Gewicht beigemessen.

Beide Determinanten der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers - die natürlichen Prozesse und anthropogenen Einflüsse - können durch Vielfalt und unterschiedliche räumliche und zeitliche Skalen charakterisiert sein. Kleinräumige Anomalien geogener, sowie anthropogener Natur können in unterschiedlicher Intensität ausgeprägt sein und sich in der Häufigkeitsverteilung eines Parameters auch auf unterschiedliche Konzentrationsbereiche auswirken. Als Anomalie definiert sind Abweichungen von der für eine Umgebung charakteristischen Verteilung. Bei zunehmender Größe des Untersuchungsraumes und steigender Probenzahl ist darüber hinaus davon auszugehen, dass sich Hintergrundpopulationen überlagern können.

Um den natürlich, ubiquitär überprägten Hintergrundwert eines Parameters in einer Einheit festlegen zu können, sind daher die Anomalien zu identifizieren und, abzielend auf die Ausweisung einer Normalpopulation, abzutrennen. Außerdem sollte eine hydrochemische Einheit erstens ausreichend groß sein, um einen Stichprobenumfang zu erheben, mit dem eine statistische Auswertung möglich ist. Zweitens sollte die Einheit möglichst klein sein, um das Auftreten von Mischpopulationen zu vermeiden. Den beiden letzten Aspekten wurde bei der Untergliederung der hydrogeologischen Bezugseinheiten von Sachsen-Anhalt Rechnung getragen. Nicht berücksichtigt wurde jedoch die geogene Tiefenzonierung der Grundwassereigenschaften.

Zur Abgrenzung von Anomalien und somit zur Identifikation der Normalpopulation stehen verschiedenen statistische Verfahren zur Verfügung (vgl. HYDOR, 2008; Jahnke, 2015). Auf Bundesebene angewandt und gesetzlich festgeschrieben ist dafür der Einsatz von Wahrscheinlichkeitsnetzen (nach DIN 53804-1) (vgl. Wagner et al., 2014). Auf das Verfahren selbst wird in Kap. 4.2 detailliert eingegangen. Mithilfe dieses grafischen Verfahrens können einfach das 90. Perzentil, welches als Hintergrundwert definiert wird, und die Verteilungsparameter Mittelwert und Standardabweichung abgeleitet werden, um die Normalpopulation zu charakterisieren. Es weist in Bezug auf die Messwertmindestanzahl im unteren Bereich Grenzen auf. Bei unzureichender Datenbasis wurde die Ableitung des Hintergrundwertes auf andere Art und Weise vorgenommen. Beschrieben sind diese Methoden in Abschnitt 4.2.2. Das Verfahren wird aktuell in Deutschland weitverbreitet eingesetzt (NW, SL, BY) und ist auch für andere Umweltmedien geeignet: in Bayern wird es zum Beispiel auch zur Bestimmung der Hintergrundgehalte von anorganischen Spurelementen in oberirdischen Fließgewässersedimenten eingesetzt (mdl. Auskunft T. Walter, MU Saarland), die auch in Sachsen-Anhalt unter Einsatz verschiedener Methoden aktuell ermittelt wurden (Schneider et al., 2017).

Neben den Hintergrundwerten sind Schwellenwerte für die zehn in der novellierten Grundwasserverordnung genannten Parameter Ammonium, Arsen, Blei, Cadmium, Chlorid, Nitrit, Nitrat, Ortho-Phosphat, Quecksilber und Sulfat festzulegen. Die Schwellenwerte sind ein wichtiger Maßstab zur Beurteilung des chemischen Zustandes des Grundwassers und werden auf Ebene der Grundwasserkörper bestimmt. Schwellenwerte definieren obere Grenzen für anthropogen verursachte Belastungen. Daher ist die Kenntnis von der geogenen Hintergrundkonzentration von großer Bedeutung. Denn überschreitet die Hintergrundkonzentration den in der Grundwasserverordnung festgelegten Schwellenwert, darf dieser Schwellenwert erhöht werden. Auf diese Weise wird die natürliche Zusammensetzung des Grundwassers berücksichtigt. Die generelle Ableitung der Schwellenwerte auf Ebene der Grundwasserkörper wurde über die Bildung des flächengewichteten Mittels der auf Ebene der Bezugseinheiten abgeleiteten Hintergrundwerte vorgenommen. Genauer wird die Methodik in Abschnitt 4.3 erläutert.

## 4.2. Methodik der Ermittlung der Hintergrundwerte pro Bezugseinheit

### 4.2.1. Wahrscheinlichkeitsnetze zur Bestimmung der Normalpopulationen

Das hier eingesetzte Verfahren auf Basis von Wahrscheinlichkeitsnetzen geht auf Lepeltier (1969) zurück und beruht auf der Darstellung kumulativer Häufigkeiten. Es ist ein einfaches grafisches Verfahren, um die Verteilung der Werte einer Variablen zu analysieren. Im Probnest ist auf der Abszisse die Verteilung  $x$  einer Zufallsvariable abgetragen. Auf der Ordinate hingegen werden nicht die Werte von  $x$ , sondern deren Verteilungsfunktionswerte dargestellt, die wie folgt berechnet werden:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Auf diese Weise werden Normalverteilungen oder auch normalverteilte Abschnitte einer Zufallsvariable als Gerade abgebildet. Eine Normalpopulation ist dementsprechend durch optische Prüfung identifizierbar. Mischungen verschiedener Populationen (auch anomaler Populationen) erscheinen im Wahrscheinlichkeitsnetz als Teilgeraden unterschiedlicher Länge und Steigung. Darüber hinaus sind die Verteilungsparameter für den ausgewählten Geradenabschnitt einfach zu bestimmen. Der Mittelwert entspricht dem Median und die Steigung der Geraden gibt die Standardabweichung vor.

Bei logarithmisch skaliertem Messwertachse können auch lognormale Verteilungen durch das Wahrscheinlichkeitsnetz analysiert werden. Mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes können Anomalien abgetrennt werden und somit die Hintergrundpopulation ermittelt werden. Für diese Population wird dann der Mittelwert, die Standardabweichung und das 90. Perzentil berechnet. Letzteres wird als natürlicher Hintergrundwert dieser Normalpopulation definiert. Ausnahmen bilden pH-Wert und Sauerstoff: Bei diesen wird neben den 90. Perzentil auch das 10. Perzentil ausgewiesen. Denn die unteren Konzentrationsbereiche sind von höherer Relevanz in Bezug auf die Zustandsbewertung von Grundwasserkörpern, da so saure beziehungsweise sauerstoffarme Flächen identifiziert werden können. In dem vorliegenden Projekt wurde zur Identifizierung der Normalpopulation und Ermittlung der statistischen Kenngrößen eine eigens für die Ableitung von Hintergrundwerten programmierte Excel-Anwendung verwendet, das sogenannte Probnest (Walter 2008<sup>3</sup>).

<sup>3</sup> Anleitung für die Auswertung der Datensätze mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz; gez. B. Wagner, A. Steinel, P. Clos, T. Walter, M. Hübschmann 14.01.2013 (unveröff., aktualisiert und zum pers. Gebrauch übergeben von Hr. T. Walter im Februar 2017)

In dieser Anwendung kann zwischen normalen und lognormalen Verteilungen unterschieden werden. In der Regel wurde bei den Parametern von einer lognormalen Verteilung ausgegangen. Auch ist bereits der Umgang mit Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze vorprogrammiert. Diese Werte gehen nicht direkt in die Ableitung des Hintergrundwertes ein, sondern nur deren prozentualer Anteil wird im unteren Bereich der Verteilung entsprechend extrapoliert. Das heißt, die Daten unterhalb der Bestimmungsgrenzen werden Probnets intern gelöscht, aber durch die Extrapolation in vollem Umfang berücksichtigt.

Da die Geradenparameter direkt über eine Regression berechnet werden, ist die Extrapolation in diesem Verfahren erlaubt. Würde man die Daten unterhalb der Bestimmungsgrenze wie Positivfunde behandeln, käme es in der Darstellung im Wahrscheinlichkeitsnetz zu einer Stufenbildung, die die Auswertung verfälschen und erschweren würde. Da einige Parameter auch trotz dieses Vorgehens Stufen im unteren Bereich aufwiesen, wurden diese Konzentrationsabschnitte unter der Annahme, dass es sich dabei um nicht als unterhalb der Bestimmungsgrenze gekennzeichnete Werte handelt, gleichfalls Probnets intern entfernt. Außerdem integriert in die automatisierte Anwendung ist der Umgang mit Bereichen, in denen die Hintergrundpopulation durch andere Populationen überlagert wird. In diesen Fällen ist die Normalpopulation nicht eindeutig von Anomalien abgrenzbar. Deshalb werden die Daten im Überlappungsbereich zwar Probnets intern gelöscht, deren Anzahl aber bei der Ableitung der Verteilungsparameter berücksichtigt.

Nachdem eine Normalpopulation durch das Abtrennen von oberen und unteren Werten festgelegt worden ist, können verschiedene statistische Kenngrößen dieser Populationen berechnet werden. Die Identifikation der Normalpopulation ist vom Sachverstand des Bearbeiters abhängig und wurde durch eine Probnets-unabhängige Visualisierung der Verteilung der Parameter in Histogrammen und Kastengrafiken unterstützt. Zur Kontrolle der Ergebnisse sind im Probnets außerdem zwei verschiedene statistische Tests eingebaut, die prüfen, inwiefern die Population eines Geradenabschnittes signifikant normalverteilt ist. Prüfgrößen sind einerseits der d'Agostino-Perason-Test (D'Agostino, Belanger, & D'Agostino, 1990) und andererseits die Korrelationsanalyse nach Ryan & Joiner (1976).

Um einen statistisch gesicherten Hintergrundwert zu erhalten, wurde die Mindestanzahl der Werte, die eine Normalpopulation beschreiben, auf zehn Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze festgelegt. Liegen mehr als 90 % der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze vor, kann das 90. Perzentil nicht anhand diskreter Werte ermittelt werden. Daher wurden in den zuvor beschriebenen Grenzfällen andere statistische Verfahren eingesetzt (4.2.2). Bei der Auswertung mit dem Probnets wurde zumindest bei den Hauptkationen und -anionen darauf geachtet, dass nicht mehr als 45 % der Werte durch die Abtrennung von Anomalien entfernt worden. Dieses Kriterium konnte bei Neben- und Spurenstoffen aufgrund der hohen Anzahl an Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze nicht angewandt werden.

Anhand eines Beispiels soll die Funktionsweise des Probnets kurz veranschaulicht werden. In der Abbildung 4-1 ist die Normalpopulation des Parameters Ortho-Phosphat für die Einheit „Zechstein“ in dem Probnets abgebildet (Anzahl Werte insgesamt: 19). Die blauen Punkte stellen die diskreten Werte dar. Im Probnets wurden hierfür nur die messstellenbezogenen Werte eingespeist. Obere Anomalien wurden bereits abgetrennt (Anzahl anomaler Werte: 2).

Der im Probnat identifizierte Geradenabschnitt (dunkelblaue Linie) ist durch ein Minimum (0.031 mg/l, grüne Horizontale) und Maximum (0.061 mg/l, rote Horizontale) begrenzt. Jedoch wird der Geradenabschnitt durch Extrapolationen im unteren Bereich erweitert (grün gestrichelter Pfeil).

Im unteren Bereich wurde die Extrapolation aufgrund von Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze (Anzahl: 6; 32 % der Grundgesamtheit) vorgenommen. Dadurch verschiebt sich der Wertebereich in der Grafik nach rechts und wird so verkürzt, als ob über den gesamten unteren Bereich Werte vorliegen. Entsprechend ändert sich auch die Steigung der Geraden. Das kann, wie im vorliegenden Fall, den Effekt haben, dass der berechnete Mittelwert kleiner als das Minimum der vorliegenden Positivfunde der Normalpopulation ist.

Wichtig für die Charakterisierung der Normalpopulation ist jedoch neben der Standardabweichung und dem 90. Perzentil nur der Mittelwert. Auch im oberen Konzentrationsbereich können Daten extrapoliert werden. Dies betrifft dann den Überlappungsbereiche. Durch die Berücksichtigung der Daten bei hohen Konzentrationen wird der Geradenabschnitt zusätzlich gestaucht und der Hintergrundwert erhöht. Für Ortho-Phosphat wurde für diese Einheit jedoch kein Überlappungsbereich identifiziert. Der Hintergrundwert liegt nach der Auswertung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz für Ortho-Phosphat in der Bezugseinheit „Zechstein“ bei 0.050 mg/l. Der Mittelwert der Normalpopulation beträgt 0.026 mg/l und die einfache Standardabweichung 1.66 mg/l. Entfernt wurden 15 % der Werte aus dem Datensatz und beide im Probnat integrierte Kontrolltestverfahren ergaben eine hohe Signifikanz.

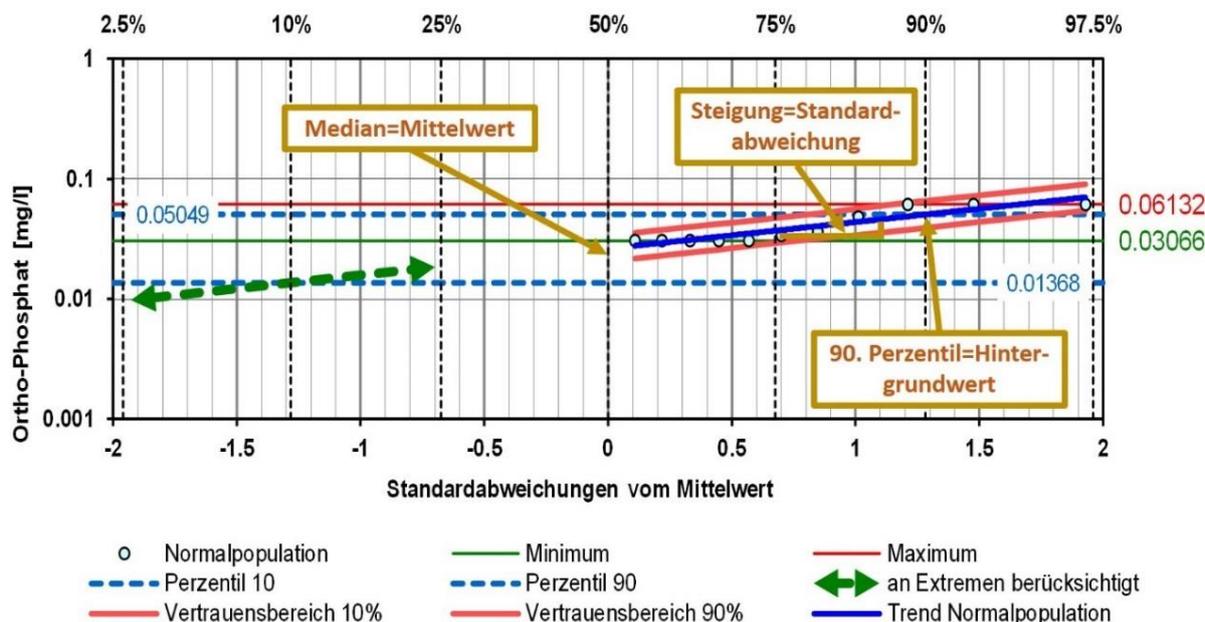


Abbildung 4-1 Konzentrationsverteilung von Ortho-Phosphat [mg/l] für die Einheit „Zechstein“ im Wahrscheinlichkeitsnetz

(Abszisse und Ordinate sind in dieser Darstellung gegenüber den üblichen Anwendungen von Wahrscheinlichkeitsnetzen vertauscht. Das 90. Perzentil, der Mittelwert und die Standardabweichung sind die statistischen Kenngrößen, die für die Charakterisierung der Normalpopulation herangezogen wurden)

#### 4.2.2. Anwendung weiterer statistischer Verfahren bei unzureichender Datenbasis

Die Anwendung des Probnets zur Ausweisung und Charakterisierung einer Normalpopulation wurde, wie beschrieben, auf eine Mindestanzahl von zehn Werten oberhalb der Bestimmungsgrenze begrenzt. Wenn dementsprechend nach der Abtrennung von Anomalien weniger als zehn diskrete Werte vorlagen, wurden andere Methoden zur Ableitung eines Hintergrundwertes eingesetzt. Auch wenn mehr als 90 % der Werte eines Parameters in einer Einheit unterhalb der Bestimmungsgrenze vorlagen, konnte das Wahrscheinlichkeitsnetz nicht angewandt werden. Insbesondere die Neben- und Spurenstoffe waren davon betroffen. In der Einheit „Basische Magmatite“ (BZE 14) konnte das Wahrscheinlichkeitsnetz generell nicht eingesetzt werden, da hier nur zwei Messstellen vorlagen.

Für die alternativen statistischen Verfahren wurden aufgrund mangelhafter Datenlage nicht die messstellenbezogenen Mittelwerte, sondern die Einzelwerte von allen Analysen ausgewählter Messstellen einbezogen. Dafür wurden die Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze halbiert. Lagen insgesamt weniger als zehn Analysen vor, wurde der Mittelwert als Hintergrundwert ausgewiesen. Bei weniger als zwei Analysen wurde kein Hintergrundwert festgelegt - hier ist zur Ausweisung eines repräsentativen Hintergrundwertes vorerst eine weitere Datenerhebung erforderlich.

Bei mehr als zehn Analysen wurde der Hintergrundwert rangstatistisch berechnet und in Anlehnung an Schleyer & Kerndorff (1992) über das 84.1 Perzentil bestimmt. Für die Parameter pH-Wert und Sauerstoff wurde zusätzlich das 15.9. Perzentil bestimmt. Sowohl bei dem rangstatistischen Verfahren, als auch bei der Mittelwertbildung wurde von einer expliziten Ausweisung einer Normalpopulation und deren statistischen Charakterisierung abgesehen. Für die Anwendung von dem rangstatistischen Verfahren und die Mittelwertbildung wurde eine Präselektion der Daten vorgenommen, da durch diese Verfahren extrem hohe Analysewerte nicht identifiziert und abgetrennt werden können.

Um dem Ziel nahe zu kommen, nur die Analysen unbeeinflusster Messstellen zu berücksichtigen, wurden erstens nur Messstellen ausgewählt, deren Konzentrationen bei den Hauptparametern zu dem geogenen Normalbereich der jeweiligen Parameter in der jeweiligen Einheit zählten. Dafür wurden die Maximalwerte der im Wahrscheinlichkeitsnetz ermittelten Normalpopulationen als obere Schranken ausgewiesen. Die entsprechenden Maximalwerte sind für die Hauptinhaltsstoffe in der Tabelle 4-1 aufgeführt. Messstellen, deren Mittelwerte die Schranke des jeweiligen Hauptparameters überschritten, wurden für die weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt. Wies eine Messstelle zu einem Hauptparameter keine Analysen auf, wurde sie ebenfalls nicht in die weiteren Schritte einbezogen. Insgesamt wurden auf diese Weise 1200 Messstellen selektiert, die in Bezug auf die Konzentrationen der Hauptparameter, den geogenen Hintergrund in ihrer jeweiligen Einheit repräsentierten.

Insbesondere für Schwermetalle wurde festgestellt, dass diese Präselektion unzureichend ist. Dies betraf beispielsweise anthropogene Beeinflussungen, wie Deponien. Daher wurde hier noch eine zusätzliche Auswahl getroffen: Erstens wurden 13 Messstellen aufgrund beträchtlicher anthropogener Beeinflussung ausgeschlossen.

Diese sind in Tabelle 4-2 angeführt. Zweitens wurde für die Metalle Arsen, Blei, Bor, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Nickel und Quecksilber einheitsbezogen das 90. Perzentil von der beschriebenen Datengrundlage bestimmt und die Einzelwerte oberhalb dieser Perzentile (parameter- und einheitsbezogen)

entfernt (

Tabelle 4-3). Zudem wurden Einzelwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze ausgeschlossen, die die Konzentration des jeweiligen Geringfügigkeitsschwellenwertes (LAWA 2016) überschritt. Auf Basis der präselektierten Analysen wurde dann das 84.1. Perzentil parameterbezogen für Einheiten berechnet, die mehr als 9 Analysen zählten. Es wurde zusätzlich eine Unterscheidung in Bezug auf den Anteil der Analysen unterhalb der Bestimmungsgrenze getroffen. Lagen mehr als 84.1 % der Werte, auf deren Grundlage ein Hintergrundwert abgeleitet wurde, unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde dies gesondert gekennzeichnet. Grund hierfür war, dass in diesen Fällen der abgeleitete Hintergrundwert auf oder zwischen eine Bestimmungsgrenze fällt und dieser Aspekt beispielsweise bei dem Vergleich von Hintergrundwerten von Gewicht ist.

Tabelle 4-1 Maximalwerte der Normalpopulationen der Hauptkationen und -anionen

Hydrogeologische Bezugseinheit	Ca [mg/l]	Cl [mg/l]	HCO <sub>3</sub> [mg/l]	K [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	SO <sub>4</sub> [mg/l]
Flussauen und Niederungen (GR 1 Nord+Süd)	230	124	308	9	50	70	197
Flussauen und Niederungen (GR5+GR8+Saale EZG)	483	201	577	25	100	139	138
Flussauen mit Auenlehmdecke (GR 1 Nord+Süd)	269	138	280	12	53	100	410
Flussauen mit Auenlehmdecke (GR5+GR8+Saale EZG)	456	306	470	13	108	214	249
Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR 1 Nord)	107	76	271	5	19	22	482
Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR 1 Süd)	323	89	332	9	49	37	520
Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)	441	131	531	17	104	100	334
Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR 1 Nord)	147	88	355	8	29	36	197
Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR 1 Süd)	292	90	436	9	55	37	1427
Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)	422	301	421	15	112	103	234
Tertiär (GR 1 Nord+Süd)	80	95	409	13	49	20	359
Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)	343	180	397	15	132	170	660
Muschelkalk	410	192	580	10	145	70	651
Buntsandstein	248	210	566	11	109	105	778
Keuper, Jura, Kreide	474	206	671	21	117	75	643
Zechstein	362	48	387	6	139	39	386
Permokarbon	336	117	525	10	110	89	543
Altpaläozoikum	112	58	226	4	19	29	740
Saure Magmatite	353	240	304	14	75	74	441
Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)	591	270	730	24	131	257	695

Tabelle 4-2 Auflistung von vom Ausschluss betroffener Messstellen. Die aufgeführten Messstellen weisen eine erhebliche nachgewiesene anthropogene Beeinflussung auf. Daher wurden ihre Analysen nicht bei der Ableitung der Hintergrundwerte mit dem rangstatistischen Verfahren bzw. der Mittelwertbildung berücksichtigt.

Name MST	Projekt-ID	LIMS-Nr.	Bezugseinheit und Untergliederung	Beeinflussung durch
Erleben-Riesengrund (P2/89)	247	-	Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)	Deponie
Erleben-Riesengrund (P3/94)	248	-	Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)	Deponie
Erleben-Riesengrund (P5/94)	249	-	Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)	Deponie
Erleben-Riesengrund (P1/07)	250	-	Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)	Deponie
Wedringen Kanal Süd [Wed 21/97]	251	445021	Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)	Landwirtschaft
Meitzendorf	252	445019	Flussauen und Niederungen (GR5+GR8+Saale EZG)	Landwirtschaft
Ottersleben JH-Amtsg	317	445012	Flussauen und Niederungen (GR5+GR8+Saale EZG)	Siedlung
Schönebeck - Deponie	324	341525	Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)	Deponie
Hottentottenborn Hy Qu	671	345295	Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)	Landwirtschaft
Edersleben, Deponie	706	341745	Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)	Deponie
Auligk 101/00	912	340290	Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)	vermutl. Altbergbau
Faulenhorst, Altdeponie K1/93	1100	-	Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR1)	Deponie
P 5/94	2319	-	Flussauen und Niederungen (GR5+GR8+Saale EZG)	Deponie

Tabelle 4-3 Einheitsbezogene Schwellenwerte (90.-Perzentil) spezifischer Halb- und Schwermetalle zur Separation von geogen oder anthropogen hervorgerufenen Anomalien.

Hydrogeologische Bezugseinheit	As [µg/l]	B [µg/l]	Cd [µg/l]	Co [µg/l]	Cr [µg/l]	Cu [µg/l]	Hg [µg/l]	Ni [µg/l]	Pb [µg/l]
Flussauen und Niederungen (GR 1 Nord+Süd)	4,87	50	0,25	1,52	1	1,05	0,05	6	1,2
Flussauen und Niederungen (GR5+GR8+Saale EZG)	8	312	0,37	3,92	2,5	13,6	0,14	9,82	2,4
Flussauen mit Auenlehmdecke (GR 1 Nord+Süd)	1,9	135,4	0,567	23,4	1,82	5	0,05	16	2
Flussauen mit Auenlehmdecke (GR5+GR8+Saale EZG)	4,8	189	0,25	0,708	2,5	8,8	0,1	3	1,81
Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR 1 Nord)	2	50	0,25	3,08	1	1	0,05	2,9	2
Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR 1 Süd)	6,64	218	0,288	6,6	1	5	0,025	21,9	1
Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)	3,5	694	0,308	18,2	1	5	0,1	8	1
Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR 1 Nord)	2,2	50	0,25	1,4	1	1	0,05	2,5	1,53
Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR 1 Süd)	2,5	78	2	0,586	2,5	5	0,025	5	14
Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)	6,37	230	0,25	1,36	1	5	0,1	5	1
Tertiär (GR 1 Nord+Süd)	0,5	50	0,25	0,5	1	1	0,05	1,1	1
Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)	4,86	205	0,118	9,16	1	5,42	0,025	13	1
Muschelkalk	0,5	110	0,25	0,5	1	2,5	0,05	2,5	1
Buntsandstein	5,28	143	0,25	0,59	2,5	5	0,05	2,5	1,2
Keuper, Jura, Kreide	2,84	520	0,25	1,8	1	1,76	0,05	2,9	1,2
Zechstein	2,5	30	0,25	0,34	2,5	23,4	0,075	7	2,32
Permokarbon	10,4	81	0,1	0,5	1	8	0,025	2,5	1
Altpaläozoikum	2,6	50	0,248	1,96	1	2,4	0,025	16	2,3
Saure Magmatite	10,9	110	0,248	0,297	0,55	3,2	0,025	2,26	12,9
Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)	6,2	506,8	0,275	20,8	2,5	5	0,05	26	1

### 4.3. Methodik der Ermittlung der Schwellenwerte pro Grundwasserkörper

Zur Ausweisung der Schwellenwerte für die zehn in der GrwV (2017) erwähnten Parameter (As, Cd, Cl, Hg, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, Pb, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>) auf Ebene der Grundwasserkörper wurde zunächst gemäß folgender Formel ein Vergleichswert für den betrachteten Grundwasserkörper (VW<sub>GWK</sub>) ermittelt:

$$VW_{GWK} = \sum_{k=BZE1}^{BZE21} \frac{A_{k,GWK}}{A_{GWK}} * HGW_k$$

Dabei steht k für die verschiedenen Einheiten und HGW<sub>k</sub> für den Hintergrundwert in der jeweiligen Einheit. Die Gesamtfläche des Grundwasserkörpers wird durch A<sub>GWK</sub> repräsentiert und die Teilfläche der jeweiligen Einheit durch A<sub>k,GWK</sub>.

Der parameterbezogene Hintergrundwert HGW<sub>k</sub> wurde nach den im vorherigen Abschnitt 4.2 beschriebenen Methoden bestimmt. Besitzt eine Einheit keinen Flächenanteil im betrachteten Grundwasserkörper hat der entsprechende Summand den Betrag Null.

Dem Grundwasserkörper wurde, wenn der grundwasserkörperbezogene Vergleichswert VW<sub>GWK</sub> niedriger als der in der Grundwasserverordnung festgelegte Schwellenwert war, der Schwellenwert der Grundwasserverordnung zugewiesen (vgl. Tabelle 1-1). War der grundwasserkörperbezogene Wert höher als der gesetzlich vorgegebene Schwellenwert, wurde der Schwellenwert für diesen Grundwasserkörper auf den zuvor berechneten grundwasserkörperbezogenen Wert heraufgesetzt.

Die dargestellte Methode zur Ableitung der Schwellenwerte hat den Vorteil, dass dieses Verfahren einfach und schnell zu realisieren war. Zudem ist hiermit eine Vergleichbarkeit mit den auf Bundesebene angewandten Methoden zur Bestimmung der Geringfügigkeitsschwellenwerte gegeben (LAWA 2016).

Nachteilig erweist sich, dass der Schwellenwert räumlich nur eingeschränkt differenziert ausfällt. Denn lokal kann es zur Unterschätzung beziehungsweise Überschätzung der dort anzutreffenden Hintergrundkonzentration durch den Schwellenwert kommen. Dies hängt damit zusammen, dass bei der Berechnung des grundwasserkörperbezogenen Hintergrundwertes die Hintergrundwerte auf Ebene der Bezugseinheiten bedeutend sind.

Diese wiederum werden durch alle Messstellen bestimmt, die zur Normalpopulation in dieser Einheit zählen - dementsprechend grundwasserkörperübergreifend. Auf der anderen Seite können mithilfe der Methode des flächengewichteten Mittels auch Grundwasserkörper mit einer geringen Anzahl an Messstellen einen Schwellenwert zugewiesen bekommen.

In Gebieten innerhalb eines Grundwasserkörpers mit großen Differenzen zwischen Hintergrund- und Schwellenwert wäre eine Ausweisung eines abweichenden Schwellenwertes für einen Teil des Grundwasserkörpers möglich (vgl. § 5, Absatz 3 GrwV, 2017). Jedoch zeigt sich diese Anwendung in Hinblick auf Bewirtschaftungspläne für die Grundwasserkörper als wenig praktikabel. Daher wurde von dieser Möglichkeit kein Gebrauch gemacht.

## 5. Ausgewiesene Hintergrund- und Schwellenwerte

Basierend auf den zuvor beschriebenen Methoden wurden Hintergrundwerte auf Ebene der hydrogeologischen Bezugseinheiten abgeleitet und auf Ebene der Grundwasserkörper Schwellenwerte zugewiesen. In diesem Kapitel wird zunächst parameter- und einheitsbezogen aufgezeigt, welche Methodik zur Ableitung des Hintergrundwertes Anwendung fand. Im Anschluss werden die Ergebnisse zu den Hintergrundwerten tabellarisch aufgeführt. Vor der Präsentation der Ergebnisse zu den Schwellenwerten, werden die pro Bezugseinheit abgeleiteten Hintergrundwerte den Vergleichswerten auf Ebene der Grundwasserkörper gegenübergestellt.

### 5.1 Übersicht zu angewandten Methoden und deren Bedeutung für die Interpretation

Hintergrundwerte wurden für 47 verschiedene Parameter ausgewiesen. Insgesamt zählen dazu sieben Hauptinhalts- und acht Nebeninhaltsstoffe, sowie 25 Spurenstoffe und sieben physikochemische Parameter. Bisher in die Darstellungen mit eingeflossen, jedoch bei der Ableitung von Hintergrundwerten nicht berücksichtigt, werden die Parameter Nitrat und AOX. Aufgrund der deutlichen anthropogenen Überprägung und der damit verbundenen Schwierigkeit der Identifikation der geogenen Komponente werden für Nitrat und AOX keine Hintergrundwerte ausgewiesen. Bei Nitrat wird als Schwellenwert einheitlich der Wert aus der GrwV (2017) von 50 mg/l verwendet. Generell wird der geogene Anteil bei Nitrat als sehr gering eingestuft, da es aufgrund der hohen Löslichkeit von Nitratsalzen nur unter spezifischen Bedingungen zur Gesteinsbildung kommen kann. Hauptsächlich Abbauprodukte organischer Substanzen im Boden und Grundwasser bilden den natürlichen Anteil. Schleyer & Kerndorff (1992) geben den geogenen Hintergrund im Lockergesteinsbereich bei 30 mg/l, im Festgesteinsbereich bei bis zu 35 mg/l (Kalkstein). AOX als Summenparameter für adsorbierbare organische Halogenverbindungen und damit für überwiegend nicht geogen im Grundwasser vorkommende Substanzen, ist ebenfalls nicht geeignet für die Ausweisung geogener Anteile.

Ausnahmen bilden außerdem wie bereits erwähnt die Parameter pH-Wert und Sauerstoff. Für diese Parameter werden Spannweiten der Hintergrundkonzentration angezeigt, da auch die unteren Konzentrationsbereiche von großer Bedeutung für die Charakterisierung von hydrogeologischen Bezugseinheiten sind. Nicht für jeden Parameter konnten in allen Einheiten Hintergrundwerte abgeleitet werden: Lag für einen Parameter in einer Einheit nur ein Analysewert einer unbeeinflussten Messstelle vor, wurde aufgrund der unzureichenden Datenbasis kein Hintergrundwert angezeigt. Dies betrifft vor allem die Spurenstoffe. Des Weiteren wurden primär bei Spurenstoffen das rangstatistische Verfahren oder die Bildung des arithmetischen Mittels angewandt, um einen Hintergrundwert zu ermitteln.

Neben der Datenverfügbarkeit ist auch die Anzahl an Werten über der Bestimmungsgrenze wichtig für die Auswahl des statistischen Verfahrens zur Ableitung eines Hintergrundwertes. Denn lagen weniger als zehn Werte über der Bestimmungsgrenze, die als zur Normalpopulation gehörig identifiziert wurden, fand das Wahrscheinlichkeitsnetz keine Anwendung. Da dann zumeist mehr als 90 % der Werte unter der Bestimmungsgrenze lagen, konnten nur alternative statistische Verfahren eingesetzt werden. Exemplarisch hierfür steht Cyanid, bei dem auch ein anthropogener Einfluss bei sich leicht bildenden und sehr stabilen Metall-Cyano-Komplexen nicht ausgeschlossen werden kann. Daher wurde dieser Stoff von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen. Andere Parameter ohne diese deutlich ausgeprägte, anthropogene Komponente im Grundwasser hingegen nicht: Antimon, Chrom,

Quecksilber, Silber, Thallium und Zinn. In der Einheit „Basische Magmatite“ (BZE 14) konnten Hintergrundwerte nur auf Basis von Analysen abgeleitet werden, da nur zwei Messstellen in dieser Einheit lokalisiert sind. In der Tabelle 5-1 ist eine einheits- und parameterbezogene Übersicht zu der Anwendung der verschiedenen Methoden zwecks Ableitung eines Hintergrundwertes aufgezeigt.

Der Hinweis zu der angewandten Methode ist für die Interpretation des jeweiligen Wertes von Bedeutung. Die Hintergrundwerte, die mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes bestimmt worden sind, bilden das 90. Perzentil der Normalpopulation ab (Ausnahme: bei pH-Wert und Sauerstoff auch Angabe des 10. Perzentils). Mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes können geogene und anthropogene Anomalien selektiert und ausgeschlossen werden. Einzelne Messstellen konnten so einfach und ohne Vorkenntnis zu der jeweiligen Messstelle aus der Normalpopulation entfernt werden. Zur Bearbeitung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz wurde nur der Mittelwert einer Messstelle eingespeist, welches als repräsentatives Lagemaß gilt. Hingegen kann es den Ergebnissen der alternativen statistischen Verfahren an Repräsentativität mangeln. Zum einen wurden die Verfahren hauptsächlich bei unzureichender Datenbasis eingesetzt. Hier bildeten nicht die Mittelwerte von Messstellen die Basis zur Berechnung, sondern Analysen ausgewählter Messstellen. Dadurch kann es zur Überrepräsentation einzelner Messstellen kommen. Stellenweise sind die Hintergrundwerte nur aufgrund von Analysen einer Messstelle abgeleitet worden. Zudem sind die Ergebnisse des rangstatistischen Verfahrens (oder der Mittelwertbildung) in Abhängigkeit von der vorgenommenen Präselektion der Analysedaten zu werten.

Trotz der Auswahl von Messstellen, deren Analysen in Bezug auf die Hauptparameter als zur Normalpopulation gehörig eingestuft worden waren, mussten einige Messstellen hiervon aufgrund eindeutiger anthropogener Beeinflussung (z.B. Deponie) zusätzlich vom Datensatz ausgeschlossen werden. Da bei vielen Messstellen die anthropogene Komponente bei den Analysewerten unbekannt war, wurden außerdem einzelne Analysen ausgeschlossen, deren Werte einen festgelegten Schwellenwert bei bestimmten Parametern (v.a. Schwermetallen) überschritt (s.

Tabelle 4-3). Der Hintergrundwert wurde als 84.1.-Perzentil des präselektierten Datensatzes festgelegt, der nach Schleyer & Kerndorff (1992) als geogener Normalbereich definiert worden ist.

Dennoch ist einerseits nicht auszuschließen, dass einzelne Hintergrundwerte, die nach diesem Verfahren berechnet worden sind, den geogenen Hintergrund überschätzen. Grund hierfür sind dann meistens Fälle, bei denen der Hintergrundwert hauptsächlich durch die Analysen einer Messstelle dominiert wird. Diese Messstelle ist dann entweder stark anthropogen beeinflusst oder deren Hydrochemie wird beispielsweise durch aufsteigende Tiefenwässer bestimmt. Andererseits kann es durch das mehrstufige Verfahren der Präselektion auch zu einer Unterschätzung des Hintergrundwertes kommen. Zudem ist zu beachten, dass die abgeleiteten Hintergrundwerte in Fällen, bei denen mehr als 84.1 % der Analysewerte unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, auch eine gehäufte Bestimmungsgrenze abbilden. Hierbei ist die Höhe der angegebenen Konzentration von der Güte der laboranalytischen Verfahren abhängig. Dies trifft zum Beispiel auf die Hintergrundwerte des Parameters Quecksilber zu. Deswegen wurden diese Fälle gesondert gekennzeichnet.

Aufgrund der angeführten Punkte sollten die Ergebnisse der Verfahren bei unzureichender Datenbasis nicht als repräsentative Hintergrundwerte festgeschrieben werden. Die Erweiterung der Datenbasis und die Verbesserung der laboranalytischen Verfahren sind zunächst erforderlich, um einen repräsentativen Hintergrundwert ableiten zu können.

Geogene Hintergrundwerte für das Grundwasser in Sachsen-Anhalt  
und Ableitung von Schwellenwerten



Tabelle 5-1 Parameter- und einheitenbezogener Überblick über den Einsatz der verschiedenen Methoden zur Ableitung des Hintergrundwertes in Abhängigkeit von der Datenbasis.

Die Zahl 1 (grün unterlegt) steht für die eine Ableitung auf Grundlage des Wahrscheinlichkeitsnetzes. Die Zahlen 2 (gelb unterlegt) und 3 (orange unterlegt) repräsentieren die rangstatistische Methode. Mit der Zahl 3 markiert sind wiederum die Bereiche, bei denen mehr als 84.1 % der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Felder mit der Zahl 4 (rot unterlegt) stehen für die Herleitung des Hintergrundwertes auf Basis der Mittelwertbildung. Sind Felder mit der Zahl 5 (weiß unterlegt) gekennzeichnet, konnte hier aufgrund einer unzureichenden Datenbasis (< 2 Analysen) kein Hintergrundwert festgelegt werden.

	Hauptkationen, -anionen							Nebeneinhaltsstoffe							Spurenstoffe														Physikochemische Parameter																						
	Ca	Cl	HCO <sub>3</sub>	K	Mg	Na	SO <sub>4</sub>	CN	F	Fe	Mn	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	P	PO <sub>4</sub>	Ag	Al	As	B	Ba	Bi	Br	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Li	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Si	Sn	Sr	Tl	U	V	Zn	AOX	DOC	LF	GH	pH	Redox	O <sub>2</sub>	T			
1 (GR1 Nord+Süd)	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	1	3	4	1	1	3	1	3	4	1	1	3	3	3	4	4	5	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	5	2	2	1	4	5	5	3	4	3	1	3	5	4	2	1	4	4	4	5	1	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2 (GR1 Nord+Süd)	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	5	5	3	1	3	1	3	5	3	1	1	3	3	4	5	5	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	2	1	1	5	4	3	1	3	1	3	5	1	1	3	3	1	5	5	1	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4 (GR1 Nord)	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
4 (GR1 Süd)	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3	1	1	3	2	2	1	1	5	5	3	2	3	3	4	5	3	2	3	3	2	4	5	5	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	1	1	1	1	1	1	4	4	1	1	1	1	1	1	4	3	2	1	2	5	1	2	3	3	3	5	2	2	3	3	2	5	5	5	3	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
5 (GR1 Nord)	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	5	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
5 (GR1 Süd)	1	1	1	1	1	1	4	2	1	1	1	2	1	1	4	2	2	1	2	5	5	2	2	3	3	4	5	2	2	2	3	3	4	5	5	3	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	2	2	2	1	5	4	3	2	3	1	3	5	2	1	3	3	2	4	5	5	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6 (GR1 Nord+Süd)	1	1	1	1	1	1	4	4	1	1	1	2	2	2	4	2	3	3	2	5	5	3	2	3	3	5	3	3	3	3	3	5	5	5	3	3	3	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	1	1	1	1	1	1	4	4	1	1	1	3	1	1	4	2	2	2	1	5	5	3	2	3	2	5	5	3	2	3	3	3	5	5	5	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	1	1	5	5	3	3	3	3	5	1	1	3	3	1	4	3	5	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	5	1	1	1	3	1	3	5	1	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	5	5	3	2	3	1	3	5	2	1	3	3	1	4	4	5	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	2	3	2	1	4	2	2	3	4	5	4	2	4	3	2	3	5	4	2	2	3	2	5	5	1	4	4	4	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	1	2	5	4	3	3	3	4	5	2	3	3	3	2	5	4	5	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3	1	1	3	1	2	3	1	5	5	2	2	3	3	3	5	3	1	1	3	3	5	4	5	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	1	3	4	2	2	3	4	5	5	2	4	3	1	4	5	4	3	2	4	4	5	5	5	4	4	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	2	2	2	2	2	2	5	4	3	3	3	3	2	2	5	4	3	4	4	5	5	3	4	3	4	4	5	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
15	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	5	5	1	1	1	1	3	5	1	1	1	3	1	1	5	5	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

## 5.2. Ergebnisse zu den ermittelten Hintergrundwerten

Die abgeleiteten Hintergrundwerte für jeden einzelnen Parameter sind in den nachfolgenden Tabellen (Hauptkationen und -anionen: Tabelle 5-2; Nebeninhaltsstoffe: Tabelle 5-3; Spurenstoffe: Tabelle 5-4, Tabelle 5-5, Tabelle 5-6; physikochemische Parameter: Tabelle 5-7) zusammengestellt.

Die Parameter, für die in der aktuellen GrwV 2017 Schwellenwerte festgelegt worden sind, sind hellblau umrandet. Zu jedem Hintergrundwert gibt es außerdem einen entsprechenden Verweis zu dem angewandten statistischen Verfahren (vgl. Abschnitt 5.1.) Neben diesem Wert sind außerdem sowohl der Mittelwert, als auch die Standardabweichung zur Charakterisierung der Normalpopulation angeführt.

Die Verbreitung der Konzentrationsunterschiede auf Ebene der Bezugseinheiten spiegeln die jeweils linksseitigen Karten der Abbildung 5-1 bis Abbildung 5-4 für die ausgewählten Parameter Chlorid und Sulfat, Ammonium und Ortho-Phosphat wider.

Die Karten stellen auch diejenigen Messstellen dar, welche die Normalpopulationen des jeweiligen Parameters bilden. Die Normalpopulation wird hier nur über die mittels Wahrscheinlichkeitsnetz ermittelten Maximalkonzentrationen beziehungsweise die Maximalwerte der Analysen (bei Rangstatistik/Mittelwertbildung) definiert.

Tabelle 5-2 Hintergrundwerte der Hauptkationen und –anionen des Grundwassers Sofern die Ableitung mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes erfolgte, ist zudem der Mittelwert (MW) und die Standardabweichung zur Charakterisierung der Normalpopulation angegeben. Die angewandten statistischen Verfahren sind wie folgt verschlüsselt: 1=Wahrscheinlichkeitsnetz (90.-Perzentil) und 2=Rangstatistik (84.1.-Perzentil)

BZE	Ca [mg/l]				Cl [mg/l]				HCO <sub>3</sub> [mg/l]				K [mg/l]				Mg [mg/l]				Na [mg/l]				SO <sub>4</sub> [mg/l]						
	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW
1 (GR 1 Nord+Süd)	177	88	1,7	1	83,7	35,4	2,0	1	257	131	1,7	1	7,3	2,9	2,1	1	24,8	10,0	2,0	1	43,1	19,3	1,9	1	245	118	1,8	1			
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	387	243	1,4	1	167,2	93,0	1,6	1	516	294	1,6	1	12,9	5,2	2,0	1	87,5	58,2	1,4	1	104,7	43,7	2,0	1	695	392	1,6	1			
2 (GR 1 Nord+Süd)	375	196	1,7	1	124,5	46,7	2,1	1	301	141	1,8	1	8,4	3,6	1,9	1	37,1	15,4	2,0	1	62,5	27,1	1,9	1	315	139	1,9	1			
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	195	94	1,8	1	266,5	97,9	2,2	1	438	290	1,4	1	12,6	5,6	1,9	1	85,5	39,5	1,8	1	165,4	59,0	2,2	1	597	279	1,8	1			
4 (GR 1 Nord)	104	58	1,6	1	46,8	17,5	2,2	1	196	124	1,4	1	3,0	1,4	1,8	1	10,9	4,8	1,9	1	16,0	10,1	1,4	1	129	59	1,8	1			
4 (GR 1 Süd)	249	151	1,5	1	72,3	52,3	1,3	1	274	112	2,0	1	7,3	3,9	1,6	1	37,4	16,6	1,9	1	32,9	20,6	1,4	1	416	271	1,4	1			
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	340	225	1,4	1	147,7	64,8	1,9	1	474	307	1,4	1	11,9	5,2	1,9	1	85,2	48,5	1,6	1	85,5	48,1	1,6	1	619	406	1,4	1			
5 (GR 1 Nord)	155	83	1,6	1	71,2	27,5	2,1	1	277	152	1,6	1	4,8	1,8	2,1	1	19,3	7,6	2,1	1	24,7	13,6	1,6	1	204	89	1,9	1			
5 (GR 1 Süd)	258	184	1,3	1	81,0	48,4	1,5	1	394	317	1,2	1	7,9	3,9	1,7	1	48,0	30,2	1,4	1	32,6	21,6	1,4	1	454	264	1,5	1			
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	327	239	1,3	1	174,5	71,8	2,0	1	401	316	1,2	1	12,0	4,4	2,2	1	77,9	38,2	1,7	1	85,0	33,6	2,1	1	574	215	2,2	1			
6 (GR 1 Nord+Süd)	74	44	1,5	1	70,3	18,8	2,8	1	378	210	1,6	1	5,6	1,5	2,8	1	34,8	7,8	3,2	1	15,1	8,6	1,6	1	242	38	4,2	1			
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	322	185	1,5	1	166,3	84,6	1,7	1	492	196	2,0	1	11,9	5,2	1,9	1	112,7	55,0	1,7	1	148,3	58,0	2,1	1	683	372	1,6	1			
7	311	204	1,4	1	156,2	66,9	1,9	1	465	363	1,2	1	8,7	4,6	1,6	1	104,3	63,9	1,5	1	55,3	24,3	1,9	1	613	324	1,6	1			
8	193	104	1,6	1	162,5	47,0	2,6	1	448	339	1,2	1	9,2	4,6	1,7	1	73,1	31,6	1,9	1	67,1	24,2	2,2	1	397	117	2,6	1			
9	314	161	1,7	1	126,3	51,6	2,0	1	516	336	1,4	1	12,9	4,9	2,1	1	84,0	36,6	1,9	1	46,7	23,6	1,7	1	395	193	1,7	1			
10	370	162	1,9	1	39,1	19,9	1,7	1	387	270	1,3	1	3,9	2,4	1,5	1	77,0	33,7	1,9	1	26,7	12,8	1,8	1	658	227	2,3	1			
11	359	161	1,9	1	123,6	70,5	1,6	1	459	324	1,3	1	7,9	4,7	1,5	1	89,4	43,1	1,8	1	71,5	38,8	1,6	1	398	140	2,3	1			
12	112	31	2,7	1	31,6	8,5	2,8	1	225	59	2,9	1	3,3	0,8	3,0	1	15,4	5,7	2,2	1	16,6	7,2	1,9	1	119	42	2,2	1			
13	267	127	1,8	1	141,8	41,4	2,6	1	246	49	3,5	1	18,8	2,8	4,4	1	64,0	11,7	3,8	1	47,6	22,2	1,8	1	173	36	3,4	1			
14	64			2	2,9			2	183			2	0,7			2	1,7			2	5,2			2	39			2			
15	498	213	1,9	1	159,2	50,9	2,4	1	524	334	1,4	1	22,1	8,4	2,1	1	122,7	47,9	2,1	1	136,2	43,1	2,5	1	1395	569	2,0	1			

Tabelle 5-3 Hintergrundwerte der Nebeninhaltsstoffe (Hinweise und zur Verschlüsselung der statistischen Verfahren s. Tabelle 5-2)

BZE	F [mg/l]				Fe [mg/l]				Mn [mg/l]				NH <sub>4</sub> [mg/l]				NO <sub>2</sub> [mg/l]				P [mg/l]				PO <sub>4</sub> [mg/l]						
	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW
1 (GR 1 Nord+Süd)	0,20			2	4,23	0,35	6,9	1	0,64	0,15	3,2	1	0,39	0,05	5,1	1	0,10	0,05	1,6	1	0,18	0,07	2,2	1	0,26	0,05	3,4	1			
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,49	0,40	1,2	1	1,58	0,12	7,6	1	0,73	0,06	7,0	1	0,07	0,04	1,5	1	0,07	0,01	3,6	1	0,17	0,03	4,0	1	0,05	0,01	2,9	1			
2 (GR 1 Nord+Süd)	0,20			2	4,94	0,55	5,6	1	1,05	0,29	2,7	1	0,71	0,11	4,4	1	0,06	0,01	3,9	1	0,20	0,06	2,6	1	0,19	0,03	4,5	1			
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,34	0,20	1,5	1	2,08	0,07	14,5	1	0,95	0,13	4,8	1	0,30	0,03	6,2	1	0,04	0,004	5,7	1	0,19	0,03	4,0	1	0,16	0,03	4,2	1			
4 (GR 1 Nord)	0,11	0,08	1,4	1	3,05	0,89	2,6	1	0,30	0,09	2,6	1	0,21	0,05	3,2	1	0,03	0,01	4,1	1	0,23	0,07	2,6	1	0,28	0,05	3,9	1			
4 (GR 1 Süd)	0,22	0,12	1,6	1	2,20	0,18	7,0	1	0,27	0,04	4,3	1	0,08	0,04	1,7	1	0,04			3	0,07	0,04	1,6	1	0,07	0,04	1,6	1			
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,28			4	1,65	0,10	8,7	1	0,49	0,09	3,8	1	0,13	0,01	9,0	1	0,09	0,01	4,4	1	0,17	0,03	3,5	1	0,08	0,02	2,9	1			
5 (GR 1 Nord)	0,14	0,07	1,7	1	3,67	0,72	3,6	1	0,24	0,09	2,3	1	0,19	0,07	2,2	1	0,02	0,002	7,1	1	0,19	0,07	2,2	1	0,22	0,05	3,1	1			
5 (GR 1 Süd)	0,20			2	2,69	0,72	2,8	1	0,49	0,11	3,3	1	0,17	0,08	1,9	1	0,05			2	0,15	0,05	2,2	1	0,13	0,05	2,3	1			
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,36	0,23	1,4	1	1,60	0,29	3,7	1	0,23	0,05	3,2	1	0,17	0,04	3,0	1	0,01	0,001	7,0	1	0,12	0,02	3,4	1	0,04	0,01	2,6	1			
6 (GR 1 Nord+Süd)	0,09			4	3,91	1,27	2,4	1	0,18	0,11	1,5	1	0,13	0,06	1,9	1	0,03			2	0,25			2	0,52			2			
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,08			4	3,97	0,25	8,7	1	0,56	0,24	1,9	1	0,53	0,04	8,1	1	0,05			3	0,18	0,05	2,6	1	0,14	0,04	2,9	1			
7	0,51	0,27	1,6	1	0,64	0,03	10,0	1	0,05	0,01	3,5	1	0,08	0,02	2,6	1	0,04	0,005	4,9	1	0,10	0,02	3,5	1	0,06	0,02	2,4	1			
8	0,30	0,21	1,3	1	1,83	0,09	10,1	1	0,24	0,04	4,0	1	0,14	0,04	2,8	1	0,03	0,01	2,6	1	0,17	0,04	3,5	1	0,13	0,02	4,4	1			
9	0,49	0,24	1,7	1	1,89	0,14	7,7	1	0,24	0,02	7,9	1	0,25	0,05	3,3	1	0,04	0,02	1,9	1	0,17	0,03	4,0	1	0,13	0,02	4,4	1			
10	0,40			2	0,09	0,004	10,8	1	0,05	0,0008	26,8	1	0,05			2	0,05			3	0,07			2	0,05	0,03	1,7	1			
11	0,30	0,18	1,5	1	0,25	0,004	24,0	1	0,04	0,002	9,0	1	0,05	0,005	6,4	1	0,04	0,01	4,4	1	0,12	0,04	2,3	1	0,13	0,05	2,2	1			
12	0,24	0,11	1,8	1	0,33	0,03	7,3	1	0,17	0,01	8,6	1	0,04	0,01	3,8	1	0,05			3	0,04	0,01	2,5	1	0,04	0,01	3,0	1			
13	0,42	0,13	2,5	1	2,80	0,26	6,4	1	0,22	0,03	4,9	1	0,05	0,03	1,8	1	0,05	0,01	3,1	1	0,18	0,03	4,0	1	0,02			3			
14	0,05			4	0,03			3	0,01			3	0,02			3	0,04			3	0,03			2	0,09			2			
15	0,36	0,23	1,4	1	12,51	1,49	5,3	1	1,88	0,25	4,9	1	0,88	0,23	2,9	1	0,02	0,002	5,3	1	0,16	0,03	3,8	1	0,31	0,04	5,1	1			

Tabelle 5-4 Hintergrundwerte der Spurenstoffe (Teil 1). Sofern die Ableitung mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes erfolgte, ist zudem der Mittelwert und die Standardabweichung zur Charakterisierung der Normalpopulation angegeben. Die angewandten statistischen Verfahren sind wie folgt verschlüsselt: 1=Wahrscheinlichkeitsnetz (90.-Perzentil), 2=Rangstatistik (84.1.-Perzentil), 3=Rangstatistik (84.1.-Perzentil, > 84.1% der Werte < Bestimmungsgrenze), 4=Mittelwertbildung und 5=keine Ableitung möglich

BZE	Ag [µg/l]				Al [µg/l]				As [µg/l]				B [µg/l]				Ba [µg/l]				Bi [µg/l]				Br [mg/l]				Cd [µg/l]			
	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.
1 (GR 1 Nord+Süd)	0,05			3	12,3	5,2	2,0	1	1,3			2	128,1	61,7	1,8	1	102,1	43,8	1,9	1	0,003			3	0,020			4	0,09	0,01	6,3	1
1 (GR5+GR8+Saale EZG)				5	152,3			2	6,0			2	165,9	60,5	2,2	1	78,5			4				5			5	0,25			3	
2 (GR 1 Nord+Süd)	0,05			3	25,0			2	1,0			2	114,1	48,4	2,0	1	130,2	57,6	1,9	1				5			5	0,20			3	
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,05			4	9,6	2,6	2,7	1	2,5			2	182,8	97,0	1,6	1	54,3	28,9	1,6	1				5	0,195			4	0,10			3
4 (GR 1 Nord)	0,01	0,001	5,1	1	9,5	0,2	19,5	1	1,3	0,2	5,1	1	38,2	2,7	7,8	1	80,2	31,3	2,1	1	0,003	0,002	1,5	1	0,071	0,044	1,4	1	0,09	0,01	5,5	1
4 (GR 1 Süd)	1,05			3	14,0			2	2,5			2	151,9	69,8	1,8	1	50,7	38,4	1,2	1				5			5	0,10			3	
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,05			4	5,0			3	2,7			2	157,6	68,3	1,9	1	73,8			2				5			5	0,25			2	
5 (GR 1 Nord)	0,01	0,002	3,7	1	12,2	0,1	38,7	1	0,9			2	38,3	1,1	16,2	1	84,9	35,2	2,0	1	0,003	0,002	1,6	1	0,059	0,027	1,9	1	0,04	0,002	9,3	1
5 (GR 1 Süd)	0,05			4	30,1			2	1,5			2	161,6	70,9	1,9	1	73,6			2				5			5	0,10			2	
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,05			4	10,1			2	2,0			2	114,7			2	61,0	40,0	1,4	1				5	0,185			4	0,10			3
6 (GR 1 Nord+Süd)	0,05			4	10,0			2	0,3			3	25,0			3	37,0			2				5			5	0,10			3	
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,05			4	11,0			2	4,2			2	177,2			2	105,5	50,6	1,8	1				5			5	0,10			3	
7	0,05			3	10,0			3	0,3			3	134,4	43,3	2,4	1	53,8	33,3	1,5	1				5			5	0,10			3	
8	0,05			3	10,8	2,2	3,5	1	2,0	0,3	5,0	1	135,3	41,2	2,5	1	142,2	46,9	2,4	1				5	0,291	0,084	2,6	1	0,14	0,01	10,0	1
9	0,05			3	19,2			2	1,5			2	196,0	79,5	2,0	1	57,7	20,1	2,3	1				5			5	0,10			3	
10	0,05			4	23,0			2	0,6			2	25,0			3	29,2			4				5	0,043			4	0,11			2
11	0,05			3	5,0			3	5,5			2	118,8	46,2	2,1	1	250,0			2				5	0,365			4	0,05			3
12	0,05			3	23,2	5,3	3,2	1	0,8			2	25,0			3	38,2	11,5	2,5	1				5			5	0,10			2	
13	0,04			4	81,5			2	3,6			2	25,0			3	129,4			4				5			5	0,18			2	
14				5	5,0			4	0,03			3	25,0			4	5,0			4				5			5	0,04			3	
15	0,05			3	71,6	5,4	7,5	1	2,6	0,1	9,6	1	301,0	191,2	1,4	1	67,3	32,9	1,7	1				5			5	0,13	0,01	7,9	1	

Tabelle 5-5 Hintergrundwerte der Spurenstoffe (Teil 2). Sofern die Ableitung mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes erfolgte, ist zudem der Mittelwert und die Standardabweichung zur Charakterisierung der Normalpopulation angegeben. Die angewandten statistischen Verfahren sind wie folgt verschlüsselt: 1=Wahrscheinlichkeitsnetz (90.-Perzentil), 2=Rangstatistik (84.1.-Perzentil), 3=Rangstatistik (84.1.-Perzentil, > 84.1% der Werte < Bestimmungsgrenze), 4=Mittelwertbildung und 5=keine Ableitung möglich

BZE	Co [µg/l]				Cr [µg/l]				Cu [µg/l]				Hg [µg/l]				Li [µg/l]				Mo [µg/l]				Ni [µg/l]				Pb [µg/l]						
	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW
1 (GR 1 Nord+Süd)	0,97	0,11	5,6	1	0,50			3	2,40	0,70	2,6	1	0,025			3	1,7			4	0,73	0,32	1,9	1	2,02	0,37	3,7	1	0,50			3			
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	1,58			4	1,00			3	3,24	0,51	4,2	1	0,065			3				5	3,37			4	2,50			2	0,46	0,01	27,4	1			
2 (GR 1 Nord+Süd)	1,61	0,85	1,6	1	1,00			3	1,37	0,17	5,2	1	0,025			3				5	0,50			3	3,34	0,69	3,4	1	0,69	0,05	8,2	1			
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,67	0,12	3,8	1	1,00			3	2,51	0,41	4,1	1	0,050			3				5	1,25	0,32	2,9	1	2,76	0,74	2,8	1	0,50			3			
4 (GR 1 Nord)	0,81	0,01	28,4	1	0,09	0,003	16,5	1	0,53	0,04	7,5	1	0,003	0,001	2,0	1	6,2	2,7	1,9	1	0,16	0,01	7,7	1	2,13	0,15	8,1	1	0,58	0,004	52,4	1			
4 (GR 1 Süd)	4,16			2	0,50			3	1,00			3	0,018			4				5	0,50			3	9,48			2	0,50			3			
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	16,00			2	0,50			3	1,00			3	0,025			3				5	3,25			2	7,06			2	0,50			3			
5 (GR 1 Nord)	0,38	0,02	10,4	1	0,06	0,001	30,2	1	0,58	0,04	7,7	1	0,005	0,001	4,1	1	8,4	3,6	2,0	1	0,80	0,35	1,9	1	1,49	0,35	3,1	1	0,54	0,14	2,9	1			
5 (GR 1 Süd)	0,50			2	1,00			3	1,20			3	0,010			4				5	0,84			2	2,50			2	1,30			2			
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,50			2	0,50			3	2,81	0,50	3,9	1	0,050			3				5	1,90			2	2,97	0,53	3,8	1	0,50			3			
6 (GR 1 Nord+Süd)	0,20			2	0,50			3	0,50			3	0,025			3				5	0,50			3	1,00			3	0,50			3			
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	7,98			2	0,50			3	4,52			2				5				5	0,50			3	7,75			2	0,50			3			
7	0,10			3	0,50			3	1,00			3	0,025			3				5	0,85	0,19	3,2	1	2,51	0,67	2,8	1	0,50			3			
8	0,48	0,04	6,4	1	1,00			3	4,84	0,56	5,4	1	0,025			3				5	1,00	0,22	3,2	1	1,44	0,17	5,4	1	0,98	0,02	25,7	1			
9	0,50			2	0,50			3	2,68	0,35	4,8	1	0,025			3				5	1,50			2	4,03	0,83	3,4	1	0,50			3			
10	0,10			4	1,00			3	13,34			2	0,050			3				5	4,85			4	2,50			2	1,60			2			
11	0,10			3	0,50			3	1,00			3	0,007			4				5	5,70			2	1,00			3	0,50			3			
12	0,52			2	0,50			3	1,00			3	0,005			3				5	0,50			3	1,88	0,42	3,2	1	0,57	0,02	15,0	1			
13	0,12			4	0,50			3	2,82	0,72	2,9	1	0,008			4				5	0,77			4	0,50			3	6,71			2			
14	0,10			4	0,43			3	0,50			4	0,022			4				5	0,25			4	0,46			4	0,21			4			
15	1,78	0,07	12,1	1	1,37	0,17	5,2	1	3,75	0,95	2,9	1	0,025			3				5	1,35	0,48	2,2	1	3,24	0,44	4,7	1	0,47	0,005	36,4	1			

Tabelle 5-6 Hintergrundwerte der Spurenstoffe (Teil 3). Sofern die Ableitung mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes erfolgte, ist zudem der Mittelwert und die Standardabweichung zur Charakterisierung der Normalpopulation angegeben. Die angewandten statistischen Verfahren sind wie folgt verschlüsselt: 1=Wahrscheinlichkeitsnetz (90.-Perzentil), 2=Rangstatistik (84.1.-Perzentil), 3=Rangstatistik (84.1.-Perzentil, > 84.1% der Werte < Bestimmungsgrenze), 4=Mittelwertbildung und 5=keine Ableitung möglich

BZE	Sb [µg/l]		Se [µg/l]				Si [mg/l]				Sn [µg/l]				Sr [mg/l]				Tl [µg/l]				U [µg/l]				V [µg/l]				Zn [µg/l]			
	HGW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.
1 (GR 1 Nord+Süd)	0,5	3	0,48			3	7,1			4	0,02			4			5	0,100			3	0,42	0,02	13,4	1	0,82	0,34	2,0	1	16,3	5,7	2,3	1	
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,5	4	0,81			4	7,4			4			5	5,45	2,40	1,9	1	0,043			4	1,44			4	2,73			4	26,0	2,3	6,7	1	
2 (GR 1 Nord+Süd)	0,5	3	0,46			3	9,9			4			5				5	0,100			3	0,18	0,02	4,8	1	0,72	0,05	8,5	1	25,4	3,0	5,2	1	
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	2,5	3	1,35	0,62	1,8	1				5			5	5,83	3,82	1,4	1	0,100			3	5,40	2,40	1,9	1	1,04			2	17,0	4,3	2,9	1	
4 (GR 1 Nord)	0,5	2	0,10	0,002	20,6	1	7,4	6,0	1,2	1	0,02	0,01	2,1	1			5	0,008	0,001	7,3	1	0,19	0,01	16,7	1	0,39	0,01	13,7	1	16,6	0,2	38,9	1	
4 (GR 1 Süd)	0,5	3	0,81			2	9,1			4			5				5	0,100			3	0,30			2	0,80			2	18,4	1,0	9,6	1	
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,5	3	2,09			2				5			5				5	0,100			3	2,10			2	0,73			3	40,1	7,0	3,9	1	
5 (GR 1 Nord)	0,5	2	0,03	0,001	23,5	1	6,8	5,8	1,1	1	0,02	0,01	2,1	1			5	0,003	0,0002	10,0	1	0,34	0,01	23,1	1	0,35	0,03	6,9	1	11,5	1,2	5,8	1	
5 (GR 1 Süd)	0,5	3	0,40			3	8,8			4			5				5	0,100			3	1,70			2	0,40			3	39,2			2	
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	1,0	3	2,02			2	5,3			4			5				5	0,100			3	5,50			2	1,00			2	29,1	6,3	3,3	1	
6 (GR 1 Nord+Süd)	0,5	3	0,40			3				5			5				5	0,100			3	0,50			3	0,50			3	54,7			2	
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	1,0	3	0,45			3				5			5				5	0,100			3	1,12			2	2,18			2	15,2			2	
7	1,0	3	1,09	0,57	1,7	1	5,1			4	0,50		3				5	0,100			3	5,59	2,11	2,1	1	0,97			3	16,0	2,4	4,4	1	
8	1,0	3	0,87	0,29	2,4	1	7,6	5,7	1,3	1	1,63		3	7,82	2,79	2,2	1	0,100			3	7,74	3,49	1,9	1	0,71	0,11	4,1	1	32,6	3,3	6,0	1	
9	0,7	3	1,62	0,81	1,7	1	6,2			4	0,50		4				5	0,100			3	4,61	1,22	2,8	1	1,30			2	37,5	3,3	6,6	1	
10	2,5	3	7,39			2				5			5	1,16	0,13	5,5	1	0,111			4	8,50			4	0,51			4	77,0			2	
11	1,0	3	1,82			2				5	16,83		4				5	0,100			3	9,42			2	6,20			2	23,0			2	
12	1,0	3	0,50			3				5	25,00		4				5	0,100			3	0,84	0,09	5,9	1	1,00			3	15,1	1,8	5,2	1	
13	0,6	4	0,79			4				5			5				5	0,106			4	0,93			4	0,29			4	5,0			3	
14	0,5	4	0,40			4				5			5				5	0,049			4	0,15			4	0,15			4	5,0			3	
15	0,5	3	1,73	0,53	2,5	1	7,6	5,2	1,3	1			5				5	0,100			3	6,47	2,93	1,9	1	1,79			2	68,5	8,6	5,1	1	

Tabelle 5-7 Hintergrundwerte der physikochemischen Parameter. Sofern die Ableitung mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes erfolgte, ist zudem der Mittelwert und die Standardabweichung zur Charakterisierung der Normalpopulation angegeben. Die statistischen Verfahren sind wie folgt verschlüsselt: 1=Wahrscheinlichkeitsnetz (90.-Perzentil), 2=Rangstatistik (84.1.-Perzentil), 3=Rangstatistik (84.1.-Perzentil, > 84.1% der Werte < Bestimmungsgrenze) und 4=Mittelwertbildung

BZE	DOC [mg/l]				LF [µS/cm]				GH [°dH]				pH [-]					Redox [mV]				O <sub>2</sub> [mg/l]					T [°C]			
	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW (10er)	HGW (90er)	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.	HGW (10er)	HGW (90er)	MW	ST-ABW	Stat.	HGW	MW	ST-ABW	Stat.
1 (GR 1 Nord+Süd)	3,8	2,1	1,6	1	1126	617	1,6	1	24,0	13,1	1,6	1	6,4	7,5	7,0	0,4	1	304	175	1,1	1	0,1	3,6	0,4	5,1	1	11,1	10,4	0,5	1
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	3,8	2,4	1,5	1	2569	1627	1,4	1	79,5	50,6	1,4	1	6,8	7,5	7,1	0,3	1	309	108	1,3	1	1,6	8,2	3,6	1,9	1	13,7	12,1	1,3	1
2 (GR 1 Nord+Süd)	3,7	2,3	1,4	1	1149	650	1,6	1	37,9	16,8	1,9	1	6,1	7,3	6,7	0,5	1	296	188	1,1	1	0,1	2,8	0,6	3,6	1	11,3	10,6	0,5	1
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	3,5	1,7	1,7	1	2404	1324	1,6	1	56,8	32,4	1,6	1	6,7	7,5	7,1	0,3	1	301	116	1,2	1	1,0	6,7	2,6	2,1	1	12,5	10,9	1,2	1
4 (GR 1 Nord)	2,0	1,3	1,4	1	614	380	1,5	1	16,8	8,1	1,8	1	5,8	8,4	7,1	1,0	1	243	109	1,2	1	0,1	3,5	0,6	3,8	1	10,9	10,2	0,6	1
4 (GR 1 Süd)	3,0	1,9	1,4	1	1285	891	1,3	1	39,8	22,0	1,6	1	6,1	7,1	6,6	0,4	1	378	273	1,1	1	0,2	3,2	0,9	2,8	1	11,3	10,6	0,5	1
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	3,1	2,4	1,2	1	2329	1603	1,3	1	70,8	47,0	1,4	1	6,9	7,4	7,1	0,2	1	359	196	1,2	1	1,0	5,1	2,2	1,9	1	11,7	10,6	0,9	1
5 (GR 1 Nord)	2,1	1,3	1,4	1	785	481	1,5	1	21,2	11,0	1,7	1	6,6	7,9	7,2	0,5	1	212	109	1,1	1	0,1	2,8	0,5	3,8	1	11,1	10,5	0,5	1
5 (GR 1 Süd)	2,2	1,8	1,2	1	1528	1067	1,3	1	46,2	30,2	1,4	1	6,7	7,5	7,1	0,3	1	269	188	1,1	1	0,3	4,6	1,2	2,9	1	11,5	10,6	0,7	1
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	2,5	1,8	1,3	1	2116	1303	1,5	1	61,6	39,4	1,4	1	6,7	7,3	7,0	0,2	1	345	172	1,2	1	1,0	6,3	2,5	2,1	1	11,5	10,8	0,6	1
6 (GR 1 Nord+Süd)	1,9			2	1240	459	2,2	1	13,8	7,5	1,6	1	6,6	7,7	7,1	0,4	1	372	213	1,2	1	0,1	0,6	0,3	1,7	1	11,6	10,9	0,6	1
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	3,1	1,8	1,5	1	2103	1403	1,4	1	78,8	46,3	1,5	1	6,6	7,2	6,9	0,2	1	300	47	1,3	1	0,1	3,0	0,7	3,2	1	11,6	10,5	0,9	1
7	2,2	1,4	1,4	1	1790	1283	1,3	1	63,0	41,4	1,4	1	6,9	7,5	7,2	0,2	1	409	248	1,2	1	0,7	6,9	2,2	2,4	1	12,0	11,0	0,8	1
8	2,5	1,0	2,0	1	1704	949	1,6	1	47,7	23,1	1,8	1	6,7	7,6	7,1	0,3	1	377	239	1,1	1	0,6	6,7	2,0	2,5	1	12,7	11,3	1,1	1
9	2,4	1,3	1,6	1	1477	991	1,4	1	45,5	23,9	1,7	1	6,8	7,5	7,2	0,3	1	357	227	1,1	1	0,7	6,8	2,2	2,4	1	11,1	10,4	0,5	1
10	0,7			2	2126	1092	1,7	1	96,8	38,0	2,1	1	6,4	7,6	7,0	0,5	1	493	50	1,6	1	3,1	10,0	5,5	1,6	1	14,5	11,5	2,3	1
11	1,9	0,8	1,9	1	2042	1136	1,6	1	42,7	22,3	1,7	1	6,9	7,8	7,3	0,3	1	451	374	1,1	1	2,9	9,8	5,3	1,6	1	11,1	10,2	0,7	1
12	1,8	0,7	2,1	1	690	271	2,1	1	24,2	8,0	2,4	1	6,7	7,7	7,2	0,4	1	428	365	1,1	1	5,7	10,9	7,8	1,3	1	10,0	8,4	1,3	1
13	4,6			2	1264	284	3,2	1	36,9	5,9	4,2	1	6,3	7,8	7,1	0,6	1	470	109	1,4	1	4,6	10,4	6,9	1,4	1	11,9	9,2	2,1	1
14	0,9			2	375			2	9,3			2	7,3	7,6			2	437			2	10,0	11,5			2	8,7			2
15	4,7	2,7	1,5	1	2809	1631	1,5	1	90,9	42,6	1,8	1	5,8	7,3	6,6	0,6	1	278	132	1,2	1	0,1	3,0	0,5	4,2	1	11,5	10,6	0,7	1

### 5.3. Vergleichswerte pro Grundwasserkörper und hydrogeologischer Bezugseinheit

Die Vergleichswerte zu den Grundwasserkörpern, die sich aus der Berechnung des flächengewichteten Mittels der Hintergrundwerte von den Bezugseinheiten ergeben, die Flächenanteile an dem Grundwasserkörper besitzen, sind tabellarisch in Anlage 6: Vergleichswerte der Grundwasserkörper für ausgewählte Parameter dokumentiert. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für die Ableitung der Schwellenwerte auf Ebene der Grundwasserkörper, die in dem nachfolgenden Abschnitt 5.4 dargestellt werden.

Die auf Ebene der Bezugseinheiten abgeleiteten Hintergrundwerte können sich regional von den berechneten Werten auf Ebene der Grundwasserkörper unterscheiden. Ursächlich hierfür ist die Methode der Bildung des flächengewichteten Mittels. Dementsprechend wird der auf Grundwasserkörperebene abgeleitete Vergleichswert durch die hydrochemische Ausprägung der Bezugseinheiten dominiert, die den größten Flächenanteil am Grundwasserkörper besitzen.

Hierdurch kann es zur lokalen Unterschätzung oder auch Überschätzung des eigentlichen Hintergrundgehaltes kommen. Diese Unterschiede sind beispielhaft kartografisch für die Parameter Chlorid, Sulfat, Ammonium und Phosphat dokumentiert (vgl. Abbildung 5-1, Abbildung 5-2, Abbildung 5-3, Abbildung 5-4). In Rosatönen eingefärbt sind jeweils die Bereiche, in denen der gesetzlich vorgeschriebene Schwellenwert überschritten wird. Außer in den Karten zum Parameter Sulfat markieren die Farben Grün und Gelb Gebiete, deren Hintergrund- oder Vergleichswerte unterhalb des Schwellenwertes liegen.

Für den Parameter Chlorid fällt generell auf, dass die Konzentrationsbereiche der Hintergrundwerte auf Ebene der Bezugseinheiten und der Vergleichswerte zur Ableitung der Schwellenwerte auf Ebene der Grundwasserkörper gebietsweise überwiegend gleich sind: Dabei sticht der Harz mit den sehr geringen Hintergrundkonzentrationen hervor. Die Hintergrund- und Vergleichswerte im restlichen Festgesteinsbereich hingegen sind mit über 100 mg/l auch gegenüber dem Nordraum Sachsen-Anhalts erhöht. Der den Schwellenwert von 250 mg/l überschreitende Hintergrundwert der Bezugseinheit „Flussauen mit Auenlehmdecke“ (BZE 2) im Festgestein beeinflusst die Ableitung des Schwellenwertes aufgrund des relativ geringen Flächenanteils nur vernachlässigbar gering. Nur der Grundwasserkörper „4\_2109“ („Oker mesozoisches Festgestein links“) hat einen den gesetzlich vorgeschriebenen Schwellenwert übersteigenden Vergleichswert. Der Flächenanteil dieses Körpers an Sachsen-Anhalt ist jedoch minimal.

Bei dem Parameter Sulfat hingegen treten lokale Differenzen zwischen den Werten auf Ebene der Bezugseinheiten und Grundwasserkörper stärker zum Vorschein: Insbesondere in den Grundwasserkörpern, die einen relevanten Anteil an der Bezugseinheit „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ (BZE 15) und deren 2km-Pufferzone haben, sind die Vergleichswerte verhältnismäßig hoch. Betroffen davon sind z. B. der GWK VM 2-4 und VM 2-3 sowie die EL 3-1 und VM 2-1.

In diesen Fällen überschätzt der abgeleitete Vergleichswert die dominierenden hydrochemischen Verhältnisse. Dieser Effekt tritt vor allem im Westen und Süden des Landes großflächig auf. Beispielsweise weist der Grundwasserkörper „SAL GW 065“ („Kreide der Subherzynen Senke“) im Westen des Landes, welcher das Schollenmosaik der Subherzynen Senke umfasst und eine Fläche von 1342 km<sup>2</sup> aufzeigt, einen Vergleichswert in Höhe von 512 mg/l auf. Der größte Flächenanteil des Grundwasserkörpers wird von der Bezugseinheit „Keuper, Jura, Kreide“ (BZE 9: 52 %) gebildet, deren Hintergrundwert jedoch nur eine Konzentration von 395 mg/l hat.

Der Vergleichswert wird vor allem durch die Einheit „Muschelkalk“ (BZE 7: 18 %) und die BZE 15 (5 %) in die Höhe getrieben. Auf der anderen Seite werden durch die Ableitung der Vergleichswerte Gebiete, die durch den Tagebau stark beeinflusst sind und lokal sehr hohe Konzentrationen aufzeigen, unterschätzt. Grundwasserkörper wie der „SAL GW 022“ („Hallesche und Köthener Moränenlandschaft“) und der „EN 3“ („Magdeburger Triaslandschaft und Elbtal“) werden durch die hydrogeologischen Großräume in einen Fest- und Lockgesteinsbereich unterteilt. Da die Hintergrundwerte der quartären und tertiären Schichten für Sulfat im Festgesteinsbereich gegenüber dem Lockergesteinsbereich erhöht sind, liegt der abgeleitete Vergleichswert für diese Grundwasserkörper tendenziell höher als die Hintergrundwerte in den nordöstlichen Teilbereichen dieser Körper. Die nordöstlichen Gebiete, die die Einheit „Flussauen und Niederungen“ (BZE 1) repräsentieren, werden um mehr als 150 mg/l durch den berechneten Vergleichswert auf Ebene der Grundwasserkörper überschätzt.

Die Gegenüberstellung zeigt auch bei dem Parameter Ammonium die Beeinflussung durch die BZE 15 deutlich. Betroffen sind die Grundwasserkörper des Bitterfelder Bergbaureviers und des Zeitz-Weißenfelder Braunkohlereviers. Da die Grundwasserkörper flächenmäßig zu großen Teilen der BZE 15 zugeordnet sind, erscheint der abgeleitete Vergleichswert jedoch gerechtfertigt.

Für den Parameter Ortho-Phosphat ergibt sich folgendes Bild: Einzig die Bezugseinheit Tertiär (BZE 6) besitzt eine Hintergrundkonzentration, die über dem Schwellenwert liegt. Wegen der geringen Verbreitung beeinflussen diese Flächen aber nur untergeordnet die Ableitung der Vergleichswerte auf Ebene der Grundwasserkörper. Im Festgesteinsbereich fallen die Einheit Muschelkalk und die pleistozänen Schichten durch niedrige Hintergrundkonzentrationen auf, die durch die Ableitung der Vergleichswerte auf Ebene der Grundwasserkörper geringfügig überschätzt werden. Im nördlichen Lockergesteinsbereich wiederum liegen die Hintergrundwerte der Einheiten „Flussauen und Niederungen“ (BZE 1), sowie der Einheit „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL“ (BZE 4) über 0.25 mg/l – die abgeleiteten Vergleichswerte von den Grundwasserkörpern unterschreiten bei vielen Grundwasserkörpern im Norden jedoch diese Konzentrationsschwelle.

Zudem ist noch auf einen weiteren Aspekt bei der Ermittlung der Hintergrund- und Schwellenwerte auf Ebene der Grundwasserkörper aufmerksam zu machen. Denn aufgrund der Bildung des flächengewichteten Mittels der Hintergrundwerte von den im Grundwasserkörper enthaltenen Bezugseinheiten wird der Schwellenwert auch durch die hydrochemischen Analysen von Messstellen, die in anderen Grundwasserkörpern lokalisiert sind, bestimmt. Das heißt, ein direkter Abgleich von den Konzentrationen der im Grundwasserkörper enthaltenen Messstellen und den abgeleiteten Schwellenwerten sollte nur unter Berücksichtigung der eben beschriebenen Gesichtspunkte erfolgen.

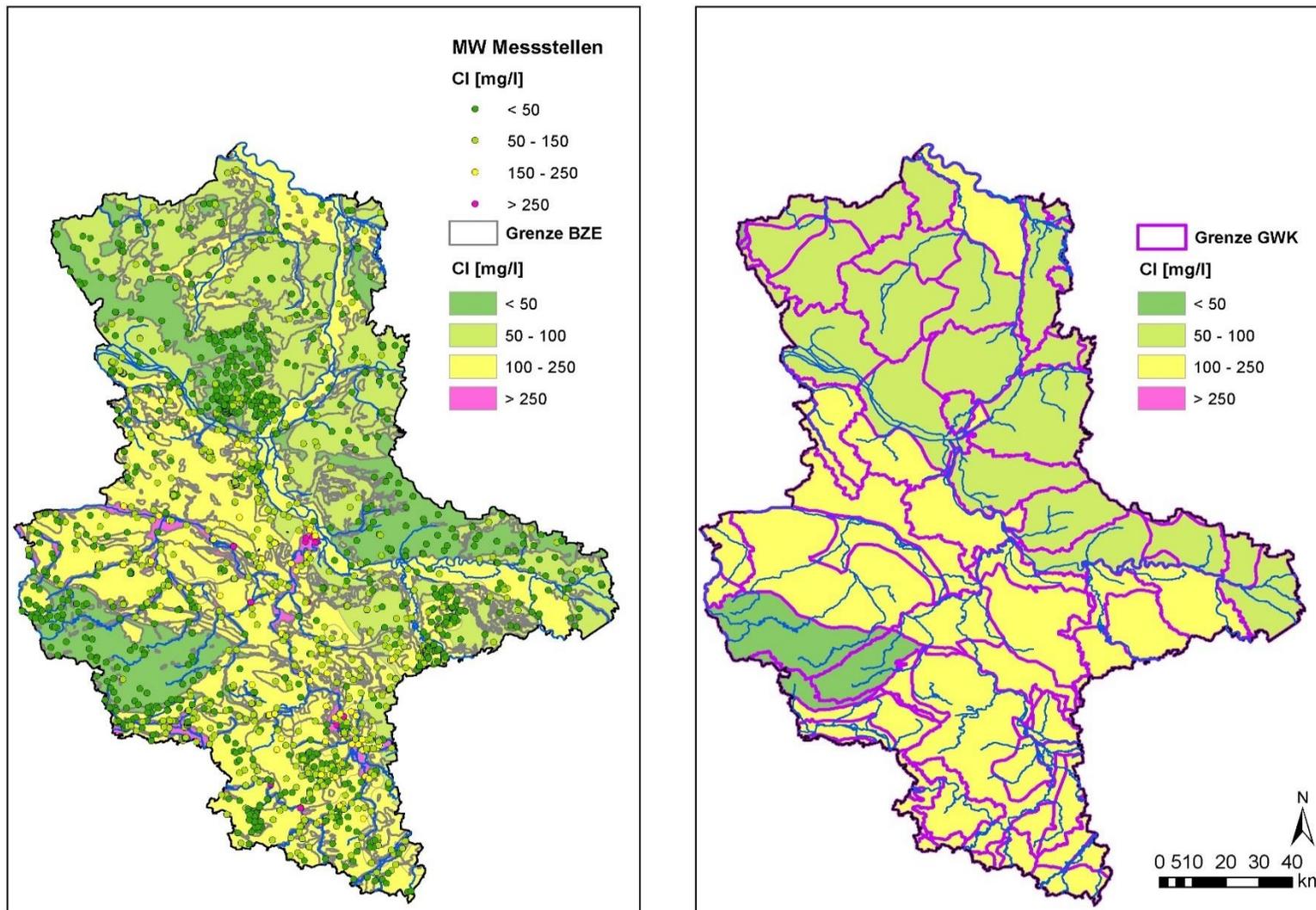


Abbildung 5-1 Vergleich der Hintergrundwerte von Chlorid pro Bezugseinheit (links) mit den mithilfe des flächengewichteten Mittels abgeleiteten Werten pro Grundwasserkörper (rechts).

Die Mittelwerte der abgebildeten Messstellen zählen zu den selektierten Normalpopulationen. Der Schwellenwert für Chlorid liegt bei 250 mg/l.

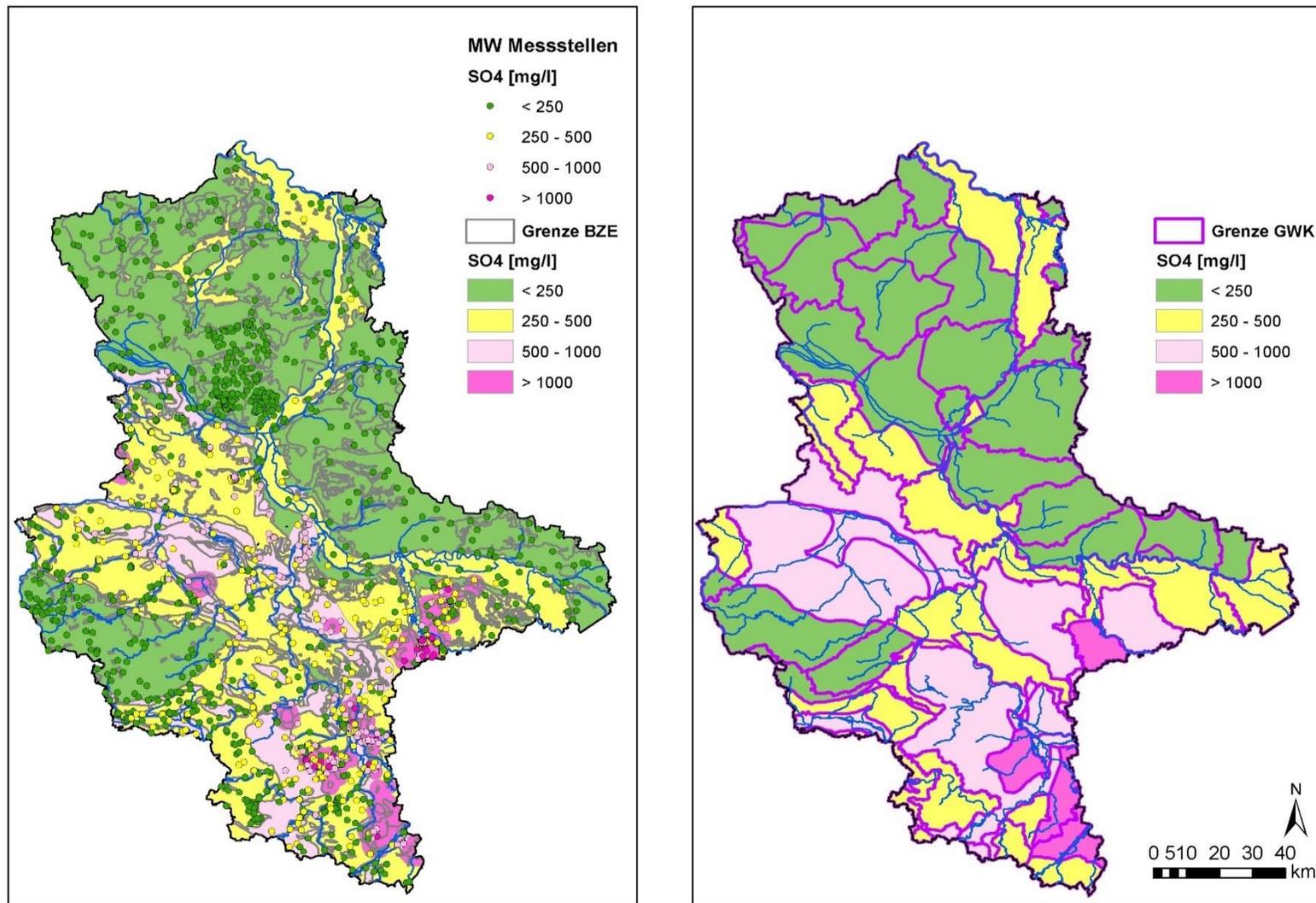


Abbildung 5-2 Vergleich der Hintergrundwerte von Sulfat pro Bezugseinheit (links) mit den mithilfe des flächengewichteten Mittels abgeleiteten Werten pro Grundwasserkörper (rechts).

Die Mittelwerte der abgebildeten Messstellen zählen zu den selektierten Normalpopulationen. Der Schwellenwert für Sulfat liegt bei 250 mg/l.

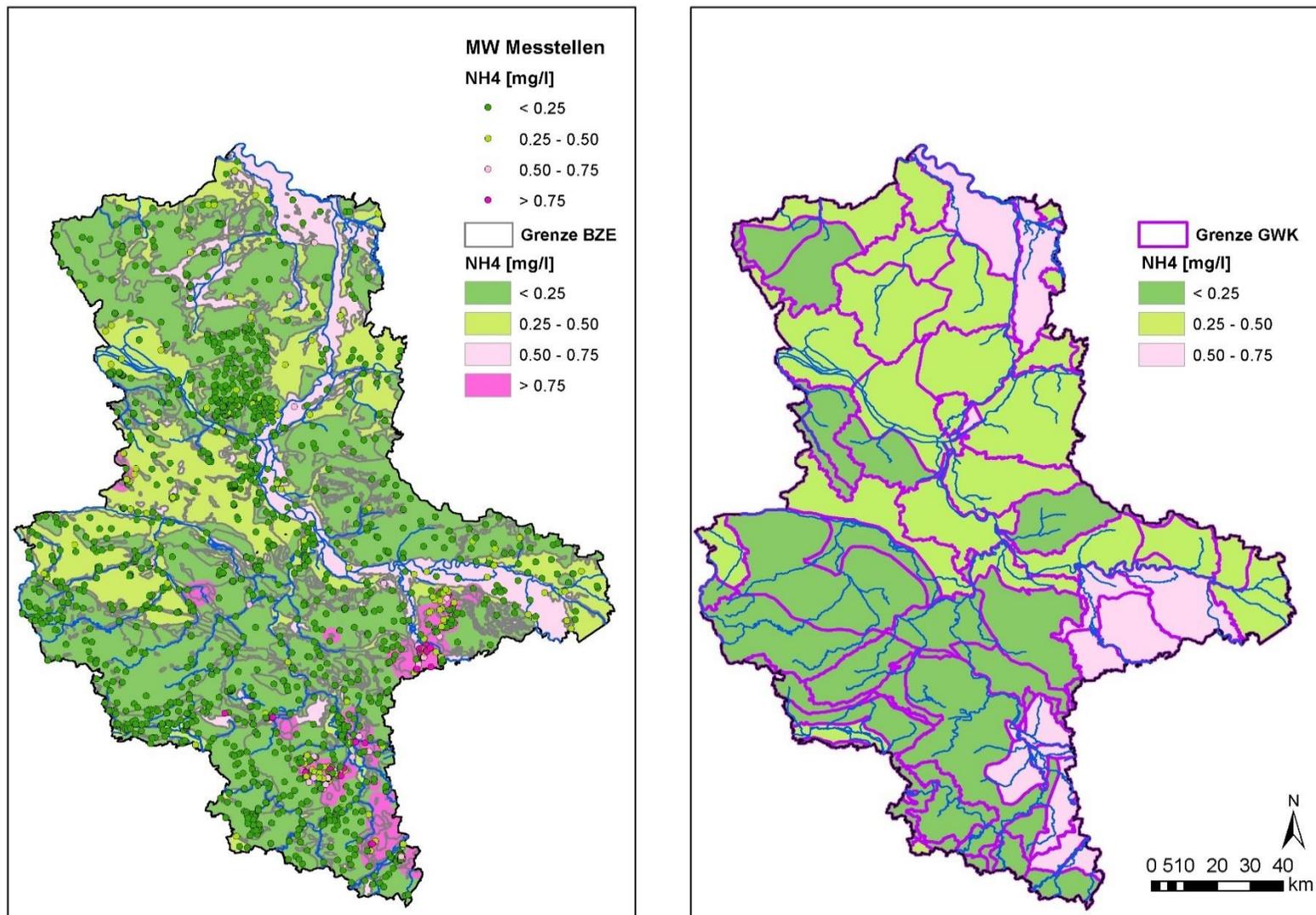


Abbildung 5-3 Vergleich der Hintergrundwerte von Ammonium pro Bezugseinheit (links) mit den mithilfe des flächengewichteten Mittels abgeleiteten Werten pro Grundwasserkörper (rechts).

Die Mittelwerte der Messstellen zählen zu den selektierten Normalpopulationen. Der Schwellenwert für Ammonium liegt bei 0.5 mg/l.

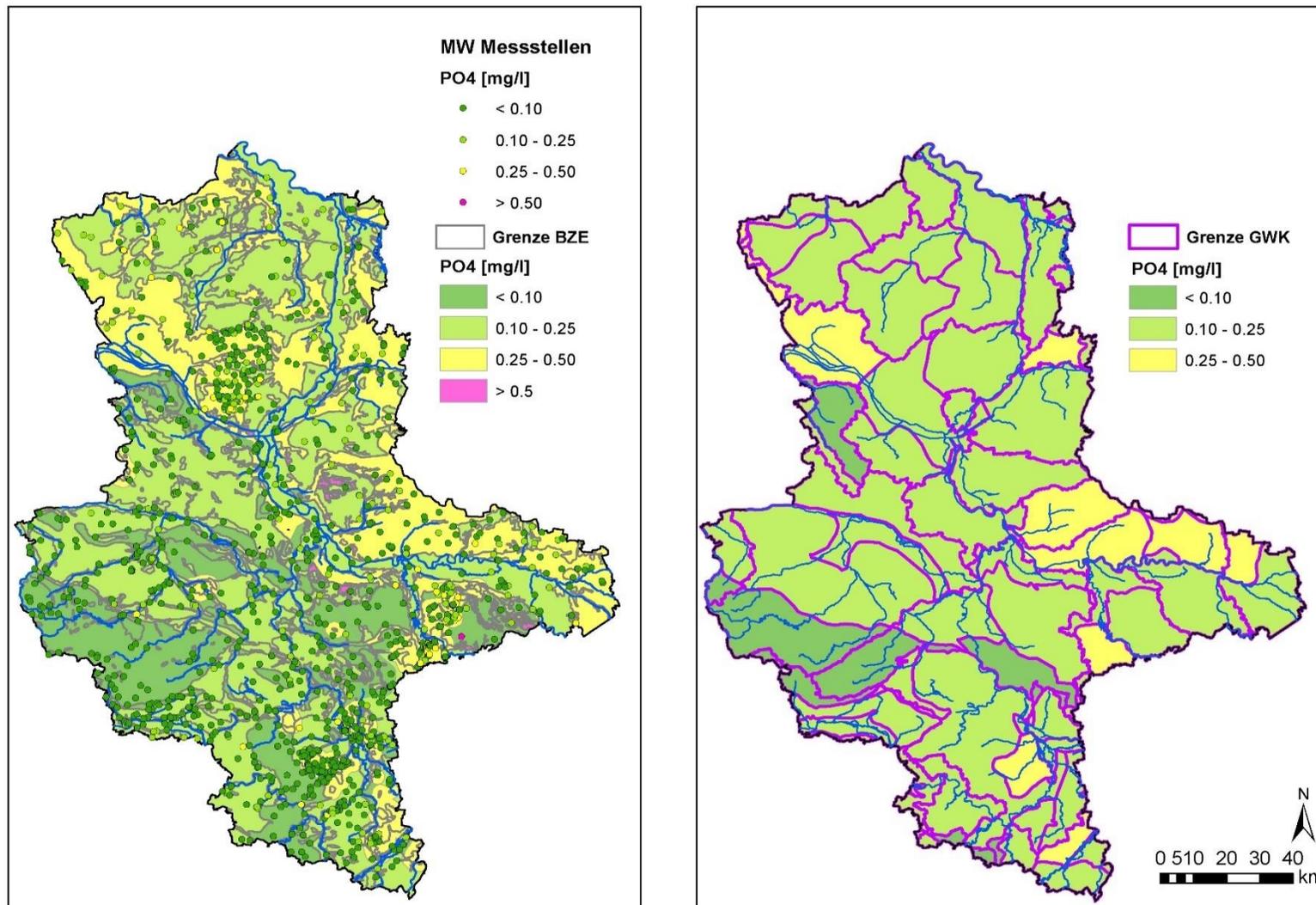


Abbildung 5-4 Vergleich der Hintergrundwerte von Ortho-Phosphat pro Bezugseinheit (links) mit den mithilfe des flächengewichteten Mittels abgeleiteten Werten pro Grundwasserkörper (rechts).

Die Mittelwerte der Messstellen zählen zu den selektierten Normalpopulationen. Der Schwellenwert für Ortho-Phosphat liegt bei 0.5 mg/l.

#### 5.4. Ergebnisse zu den abgeleiteten Schwellenwerten pro Grundwasserkörper

Die Ableitung der Vergleichswerte auf Ebene der Grundwasserkörper bildet die Basis für die Bestimmung der Schwellenwerte pro Grundwasserkörper. Nachdem die grundwasserkörperbezogenen Vergleichswerte über das flächengewichtete Mittel der Hintergrundwerte der in dem jeweiligen Grundwasserkörper vorkommenden Bezugseinheiten ermittelt worden ist, ergeben sich die Schwellenwerte wie folgt:

Grundwasserkörper, deren Vergleichswerte oberhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Schwellenwerte liegen (vgl. Tabelle 1-1), bekommen den Vergleichswert als Schwellenwert zugewiesen. Im umgekehrten Fall entspricht der Schwellenwert des Grundwasserkörpers dem gesetzlich vorgeschriebenen Schwellenwert. Tabellarisch sind die Ergebnisse für die einzelnen Grundwasserkörper in der Anlage 7: Schwellenwerte der Grundwasserkörper für ausgewählte Parameter aufgeführt.

Bei den Parametern Arsen, Blei, Cadmium, Nitrit, Phosphat und Quecksilber werden die gesetzlich vorgeschriebenen Schwellenwerte auf regionaler Ebene nicht überschritten. Für den Parameter Nitrat wurden einheitlich 50 mg/l als Schwellenwert festgelegt. Die Parameter Ammonium, Chlorid und Sulfat zeigen regional Abweichungen zu dem gesetzlichen Schwellenwert auf.

Insbesondere bei dem Parameter Sulfat kommt es überregional zu Überschreitungen des Schwellenwertes von 250 mg/l. Insgesamt betroffen davon sind 56 % der Landesflächen. An zweiter Stelle rangiert Ammonium mit einem prozentualen Flächenanteil von 17 %, bei denen der Schwellenwert überschritten ist. Bei Ortho-Phosphat und Chlorid hingegen gibt es nur verhältnismäßig kleine Flächen mit einer Schwellenwertüberschreitung (5 % und 0.6 %).

Zu beachten ist bei Grundwasserkörpern mit einem untergeordneten Flächenanteil der BZE 15, dass hierdurch der angeleitete Schwellenwert beeinflusst sein kann und dies anschließend einer individuellen Prüfung unterzogen werden sollte.

## 6. Vergleichende Bewertung der neu ausgewiesenen Hintergrundwerte

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die Vorgehensweise zur Ableitung der Hintergrund- und Schwellenwerte beschrieben worden ist und die entsprechenden Ergebnisse dargelegt worden, wird sich dieses Kapitel einerseits dem Vergleich mit den Hintergrundwerten, die bereits 2008 für das Land Sachsen-Anhalt abgeleitet worden sind (vgl. HYDOR, 2008) und dem Vergleich mit den bundesweit vorliegenden Hintergrundwerten (vgl. Wagner et al., 2014), die für ein breites Parameterspektrum für die verschiedenen hydrogeochemischen Einheiten ermittelt worden sind, widmen. Vorangestellt ist der Vergleich der jeweils angewandten Methoden und entsprechend die Ergebnisse in tabellarischer Form beziehungsweise auch teils kartografisch. Danach werden die vorliegenden Ergebnisse zu den Hintergrundwerten parameterbezogen und unter Einbeziehung der landes- und bundesweiten Vergleichswerte diskutiert. Gleichwie bei dem Vergleich liegt auch bei der Diskussion der Fokus auf denjenigen neun Parametern der novellierten Grundwasserverordnung, zu denen hydrochemisch sinnvoll Hintergrundwerte ermittelt werden können (nicht: Nitrat, TRI und PER). Ziel dieses Kapitels ist es, Abweichungen zu identifizieren und ihre Ursache zu klären und somit auch hydrogeologische und hydrochemische Alleinstellungsmerkmale Sachsen-Anhalts hervorzuheben.

### 6.1. Vergleich der aktuellen Hintergrundwerte mit bisherigen Werten

Bevor die aktuellen Hintergrundwerte den bisherigen Werten nach HYDOR (2008) tabellarisch gegenübergestellt werden, werden an dieser Stelle relevante Unterschiede zwischen den Herangehensweisen zur Herleitung der Hintergrundwerte herausgearbeitet.

Festzustellen ist zunächst, dass die Datengrundlage sich gegenüber 2008 erheblich verbessert hat. Dies betrifft nicht nur den Umfang des Analysedatensatzes, sondern auch die Qualität der Laboranalysen. Der Ableitung von Hintergrundwerten zugrunde gelegt war 2008 ein ungefähr 7300 Analysen umfassenden Datensatz von 806 Messstellen. Diese Zahlen beziehen sich schon auf einen nach analyse- und einzelwertbezogenen Plausibilitätsprüfungen reduzierten Datensatz. Auch wurden Messstellen im Nordraum Sachsen-Anhalts nicht berücksichtigt, wenn sie Tiefen von mehr als 50 m u. GOK aufwiesen. Der Zeitraum, der durch die Analysen abgedeckt wird, umspannt die Jahre 1992 bis 2007. Hingegen zählte der diesem Projekt dienende Datensatz in summa ungefähr 17050 Analysen von 3156 Messstellen und enthält nur Analysen ab dem Jahr 2000. Somit ist zwar einerseits der aktuelle Datensatz aufgrund der Messstellenanzahl repräsentativer. Andererseits ist jedoch auch von einer stärkeren anthropogenen Überprägung auszugehen. Der wesentliche Grund, nur Analysen ab dem Jahr 2000 zu berücksichtigen, lag jedoch darin begründet, dass somit bei den Spurenelementen weitgehend einheitliche Bestimmungsgrenzen vorlagen.

Die einheitsbezogene Ermittlung der Hintergrundwerte basierte 2008 auf 13 hydrogeologischen Bezugseinheiten, die mit den 14 hydrogeologischen Bezugseinheiten und deren Untergliederung nur teilweise kongruent waren. Daher wurde zur Vergleichbarkeit der Hintergrundwerte die in der Tabelle 6-1 folgende Zuordnung der Einheiten vorgenommen. Nicht allen aktuellen Bezugseinheiten und deren Untergliederung konnte eine äquivalente Bezugseinheit zugeordnet werden. So sind beispielsweise die pleistozänen Hochflächen im Festgesteinsbereich und Südraum Sachsen-Anhalts nicht repräsentiert. Für anthropogen Abgrabungs- und Aufschüttungsgebiete wurden 2008 keine Hintergrundwerte bestimmt. Entsprechend wurden diese gleichfalls nicht bei der Bestimmung der Schwellenwerte auf Ebene der Grundwasserkörper berücksichtigt.

Tabelle 6-1 Zuordnung der aktuellen Hydrogeologischen Bezugseinheiten (mit Untergliederung) zu den Hydrogeologischen Bezugseinheiten von 2008 zwecks Vergleich der jeweiligen Hintergrundwerte pro Parameter

<b>Aktuelle Hydrogeologische Bezugseinheiten mit Untergliederung</b>	<b>Hydrogeologische Bezugseinheit HYDOR 2008</b>
Flussauen und Niederungen (GR1 Nord+Süd)	Quartär Nordraum < 10 m
Flussauen und Niederungen (GR5+GR8+Saale EZG)	Glazifluviatile Sande & Kiese
Flussauen mit Auenlehmdecke (GR1 Nord+Süd)	Quartär Nordraum < 10 m, Niederterrasse
Flussauen mit Auenlehmdecke (GR5+GR8+Saale EZG)	Niederterrasse
Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR1 Nord)	Quartär Nordraum 10 - 25 m
Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR1 Nord)	Quartär Nordraum > 25 m
Tertiär (GR1 Nord+Süd)	Tertiär
Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)	Tertiär
Muschelkalk	Muschelkalk
Buntsandstein	Buntsandstein
Keuper, Jura, Kreide	Silikatische Wechselfolgen, Karbonatische Wechselfolgen
Zechstein	Silikatische Wechselfolgen, Karbonatische Wechselfolgen
Permokarbon	Grundgebirge silikatisch
Altpaläozoikum	Grundgebirge karbonatisch
Saure Magmatite	Saure Magmatite
Basische Magmatite	Basische Magmatite

Methodisch wurden 2008 die Hintergrundwerte durch Rangstatistik ermittelt nach dem die Analysedaten nach den gegebenen hydrogeologischen Kriterien vorselektiert worden waren und anhand von Schwellenwertüberschreitung verschiedenen Beeinflussungstypen (Typ Schwermetalle, Versauerung, Nährstoff, Versalzung, diffuse Beeinflussung) zugeordnet worden. Die Schwellenwerte wurden auf Grundlage von hydrogeochemischen a-priori-Wissen durch verschiedene Perzentile definiert (50.- Perzentil). Analysen mit Schwellenwertüberschreitung wurden aus dem Datensatz sukzessive entfernt. Letztlich wurden nur 33 % der Analysedaten als unbeeinflusst bewertet.

Zur besseren Charakterisierung der unbeeinflussten Wässer wurden darüber hinaus Daten aus Berechnungsroutinen des Programmes KONTA genutzt. Die Hintergrundgehalte selbst wurden auf Basis der als unbeeinflusst eingestuften Analysen über Spannweiten ausgewiesen, die das 15.9. und 84,1-Perzentil umfassten. Die aktuellen Hintergrundwerte wurden entsprechend nur mit der oberen Spannweite verglichen (Ausnahme: pH-Wert und Sauerstoffgehalt). Im hier beschriebenen Projekt wurden geogene und anthropogene Anomalien (sofern es die Datenlage zuließ) hingegen über Wahrscheinlichkeitsnetze abgetrennt. Grundlage hierfür waren die jeweiligen Mittelwerte pro Messstelle. Somit wurde Messstellen mit Mehrfachanalysen nicht mehr Gewicht gegeben als Messstellen mit nur einer Analyse. Nach der Selektion von Anomalien konnten die jeweiligen einheits- und parameterbezogenen Normalpopulationen

über das 90.-Perzentil, den Mittelwert und die Standardabweichung beschrieben werden. Da die Anomalien jeweils parameterbezogen aus dem Datensatz zwecks Bestimmung der Normalpopulation entfernt worden, enthielten die Normalpopulationen sehr unterschiedliche Messstellen. War beispielsweise die Konzentration einer Messstelle in Bezug auf den Hauptinhaltsstoff Sulfat unauffällig, konnte die Konzentration dennoch beim Parameter Cadmium geogen erhöht sein und abgetrennt werden. Hier wurden also im Vergleich zu 2008 die Analysen einer Messstelle nicht bei Auffälligkeiten bei einem Parameter zur Bestimmung der Hintergrundgehalte anderer Parameter ausgeschlossen.

Der relativ geringe Ausschluss von Messstellen im vorliegenden Projekt führt jedoch dazu, dass Parameter mit einem hohen Anteil an anthropogen überprägten Analysen die Ableitung des Hintergrundwertes mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes erschweren, da die anthropogen beeinflusste Population mit der Hintergrundpopulation vermischt ist. Dies spiegelt sich dementsprechend durch gegenüber 2008 häufig erhöhte Hintergrundgehalte wider.

Der Einsatz des rangstatischen Verfahrens bei unzureichender Datenbasis war an das 2008 angewandte Verfahren angelehnt. Durch einen sukzessiven Prozess wurde ein weitestgehend unbeeinflusster Analysedatensatz identifiziert. Dabei spielten a-priori Wissen über die Messstellen und auch die Selektion anhand von Schwellenwerten (v.a. des Schwermetalltyps) eine Rolle. Für die Ermittlung der Hintergrundwerte wurden dann gleichfalls alle in einer Einheit gegebenen Analysen herangezogen. Der Hintergrundwert wurde als das 84.1.-Perzentil definiert.

Für neun der zwölf Parameter aus der GrwV sind die Hintergrundwerte vergleichend in der Tabelle 6-2 angeführt. Weitere Parameter sind dagegen in Anlage 8: Vergleich der aktuellen Hintergrundwerten mit den bisherigen Werten zu finden.

Geogene Hintergrundwerte für das Grundwasser in Sachsen-Anhalt  
und Ableitung von Schwellenwerten



Tabelle 6-2 Vergleich der Hintergrundwerte zwischen den aktuell bestimmten Hintergrundwerten und denen aus HYDOR (2008) am Beispiel der Parameter Cl, SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub>, As, Cd, Hg und Pb.

BZE	Cl [mg/l]		SO <sub>4</sub> [mg/l]		NH <sub>4</sub> [mg/l]		NO <sub>2</sub> [mg/l]		PO <sub>4</sub> [mg/l]		As [µg/l]		Cd [µg/l]		Hg [µg/l]		Pb [µg/l]	
	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008
<b>1 (GR1 Nord+Süd)</b>	83,7	46	245	114	0,39	0,5	0,1	0,04	0,26	0,02	1,3	0,5	0,09	0,3	0,025	0,03	0,5	1
<b>1 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	167,2	89	695	456	0,07	0,4	0,07	0,05	0,05	0,12	6	0,9	0,25	0,1	0,065	0,1	0,46	1
<b>2 (GR1 Nord+Süd)</b>	124,5	46 - 300	315	114 - 530	0,71	0,5 - 0,9	0,06	0,04 - 0,05	0,19	0,02 - 0,15	1	0,5 - 1	0,2	0,3 - 1	0,025	0,03 - 0,05	0,69	1 - 2,5
<b>2 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	266,5	300	597	530	0,3	0,9	0,04	0,05	0,16	0,15	2,5	1	0,1	1	0,05	0,05	0,5	2,5
<b>4 (GR1 Nord)</b>	46,8	42	129	122	0,21	0,5	0,03	0,03	0,28	0,14	1,3	1,1	0,09	0,1	0,003	0,03	0,58	1
<b>5 (GR1 Nord)</b>	71,2	32	204	81	0,19	0,2	0,02	0,03	0,22	0,17	0,9	0,6	0,04	0,1	0,005	0,03	0,54	1
<b>6 (GR1 Nord+Süd)</b>	70,3	130	242	512	0,13	1,4	0,03	0,05	0,52	0,17	0,3	4,4	0,1	1	0,025	0,3	0,5	2,5
<b>6 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	166,3	130	683	512	0,53	1,4	0,05	0,05	0,14	0,17	4,2	4,4	0,1	1		0,3	0,5	2,5
<b>7</b>	156,2	80	613	401	0,08	0,06	0,04	0,05	0,06	0,05	0,3	0,5	0,1	0,1	0,025	0,025	0,5	1
<b>8</b>	162,5	83	397	182	0,14	0,25	0,03	0,05	0,13	0,08	2	1,6	0,14	0,3	0,025	0,3	0,98	2,5
<b>9</b>	126,3	87 - 105	395	484 - 700	0,25	0,05 - 0,35	0,04	0,05	0,13	0,07 - 0,08	1,5	1,8 - 2,8	0,1	0,7 - 2,5	0,025	0,1 - 0,3	0,5	4,7 - 20
<b>10</b>	39,1	87 - 105	658	484 - 700	0,05	0,05 - 0,35	0,05	0,05	0,05	0,07 - 0,08	0,6	1,8 - 2,8	0,11	0,7 - 2,5	0,05	0,1 - 0,3	1,6	4,7 - 20
<b>11</b>	123,6	22	398	121	0,05	0,03	0,04	0,05	0,13	0,08	5,5	1,9	0,05	0,3	0,007	0,05	0,5	2,5
<b>12</b>	31,6	58	119	48	0,04	0,02	0,05	0,05	0,04	0,09	0,8	0,25	0,1		0,005	0,025	0,57	0,5
<b>13</b>	141,8	3	173	3	0,05	0,03	0,05	0,02	0,02		3,6		0,18		0,008		6,71	1

## 6.2. Vergleich der aktuellen Hintergrundwerte mit den Werten der BGR

Auch an dieser Stelle sei dem Vergleich der landeseigenen Hintergrundwerte mit den bundesweit seitens der Staatlichen Geologischen Dienste und der BGR ausgewiesenen Hintergrundwerten ein Vergleich der Herangehensweise zur Ermittlung der Hintergrundwerte vorangestellt. Laut Wagner et al. (2014) stammten die Grundwasseranalysen aus dem bundesweiten rund 52700 Messstellen umfassenden Datensatz aus den Jahren 1980 bis 2012. Zur Auswertung herangezogen wurde pro Messstelle jeweils die neuste vollständige Analyse. Messstellen, bei denen eine anthropogene Beeinflussung bekannt war (z.B. Überwachungsmessstellen von Deponien und Altlasten) oder auffällige Analysen aus dem Umfeld von Bergbaugebieten wurden aus dem für die Ermittlung der Hintergrundwerte relevanten Datensatz ausgeschlossen. Die Präselektion betraf insbesondere die Stadtstaaten Berlin, Bremen und Hamburg. Aufgrund der starken anthropogenen Überprägung und hohen Messstellendichte in diesen Bundesländern wurden Analysen fast ausnahmslos anhand den Kriterien der Berliner Liste (SenStadt, 2005) ausgeschlossen. Zudem wurden in dem Lockergesteinsbereich aufgrund der bekannten geogenen Tiefenzonierung nur Analysen in den oberen 50 m berücksichtigt.

Insgesamt bestand die Datensammlung nach vorgenommener Präselektion aus ungefähr 45000 Analysen. Die Datensammlung für Spurenstoffe umfasste gar maximal 24000 Messstellen. Auf den prozentualen Flächenanteil Sachsen-Anhalts an der Gesamtfläche Deutschlands (6%) hochgerechnet entfielen auf Sachsen-Anhalts von den 45000 Messstellen bei homogener Messstellendichte 2575 Messstellen. Für dieses hier dokumentierte Projekt lagen nach Präselektion und Plausibilitätsprüfungen Analysen von insgesamt 3156 Messstellen. Die Präselektion war hier für die Auswertung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz sehr beschränkt. Nur wenige Messstellen wurden aufgrund von erhöhten Sulfat- und Chloridkonzentrationen von der Auswertung ausgeschlossen. Besonders betroffen davon waren das Kaliwerk Zielitz und Umgebung. Messstellen im Einflussbereich von Bergbaugebieten wurden der Bezugseinheit „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ (BZE 15) zugeordnet und verfälschten auf diese Weise nicht die Hintergrundwerte der anderen Bezugseinheiten. Des Weiteren wurde der Datensatz leicht durch die Plausibilisierung von Einzelwerten und Analysen ausgedünnt. Schlussendlich wurde bei Mehrfachanalysen pro Messstelle der Mittelwert zur Auswertung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz verwendet. Im Gegensatz zu dem bundesweit zugrunde gelegten Datensatz spielten in vorliegender Ermittlung der Hintergrundwerte nur Analysen aus den Jahren 2000 bis 2016 eine Rolle.

Das Parameterspektrum der auf Bundesebene ermittelten Hintergrundwerte umfasst insgesamt 42 Parameter. Für den Parameter Nitrat wurde aufgrund der hohen anthropogenen Beeinflussung gleichfalls kein Hintergrundwerte abgeleitet (Wagner et al., 2014). Für die Nebeninhalts- und Spurenstoffe Nitrit und Gesamt-Phosphor, sowie die physikochemischen Parameter, Gelöster organisch gebundener Kohlenwasserstoff (DOC) und Temperatur liegen zwar landeseigene Hintergrundwerte vor. Jedoch gibt es hierzu keine Vergleichswerte auf Bundesebene.

Zur Ableitung der Hintergrundwerte wurde auf Bundes- und Landesebene im Allgemeinen das Wahrscheinlichkeitsnetz eingesetzt. Bei unzureichender Datenbasis oder überwiegend Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden für die Ableitung der landeseigenen Hintergrundwerte auch alternative statistische Verfahren angewandt. Die im folgenden Vergleich herangezogenen bundesweiten Werte sind jedoch nur das Ergebnis der Auswertung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz. Entsprechend werden bei der parameterbezogenen Gegenüberstellung der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene teils Ergebnisse unterschiedlicher Verfahren verglichen.

Zu beachten ist außerdem, dass die Hintergrundwerte auf Bundesebene pro Hydrogeochemischer Einheit (HGC) ausgewiesen worden sind. In Sachsen-Anhalt wurden die Hintergrundwerte jedoch für Hydrogeologische Einheiten (BZE) und deren Untergliederung bestimmt. Daher war für den Vergleich zunächst eine Zuordnung der HGC zu den BZE erforderlich. Diese Zuordnung ist in Anlage 9: Zuordnung der Hydrogeologischen Bezugseinheiten mit Untergliederung zu den Hydrogeochemischen Einheiten zu finden und spiegelt bereits die Unterschiede zwischen den hydrogeologischen Unterteilungen wider. Die 54 verschiedenen HGC wurden den 14 BZE zugeordnet. Dabei wurde auch die an den BZE vorgenommene Untergliederung berücksichtigt. Die Abgrenzung der HGC basiert auf der HÜK200 von Deutschland. Die verschiedenen Einheiten der HÜK200 wurden unter geologisch-genetischen und hydrogeologischen Gesichtspunkten zu den hydrogeochemischen Einheiten aggregiert.

Im Allgemeinen wird daher eine HGC als weitgehend homogen in Bezug auf deren hydrogeochemischen Charakteristika betrachtet. Aufgrund der lateralen und vertikalen Inhomogenitäten im Lockergesteinsbereich wurden die HGC anhand der hydrogeologischen Raumgliederung Deutschlands zusätzlich angepasst. Dennoch sind im Lockergesteinsbereich die vertikalen Lagerungsbedingungen durch die HGC nicht so differenziert wie durch die BZE abgebildet. Im Festgesteinsbereich hingegen wird durch die HGC stärker der lithologische Charakter der grundwasserführenden Gesteinseinheit betont. Da manchen BZE mehrere HGC zugeordnet werden konnten, sind in den vergleichenden Tabellen stellenweise Spannweiten angegeben. Die Spannweiten ergeben sich aus den Hintergrundwerten der einzelnen HGC, die einer BZE entsprechen. In der nachfolgenden Tabelle 6-3 sind die Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene einheitsbezogen für neun der zwölf Parameter der GrwV aufgeführt. Der Vergleich für alle Parameter ist in Anlage 10: Vergleich der aktuellen Hintergrundwerte mit den Werten auf Bundesebene angeführt. Selbiger wird an dieser Stelle jedoch nicht ausführlich diskutiert werden.

Für die BZE „Basische Magmatite“ (BZE 14) und „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ (BZE 15) wurden auf Bundesebene in den zugeordneten HGC innerhalb der Landesgrenzen Sachsen-Anhalts keine Hintergrundwerte ausgewiesen. Zur Veranschaulichung der Unterschiede zwischen den jeweiligen Hintergrundwerten wurden für acht Parameter der GrwV (Nitrat und Nitrit ausgenommen) auch Karten (vgl. Abbildung 6-1, Abbildung 6-2, Abbildung 6-3, Abbildung 6-4) generiert, die die rasterbasierte Differenz zwischen den Hintergrundwerten auf Basis der BZE und den Werten auf Basis der HGC darstellen. Die Differenz ergibt sich aus dem Raster der Hintergrundwerte der BZE minus dem Raster der Hintergrundwerte der HGC. Entsprechend bilden positive Werte Bereiche ab, bei denen der landeseigene Hintergrundwert den bundesweiten übersteigt. Flächen für die auf Bundesebene keine Hintergrundwerte ausgewiesen worden sind, erhalten keinen Wert und sind weißlich hinterlegt. Insbesondere bei dem Parameter Quecksilber stechen diese Datenlücken großflächig hervor.

Zu beachten ist, dass diese Karten nur einen ersten Eindruck zu gegebenen Unterschieden vermitteln können. Sie sind aber nicht gleichbedeutend mit den tabellarischen Übersichten, bei denen nämlich zunächst eine Zuordnung der HGC zu den BZE erfolgte. Denn die Differenz pro Rasterzelle wird unabhängig von der hydrogeologischen Zuordnung berechnet. Das führt also dazu, dass sich eine Differenz aus dem landeseigenen Hintergrundwert von „Buntsandstein“ und dem bundesweiten abgeleiteten Hintergrundwert für „quartäre Sande und Schluffe“ bilden kann. Nur für Gebiete, die bei der hydrogeologischen Unterteilung auf Landes-, wie Bundesebene hydrochemisch gleiche Eigenschaften aufweisen, ist der rasterbasierte Vergleich korrekt.

Tabelle 6-3 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene am Beispiel der Parameter Cl, SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, As, Cd, Hg und Pb

BZE	Cl [mg/l]		SO <sub>4</sub> [mg/l]		NH <sub>4</sub> [mg/l]		PO <sub>4</sub> [mg/l]		As [µg/l]		Cd [µg/l]		Hg [µg/l]		Pb [µg/l]	
	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund
1 (GR1 Nord+Süd)	83,7	61,5 - 91,6	245	160 - 270	0,39	0,883 - 1,02	0,26	0,239 - 0,557	1,3	2,75 - 5,3	0,09	0,223 - 1,08	0,025	0,0506	0,5	0,147 - 3
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	167,2	96,1 - 126	695	345 - 716	0,07	0,247 - 1,96	0,05	0,337 - 0,383	6	1,73 - 3,57	0,25	0,174	0,065		0,46	1,15 - 7,38
2 (GR1 Nord+Süd)	124,5	61,5 - 91,6	315	160 - 270	0,71	0,883 - 1,02	0,19	0,239 - 0,557	1	2,75 - 5,3	0,2	0,223 - 1,08	0,025	0,0506	0,69	0,147 - 3
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	266,5	96,1 - 126	597	345 - 716	0,3	0,247 - 1,96	0,16	0,337 - 0,383	2,5	1,73 - 3,57	0,1	0,174	0,05		0,5	1,15 - 7,38
4 (GR1 Nord)	46,8	61,4 - 70	129	113 - 172	0,21	0,373 - 0,695	0,28	0,178 - 0,418	1,3	2,12 - 3,22	0,09	0,078 - 0,837	0,003	0,000629	0,58	0,14 - 1,38
4 (GR1 Süd)	72,3	108	416	644	0,08	0,876	0,07	0,244	2,5	1,43	0,1	1,47	0,018	0,125	0,5	1,52
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	147,7	96,1 - 126	619	345 - 716	0,13	0,247 - 1,96	0,08	0,337 - 0,383	2,7	1,73 - 3,57	0,25	0,174	0,025		0,5	1,15 - 7,38
5 (GR1 Nord)	71,2	61,4 - 70	204	113 - 172	0,19	0,373 - 0,695	0,22	0,178 - 0,418	0,9	2,12 - 3,22	0,04	0,078 - 0,837	0,005	0,000629	0,54	0,14 - 1,38
5 (GR1 Süd)	81	108	454	644	0,17	0,876	0,13	0,244	1,5	1,43	0,1	1,47	0,01	0,125	1,3	1,52
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	174,5	96,1 - 126	574	345 - 716	0,17	0,247 - 1,96	0,04	0,337 - 0,383	2	1,73 - 3,57	0,1	0,174	0,05		0,5	1,15 - 7,38
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	166,3	115 - 121	683	594 - 785	0,53	1,08 - 2,57	0,14	0,0846 - 0,106	4,2	3,11 - 4,13	0,1	0,185 - 2,44		0,0902	0,5	2,98 - 13,6
7	156,2	69,3	613	357	0,08	0,117	0,06	-	0,3	0,363	0,1	0,0185	0,025	0,0155	0,5	0,497
8	162,5	48,5 - 63,5	397	289 - 452	0,14	0,224	0,13	0,461	2	1,58 - 6,43	0,14	0,149	0,025		0,98	1,21
9	126,3	43,9 - 135	395	126 - 2950	0,25	0,288 - 20,3	0,13	0,0391 - 0,299	1,5	0,312 - 2,97	0,1	0,0753 - 3,15	0,025	0,0167 - 0,0252	0,5	1,09 - 2,49
10	39,1	72,6	658	710	0,05	0,341 - 0,341	0,05	0,13	0,6	7,36 - 7,36	0,11	0,0915	0,05		1,6	2,55
11	123,6	63,3	398	156	0,05	0,0911	0,13		5,5	2,01	0,05	1,59	0,007		0,5	3,72
12	31,6	72,7	119	45,9 - 111	0,04	0,0424 - 49,9	0,04	0,0526	0,8	0,885 - 4,23	0,1	0,0563 - 0,574	0,005	0,289	0,57	0,291 - 3,79
13	141,8	26,8	173	45,5	0,05	0,0111	0,02	0,107	3,6	0,849	0,18	0,229	0,008	0,115	6,71	0,341

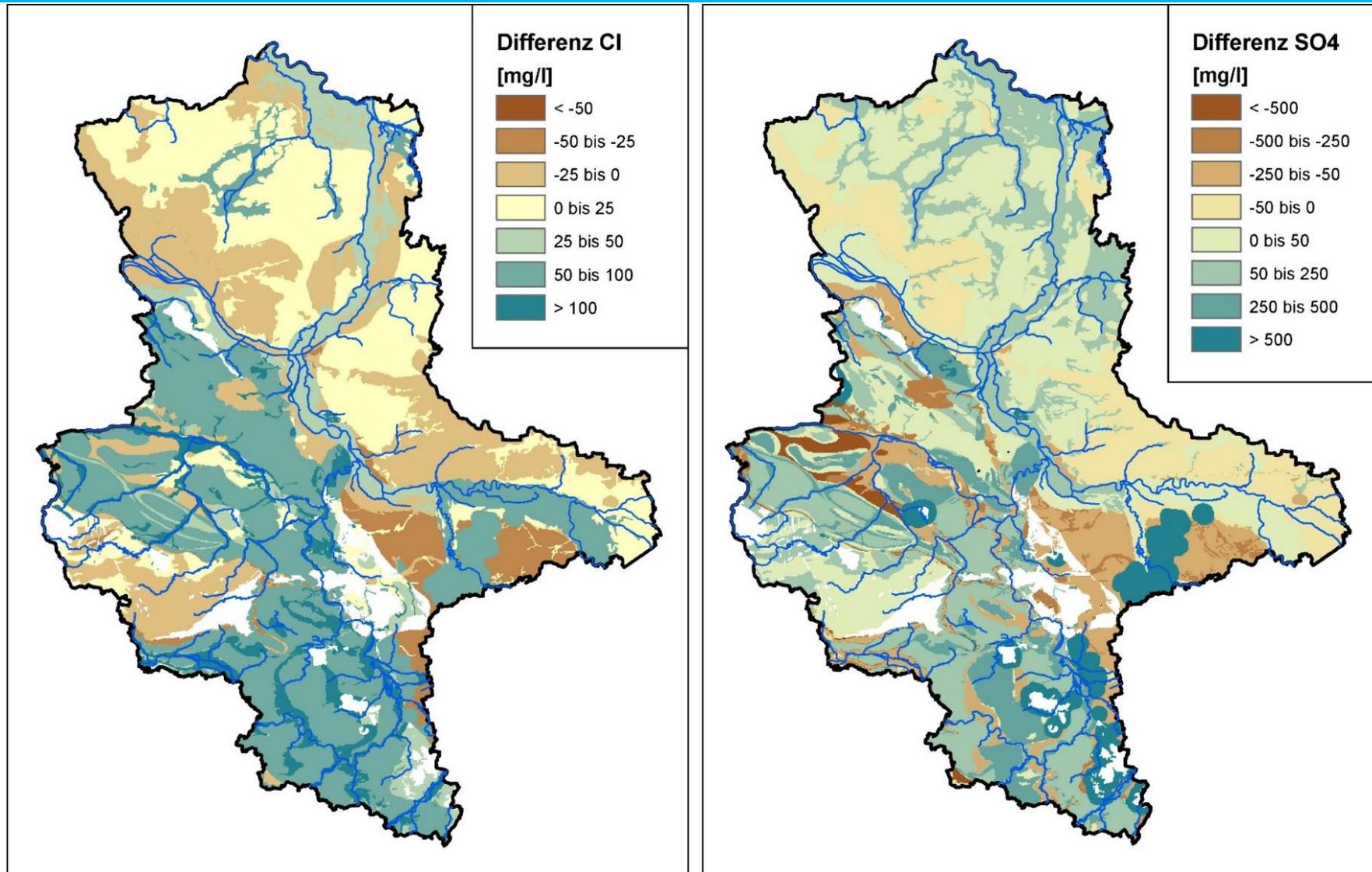


Abbildung 6-1 Kartografischer Vergleich der Hintergrundwerte der Parameter Chlorid und Sulfat auf Landes- und Bundesebene

Die Karten stellen jeweils Differenzen zwischen Hintergrundwert Landesebene minus Hintergrundwert Bundesebene dar.

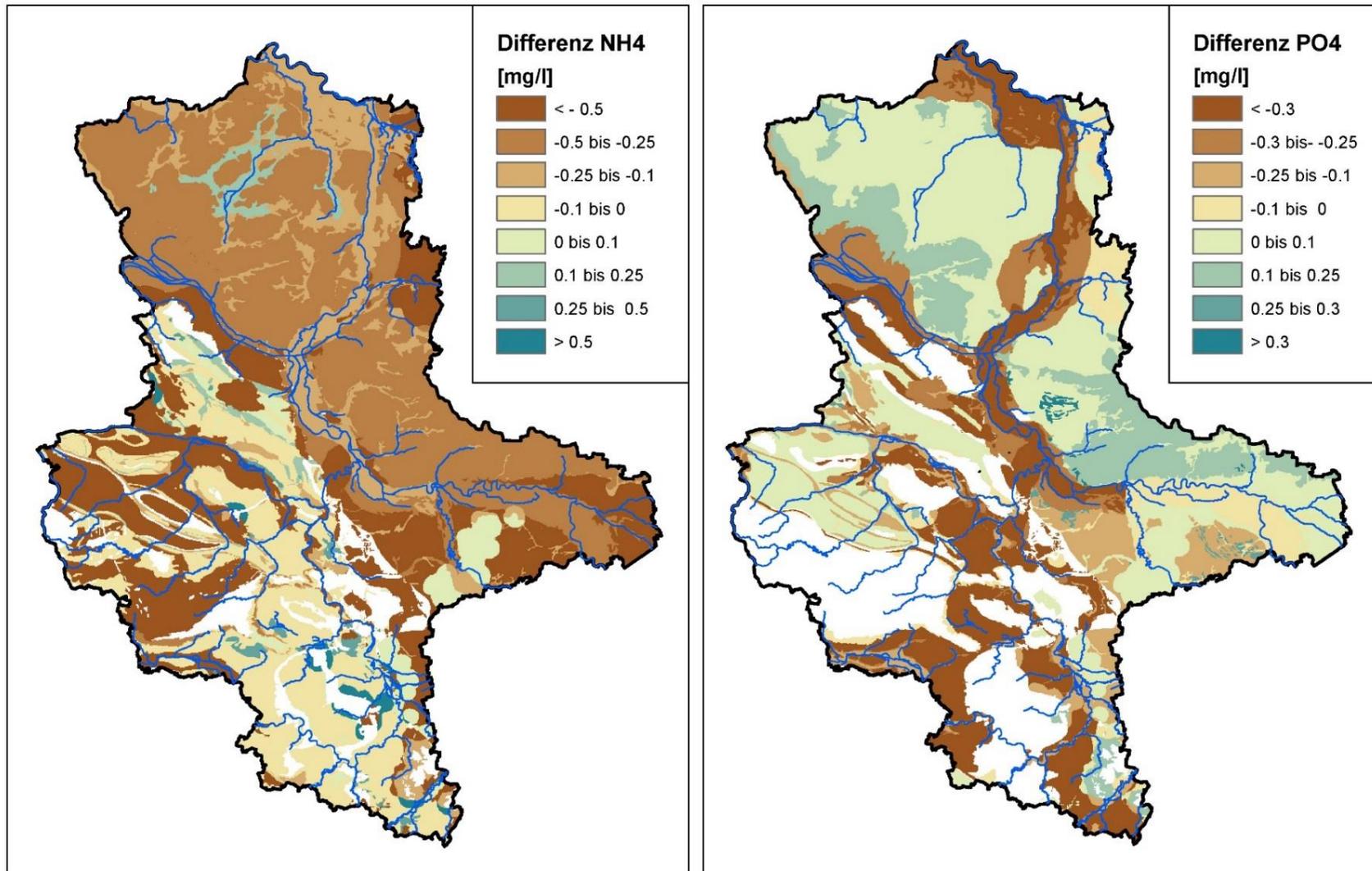


Abbildung 6-2 Kartografischer Vergleich der Hintergrundwerte der Parameter Ammonium und Ortho-Phosphat auf Landes- und Bundesebene

Die Karten stellen jeweils Differenzen zwischen Hintergrundwert Landesebene minus Hintergrundwert Bundesebene dar.

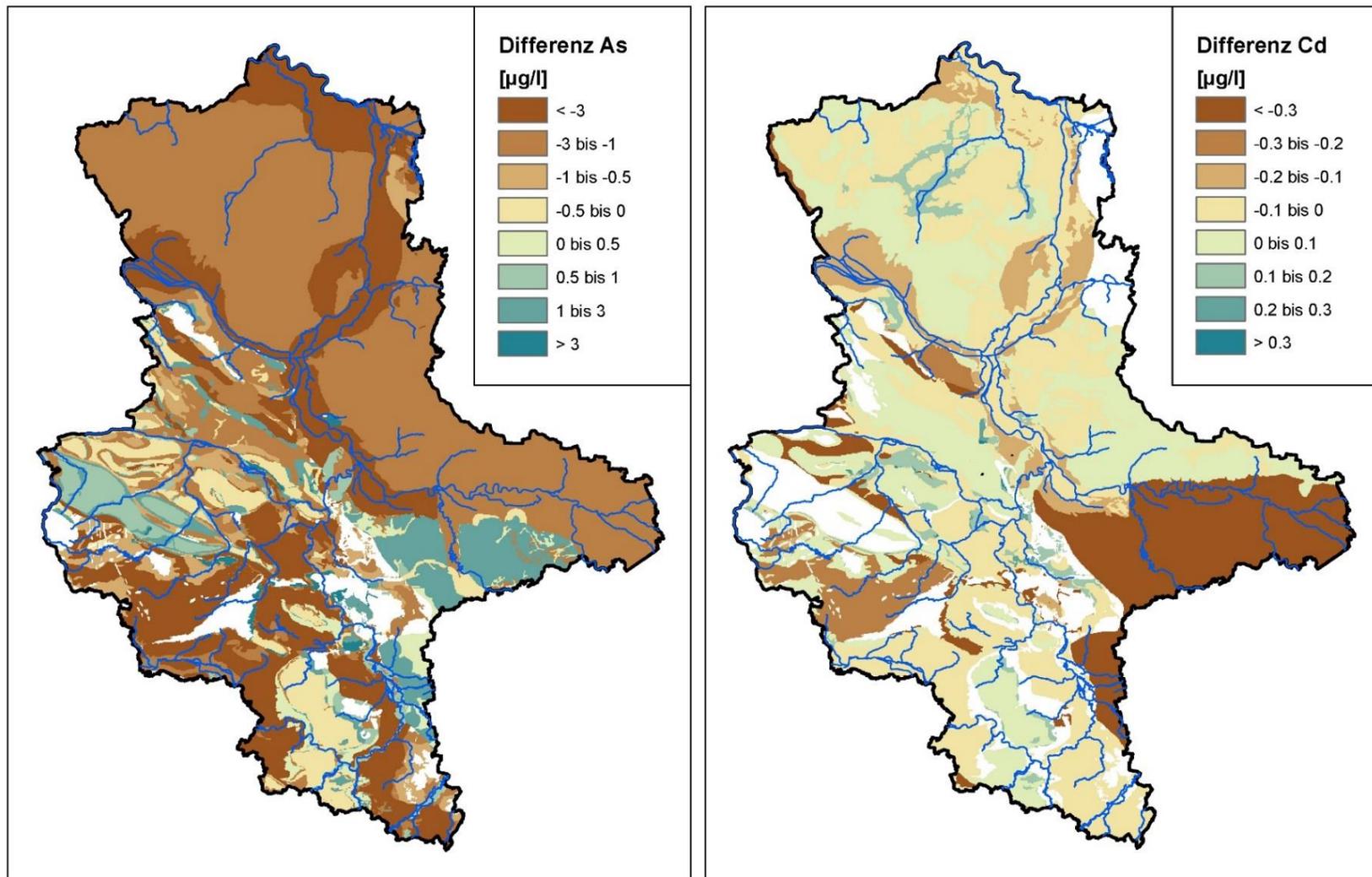


Abbildung 6-3 Kartografischer Vergleich der Hintergrundwerte der Parameter Arsen und Cadmium auf Landes- und Bundesebene.

Die Karten stellen jeweils Differenzen zwischen Hintergrundwert Landesebene minus Hintergrundwert Bundesebene dar.

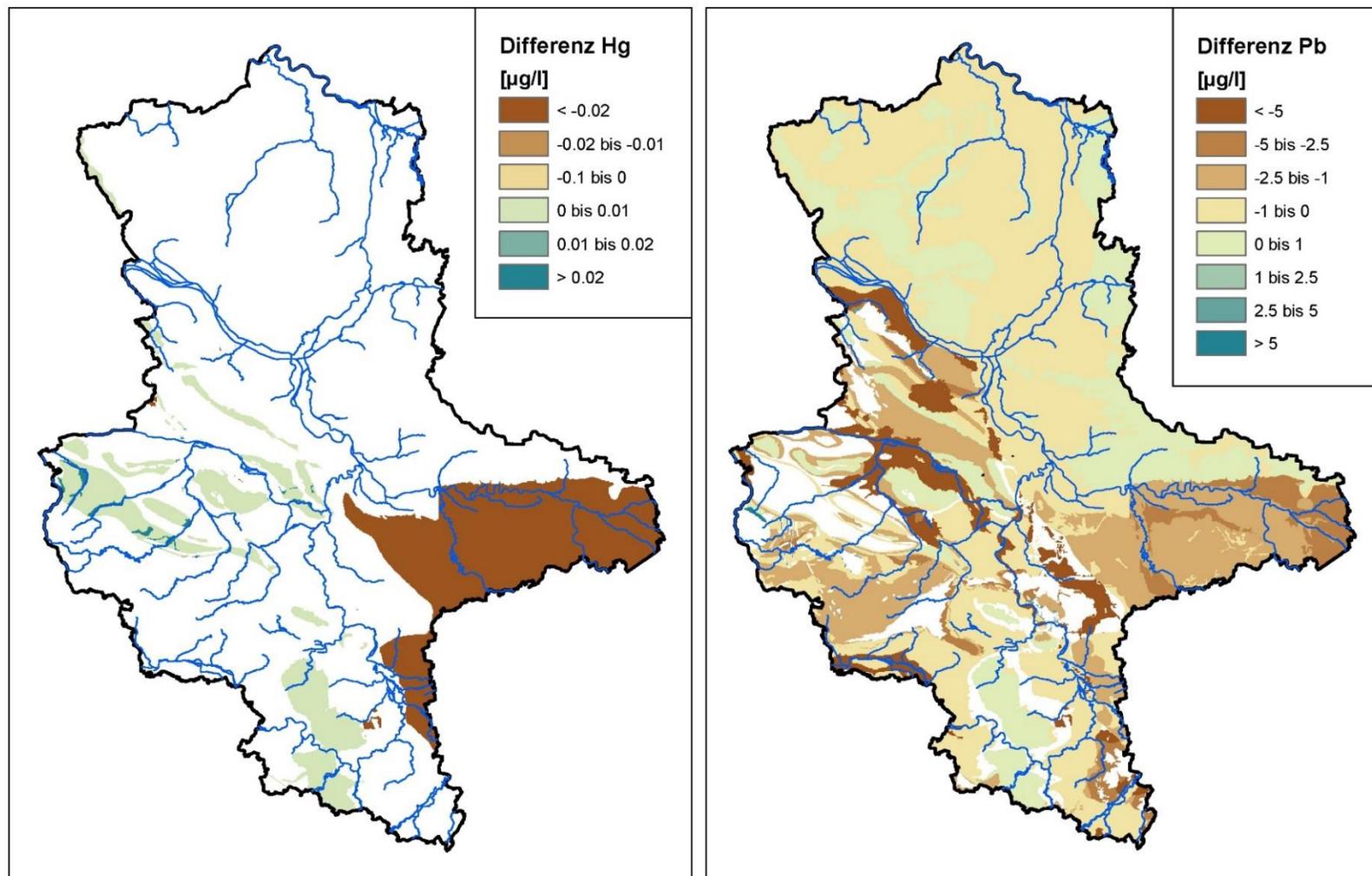


Abbildung 6-4 Kartografischer Vergleich der Hintergrundwerte der Parameter Quecksilber und Blei auf Landes- und Bundesebene.

Die Karten stellen jeweils Differenzen zwischen Hintergrundwert Landesebene minus Hintergrundwert Bundesebene dar.

### 6.3. Parameterbezogene Bewertung der aktuellen Hintergrundwerte

Nachfolgend wird für ausgewählte Parameter eine hydrogeologisch basierte Bewertung der aktuell ausgewiesenen Hintergrundwerte vorgenommen, die auf die besonderen Lagerungsbedingungen und genetischen Charakteristika sowie anthropogenen Überprägungen der Grundwasserleiter in Sachsen-Anhalt eingeht. Exemplarisch wird vor allem auf die in der GrwV (2017) aufgeführten Parameter sowie einige weitere, milieutypische Inhaltsstoffe und Spurenelemente eingegangen. Soweit möglich, wird hierbei auf bekannte Dokumentationen in der Literatur verwiesen.

#### 6.3.1. Chlorid

Das Hauptanion Chlorid ist Bestandteil von fast allen grundwasserführenden Gesteinseinheiten. Die Konzentrationshöhen können in Abhängigkeit vom Gestein jedoch sehr unterschiedlich sein. Meist ist es an die Kationen Natrium und Kalium gebunden. So tritt es beispielsweise als Natriumchlorid im Steinsalz und als Kaliumchlorid-Lagerstätte auf. Da es weder durch Abbau- noch Umwandlungsprozesse beeinflusst wird, gilt Chlorid auch als natürlicher Tracer. Stark erhöhte Chloridgehalte können zudem Indikatoren für punktuelle Abwassereinleitungen, Belastungen aus Deponien, Streusalzeinflüsse oder den Einsatz von Düngemitteln sein. Die Hintergrundwerte von Chlorid sind für die verschiedenen Bezugseinheiten als Balkendiagramm in der Abbildung 6-5 abgetragen.

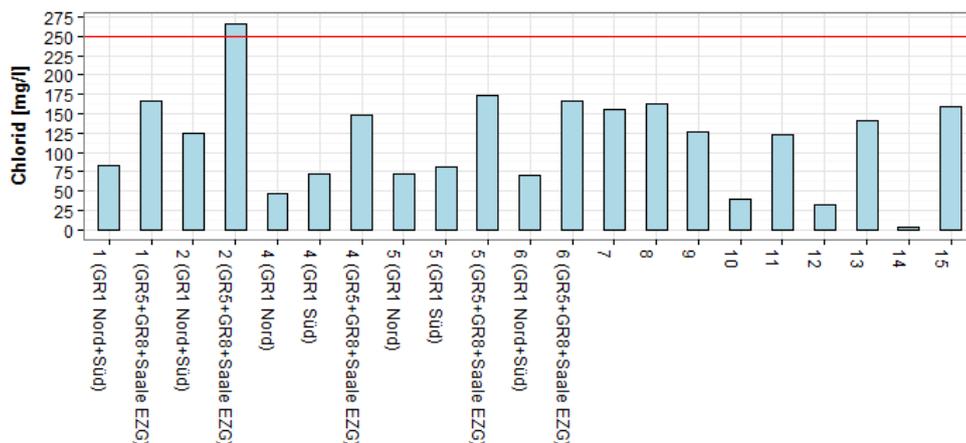


Abbildung 6-5 Hintergrundwerte des Parameters Chlorid pro hydrogeologischer Bezugseinheit als Balkendiagramm (die rote horizontale Linie kennzeichnet die Höhe des Schwellenwertes laut GrwV (2017) von 250 mg/l)

In den Lockergesteinen im Norden des Landes Sachsen-Anhalts dominieren niedrige Konzentrationsbereichen. Entsprechend liegen die Mittelwerte der Normalpopulationen unter 50 mg/l. Die Hintergrundwerte liegen bis auf die Ausnahme der Einheit „Flussauen mit Auenlehmdecke“ (BZE 2, GR1 Nord+Süd) unter 100 mg/l. Gegenüber dem „Nord- und mitteldeutschen Lockergesteinsbereich“ (GR1) sind die Chloridgehalte in den quartären und tertiären Schichten im Festgesteinsbereich generell erhöht. Auch hier sticht insbesondere die Einheit „Flussauen mit Auenlehmdecke“ (BZE 2, GR5+GR8+Saale EZG) mit einem Hintergrundwert von 266.5 mg/l hervor. Die Chloridgehalte von mehr als 200 mg/l konzentrieren sich einerseits auf das Saalemündungsgebiet auf der Höhe von Barby.

Andererseits wurden entlang der Bode und Wipper stellenweise auch sehr hohe Chloridkonzentrationen verzeichnet. Der Salzeintrag ist hier als bergbaubedingt einzustufen. Nennenswerte Verursacher sind vor

allem die aktiven Kalisalzbergwerke bei Staßfurt und Bernburg. Des Weiteren können die Salzgehalte auf eine Beeinflussung durch den Altbergbau zurückgeführt werden. Beispielsweise entwässert der Schlüßelstollen, der eine zentrale Funktion bei der Wasserabführung aus dem Mansfelder Kupferbergbaugebiet besitzt, in die Schlenze, einen Nebenfluss der Saale. Das Grundwasser am Mundloch des Stollens weist mittlere Chloridgehalte von ungefähr 14700 mg/l auf. Die Abschnitte des Saaletals südlich der Halleschen Störung gelten zudem als Entlastungsgebiete salinar betonter, meist zechsteinbürtiger Tiefenwässer (LAGB, 2007). Aufgrund der genannten anthropogen verursachten und sekundär geogenen Versalzungserscheinungen nimmt die Salzbelastung der Saale sichtbar bis zur Mündung in die Elbe zu.

Die Salzfracht der Elbe wiederum wird besonders durch den Zufluss der Saale geprägt. Bei beiden Flüssen ist von Austauschprozessen zwischen Oberflächen- und Grundwasser innerhalb der hyporheischen Zone auszugehen. Für die BZE 2 wurden bereits 2008 Hintergrundwerte mit einer oberen Spannweite von 300 mg/l festgelegt (vgl. Tabelle 6-2). Dass der Süden Sachsens-Anhalts salzbelastet ist, wird gleichfalls durch die im Süden lokalisierten verschiedenen Binnensalzstellen - wie die bereits erwähnten Salzquellen bei Hecklingen - belegt. Das ausgeprägt Nord-Südkonzentrationsgefälle, welches durch die aktuellen Hintergrundwerte widerspiegelt wird, wird auch durch die für die hydrogeochemischen Einheiten abgeleiteten Hintergrundwerten abgebildet. Obschon die Konzentrationshöhen der Hintergrundgehalte in quartären und tertiären Schichten sich hier auf maximal 126 mg/l beschränken und minimal bei 61.4 mg/l liegen. Die Spannweite der Hintergrundwerte für Lockergesteine, die für die hydrogeochemischen Einheiten ermittelt wurden, sind geringer als die Spannweiten der aktuell ausgewiesenen Hintergrundwerte.

Dadurch zeigt sich, dass durch die hydrogeologischen Bezugseinheiten und deren Untergliederungen die Hintergrundkonzentrationen von Chlorid für die Lockergesteine differenzierter ausgewiesen werden konnten. Verdeutlicht wird dies außerdem durch die Abbildung 5-1: Im Allgemeinen wird der Festgesteinsbereich durch die Hintergrundwerte der den hydrogeochemischen Einheiten zugeordneten Grundwasserleitern im Vergleich zu den Hintergrundwerten auf Ebene der Bezugseinheiten tendenziell unterschätzt und der Lockergesteinsbereich überschätzt.

Bei den Festgesteinen sind die Bezugseinheiten „Zechstein“ (BZE 10) und „Altpaläozoikum“ (BZE 12) durch niedrige Hintergrundkonzentrationen auffällig. Formationen des Muschelkalks (BZE 7), Buntsandsteins (BZE 8), des Keupers, Jura, Kreide (BZE 9), sowie die Sauren Magmatite (BZE 13) zeigen Hintergrundgehalte zwischen 120 bis 160 mg/l auf. In zuletzt genannten hydrogeologischen Einheiten treten Chloridkonzentrationen über 100 mg/l markant an den tektonischen Störungen zutage. Diese streichen hauptsächlich von Nordwest nach Südost und können das Aufsteigen hochmineralisierter Wässer begünstigen (s. Abbildung 6-7).

Erhöhte Chloridgehalte haben jedoch noch andere Ursachen. In der BZE 7 mitbestimmend für einen Hintergrundwert größer 150 mg/l sind beispielsweise die Schichtwässer des Staßfurtkarbonats. Teils handelt es sich dabei um saline Reliktlösungen (Mühlenweg et al., 1997). Höhere Konzentrationen in der BZE 8 sind wiederum zum Beispiel durch Proben vom ehemaligen Hüttenstandort Helbra beeinflusst. Das Mansfelder Land gilt als durch den Bergbau anthropogen stark überprägte Region. Aufgrund der deutlichen Überprägung war eine Abtrennung dieser anthropogenen Komponente mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes nicht möglich.

Für die BZE 13 erscheint der ausgewiesene Hintergrundwert von 141.8 mg/l im Vergleich zu den bisherigen Hintergrundwerten von 3 mg/l und den Hintergrundwert von 26.8 mg/l nach Wagner et al. (2014) als sehr hoch. In der Regel gelten kristalline Gesteine als gering mineralisiert. Dies zeigen jedoch nur die Grundwasserproben der im Harz gelegenen Quellen. Die Intrusionsgesteine der Magdeburger-Flechtlinger Hochlage und des Halleschen Vulkanitkomplexes hingegen weisen weitaus höhere Konzentrationen auf. Die dieser Einheit eigene Normalpopulation ist daher als Mischpopulation zu charakterisieren. Hydrogeochemisch betrachtet, hätte eine weitere Untergliederung der BZE 13 erfolgen müssen. Aufgrund der geringen Messstelleanzahl war dies jedoch nicht praktikabel.

### 6.3.2. Sulfat

Sulfat ist ein geochemisch sehr mobiles Anion, welches in nahezu allen Grundwässern einen geogenen Hauptbestandteil stellt. Für Sulfat gelten neben dem Niederschlag und der atmosphärischen Deposition auch Gips und Anhydrit zu den bedeutsamen natürlichen Quellen einer Sulfatanreicherung im Grundwasser. Daher typisieren höhere Sulfatgehalte zum Beispiel gipshaltige Schichten wie Zechstein- oder Triasaquifere. Zudem kann Sulfat sich durch Wechselwirkung von Pyrit mit im Grundwasserleiter vorhandenen Oxidationsmittel wie Sauerstoff oder Nitrat bilden. In diesen Fällen sind hohe Sulfatkonzentrationen Zeiger für Denitrifikationsprozesse. Anthropogen beeinflusst werden Sulfatgehalte flächenhaft durch großräumige Grundwasserabsenkungen und die Intensivlandwirtschaft und punktuell durch Abwässer, Bergbauhalden und Deponien.

Die Hintergrundgehalte sind für den Parameter Sulfat in der Abbildung 6-6 als Balkendiagramm dargestellt. Der Schwellenwert nach der GrwV (2017) von 250 mg/l wird bei der Mehrheit der Einheiten überschritten. Ähnlich wie bei Chlorid konzentrieren sich niedrige Konzentrationsbereiche auf die nördlich gelegenen quartären und tertiären Schichten.

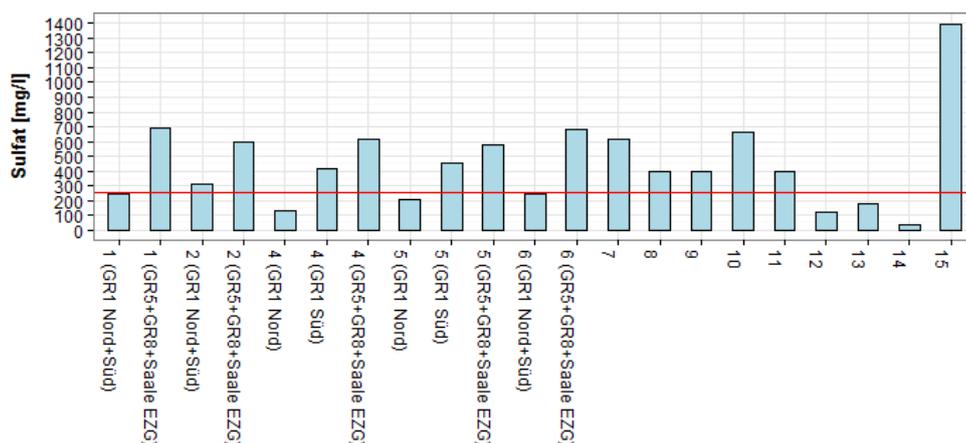


Abbildung 6-6 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Sulfat[mg/l]

Die rote horizontale Linie kennzeichnet die Höhe des Schwellenwertes laut GrwV (2017) von 250 mg/l.

Im Festgesteinsbereich zeichnen sich nur die Bezugseinheiten „Altpaläozoikum“ (BZE 12), „Saure Magmatite“ (BZE 13) und „Basische Magmatite“ (BZE 14) durch niedrige Sulfatgehalte aus. Sehr ausgeprägt sind auch die Unterschiede zwischen den Hintergrundwerten der känozoischen Schichten im Lockergesteinsbereich im Südosten Sachsens-Anhalts bzw. im Festgesteinsbereich. Denn in den känozoisch gefüllten Talbildungen und Randsenken im Bereich des Subherzyn sind durch sedimentäre Prozesse lokal auch mesozoische und teils sulfathaltige Materialien mit den Lockergesteinen vermischt.

Zudem sind die Täler Entlastungsgebiete von Grundwässern, die in mesozoischen Festgesteinen gebildet wurden und dementsprechend auch durch diese hydrochemisch geprägt sind.

Den Hintergrundwerten für die quartären und tertiären Einheiten im Festgesteinsbereich, die zwischen 570 bis 700 mg/l schwanken, stehen in den nördlichen Lockergesteinseinheiten Werte von maximal 315 mg/l („Flussauen mit Auenlehmedecke“, BZE 2, GR1 Nord+Süd) gegenüber. Die Mittelwerte der Normalpopulationen der känozoischen Schichten im Festgesteinsbereich liegen zwischen 200 bis 400 mg/l. Mittlere Konzentrationen größer als 500 mg/l bei einzelnen Messstellen sind vor allem entlang der Bode lokalisiert. Durch die geologischen Strukturen der Subherzynen Senke können diese hohen Konzentrationen in den Lockergesteinen erklärt werden (Abbildung 6-7).

Die Halberstadt-Blankenburger-Scholle ist durch den Wechsel von silikatischen Schichten, Karbonaten und Salzgesteinen charakterisiert. Vielfach treten auch Gipslagen auf (LAGB, 2007). Das Grundwasser in diesem Bereich gilt allgemein aufgrund des hohen Lösungsinhalts als für die Trinkwasserversorgung wenig geeignet. In der Oschersleben-Bernburger Scholle treten markante Zechsteinstrukturen auf. Oberhalb dieses Staßfurt-Oschersleben-Barneberger Salzsattels fließt die Bode. Von einer Beeinflussung der Niederung der Bode durch saline Tiefenwässer ist hier auszugehen (LAGB, 2007). Auch in den Störungsbereichen der Weferlingen-Schönebecker Scholle wird laut LAGB (2007) der hydraulische Kontakt zwischen Fest- und Lockergestein durch eine erhöhte Mineralisation belegt.

Ursächlich hierfür ist vor allem die Ablaugung von Gips und steinsalzführenden Schichten. Weiterhin sind auch an der Saale auf der Höhe von Halle und im Saalemündungsgebiet sehr hohe Sulfatkonzentrationen anzutreffen. In diesen Bereichen ist jedoch auch aufgrund der nahegelegenen Industrie- und Bergbaugebiete (Pyritverwitterung) von einem anthropogenen Einfluss auszugehen. Zumal die atmosphärische Deposition von Sulfat insbesondere an den zwei Kraftwerkstandorten im Süden des Landes im Vergleich zu den anderen Gebieten in Sachsen-Anhalt beträchtlich ist. Zudem ist für die Hauptterrassen des Ostens bis Südostens von Halle im Bereich der Halle-Störung oder auch im Raum Köthen, in denen die quartären Schichten direkt auf dem sulfatführenden Rupelton aufliegen, der Aufstieg hoch mineralisierte Wasser bekannt. Das Tertiär ist allgemein wegen der Braunkohle führenden Schichten durch eine hohe Hintergrundkonzentration von Sulfat gekennzeichnet.

Bereits in HYDOR (2008) sind für die känozoischen Einheiten Hintergrundwerte bis zu 530 mg/l dokumentiert. Auch in den vergleichbaren känozoischen hydrogeochemischen Einheiten finden sich Hintergrundkonzentrationen für Sulfat, die an fast 800 mg/l heranreichen (vgl. Tabelle 6-3). Hier wurden insbesondere für die tertiären Schichten höhere Hintergrundgehalte festgelegt. Die oberen Spannweiten der Hintergrundwerte für das Quartär nach Wagner et al. (2014) überschreiten nur bei den pleistozänen Schichten im Nordraum nicht den vorgegebenen Schwellenwert.

Nach Jahnke (2016) liegen die Hintergrundwerte für känozoische Lockergesteine jedoch in Bereichen zwischen 220 und 230 mg/l. Dabei ist anzumerken, dass bei dieser Ableitung eine Vorauswahl der zu berücksichtigenden Analysen auf Basis von Schwellenwerten von Indikatorparametern (z.B. Chlorid, Kalium, Nitrat und Bor) erfolgte. Die Schwellenwerte selbst, ab derer eine anthropogene Beeinflussung angenommen wird, wurden durch Analysen an Standorten festgelegt, bei denen eine geringe anthropogene Flächennutzung gegeben war. Dies betraf die Waldstandorte (< 10 % anthropogen geprägte Flächennutzung im 200 m Umfeld und max. 25 % im 500 m Umfeld). Die Waldflächen wiederum bedecken im Vergleich zum Beispiel zu den landwirtschaftlichen Nutzgebieten nur einen geringen Anteil Sachsens-Anhalts und repräsentieren entsprechend nur ausgewählte Gebiete.

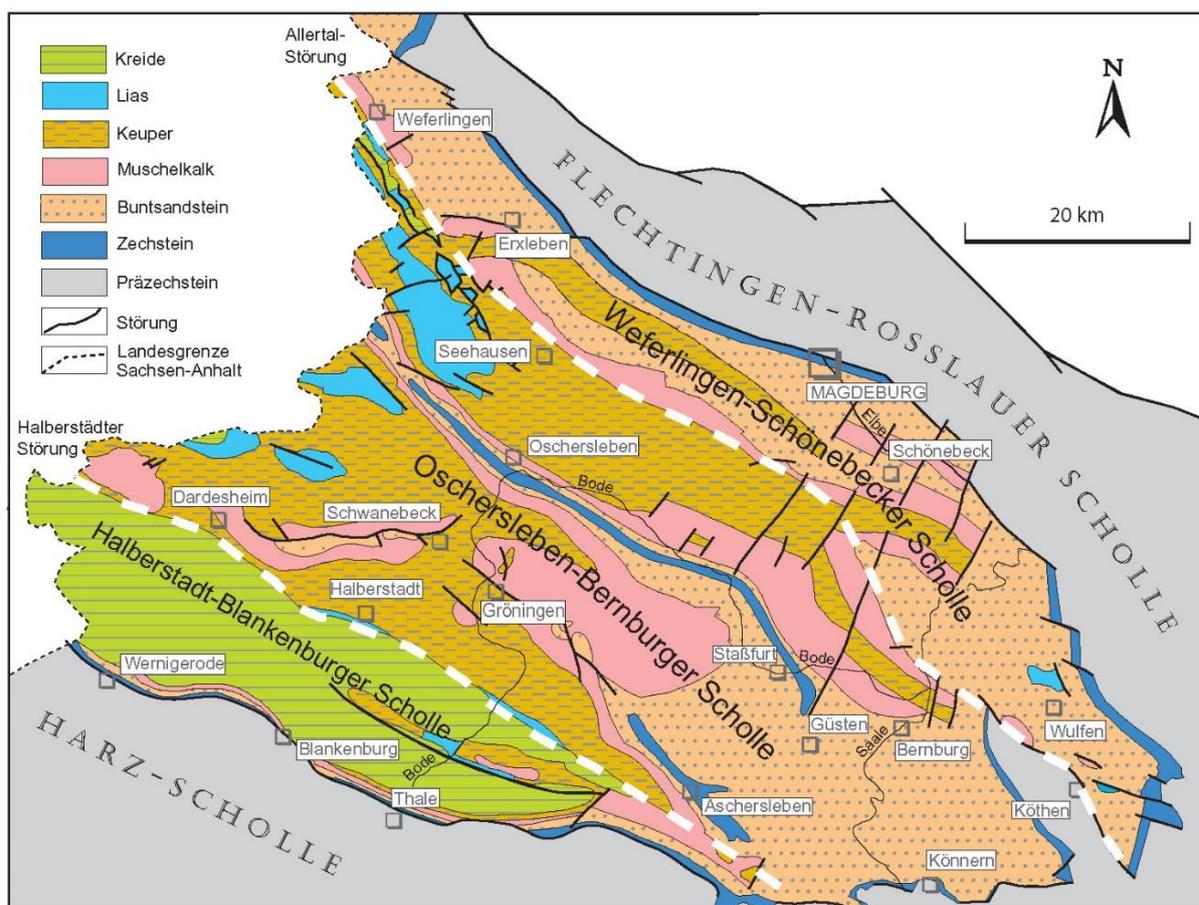


Abbildung 6-7 Geologie der Subherzynen Senke, dargestellt ohne känozoische Bildungen. (Franke, 2017; verändert nach Martiklos et al., 2001)

Bei den Festgesteinen besitzt die Bezugseinheit „Zechstein“ (BZE 10) mit einem Hintergrundwert von 658 mg/l die höchste Hintergrundkonzentration. Dies ist aufgrund der gipshaltigen Schichten plausibel. Der hier ermittelte Hintergrundwert ist mit dem bisherigen Wert vergleichbar. Mit einem Hintergrundgehalt von 613 mg/l rangiert die Bezugseinheit „Muschelkalk“ (BZE 7) an zweiter Stelle in Bezug auf die Konzentrationshöhe in den Festgesteinen. Dennoch übersteigt diese angegebene Konzentration den bisherigen Wert von 401 mg/l. Letzterer entspricht eher dem auf Bundesebene abgeleiteten Hintergrundwert. In den Hauptverbreitungsgebieten des Muschelkalkes zeichnen sich die Grundwässer jedoch durch Calcium und Sulfat als Hauptkomponenten aus – entsprechend hoch ist der Hintergrundwert.

Für die Bezugseinheit „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ (BZE 15) wurde ein Hintergrundwert von annähernd 1400 mg/l zugewiesen. Aufgrund der erheblichen anthropogenen Eingriffe kann man in diesen Gebieten die natürliche Hintergrundkonzentration nicht bestimmen. Da der Beeinflussungsbereich durch den Tagebau zum Beispiel durch Grundwasserabsenkung auch außerhalb der eigentlichen Abgrabungsgebiete liegt, wurde die BZE 15 um eine 2km-Pufferzone erweitert (vgl. 3.6.3.).

Beim Vergleich der Hintergrundwerte für Sulfat, die für die Bezugseinheiten ausgewiesen worden sind, mit den Hintergrundwerten auf Ebene der hydrogeochemischen Einheiten wird deutlich, dass die landeseigenen Werte tendenziell eher über den Werten liegen, die deutschlandweit vorliegen (vgl. Abbildung 6-1). Dies ist zum einen auf die besonderen geologischen Gegebenheiten im Festgesteinsbereich

zurückzuführen. Zum anderen sind vor allem Gebiete mit deutlich anthropogener Überprägung davon betroffen.

Ausgeprägt ist dies vor allem an Bergbaustandorten zu finden. Im Allgemeinen zeigt sich für die Klärung der Ursache der erhöhten Sulfatkonzentrationen eine Überlagerung von geogenen und anthropogenen Faktoren. Die Identifikation und Trennung dieser Ursachen würde eine Einzelfallbetrachtung für jeden Messstellenstandort erfordern, der im Rahmen dieses Projektes nicht möglich war.

Gleiches gilt auch hinsichtlich der Schwellenwerte für Sulfat bei Grundwasserkörpern, die einen relevanten Flächenanteil in der Umgebung der Bergbauggebiete besitzen (s. Aufzählung in Kap. 5.3 auf Seite 73). Hier sollte durch nachfolgend mittels einer Einzelfallprüfung eines Experten geprüft werden, inwiefern der einheitliche Schwellenwert für den Grundwasserkörper den notwendigen Schutz des Grundwassers in relevanten Teilbereichen des Grundwasserkörpers ohne Bergbaueinfluss vernachlässigt. Ist dies der Fall wäre eine nachträglich differenzierte Ausweisung von Schwellenwerten für Sulfat bei den betroffenen Körpern zu erwägen.

### 6.3.3. Ammonium und Nitrit

Stickstoff ist ein essentielles Element für alle Organismen und besitzt auch einen eigenen Stoffkreislauf. In Gesteinen spielt Stickstoff selbst eine nebensächliche Rolle. Als wichtige anorganische Verbindungen im Stickstoffkreislauf gelten Nitrat und Ammonium. Insbesondere die Redoxverhältnisse im Grundwasser sind jeweils maßgebend für das Überwiegen von Nitrat oder Ammonium. Wegen seiner Instabilität hat Nitrit eine geringere Bedeutung. Nitrit kann reversibel in Nitrat umgewandelt werden und irreversibel in molekularen Stickstoff.

Natürliche Lieferanten der Stickstoffverbindungen sind an erster Stelle Abbauprodukte organischer Substanzen in Boden und Grundwasser. Aufgrund der hohen Wasserlöslichkeit der Nitratsalze sind diese nur unter spezifischen Bedingungen an gesteinsbildenden Prozessen beteiligt. Ähnlich verhält es sich mit Ammonium, welches durch Gesteinsverwitterung nur in sehr geringen Maßen freigesetzt wird, da es nicht austauschbar im Silikatgitter integriert ist.

Als Eintragspfade natürlich wie anthropogen bedingter Stickoxide und von Ammoniak sind Niederschlag und atmosphärische Deposition zu nennen. Die bedeutsamste flächenhafte Eintragsquelle in das Grundwasser sind Düngemittel. Unter anoxischen Bedingungen kann das mit dem Sickerwasser eingetragene Nitrat bei Vorhandensein von organischen Kohlenstoffverbindungen oder Schwefel-Eisen-Verbindungen zu Ammonium reduziert werden. Ammonium ist auch ein Zersetzungsprodukt von Harnstoff. Daher geben erhöhte Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen Hinweise auf kommunale Abwässer oder Gülle. Im Gegensatz zu Nitrat bindet sich Ammonium an die Bodenmatrix. Auf diese Weise wird zwar einerseits die Anreicherung limitiert. Andererseits kann es auch wieder zu Austauschprozessen kommen.

Da Nitrat im Grundwasser hauptsächlich anthropogen verursacht ist, wurden für diesen Parameter keine Hintergrundwerte abgeleitet, das korrespondiert auch mit dem Vorgehen in den bisherigen Projekten in Deutschland (z. B. Kunkel et al 2004, Wagner et al. 2014). Die deutliche anthropogene Überprägung erschwert die Identifikation der vernachlässigbar geringen geogenen Komponente. Deshalb gilt der einheitliche Schwellenwert von 50 mg/l für alle Grundwasserkörper.

Die Hintergrundwerte für den Parameter Ammonium, sowie Nitrit sind in Abbildung 6-8 dargestellt. Auffällig unter dem Aspekt eines Hintergrundgehaltes von mehr als 0,25 mg/l sind bei dem Parameter Ammonium folgende Bezugseinheiten: „Flussauen und Niederungen (GR1 Nord+Süd)“ (BZE 1), „Flussauen mit Auenlehmdecke“ (BZE 2), „Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)“ (BZE 6) und die „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ (BZE 15). Dass Ammoniumkonzentrationen unter anoxischen Bedingungen erhöht vorliegen können, wird bei der Gegenüberstellung der Hintergrundwerte von bedeckten und unbedeckten Grundwasserleitern deutlich. Insbesondere die Niederungen sind durch diesen Konzentrationskontrast charakterisiert.



Abbildung 6-8 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Ammonium [mg/l] und Nitrit [mg/l] als Balkendiagramm.

Die roten horizontalen Linien kennzeichnen die Höhe der Schwellenwerte laut GrwV (2017). Die Schwellenwerte liegen in beiden Fällen bei 0,5 mg/l.

Die sehr hohen und Schwellenwert überschreitenden Hintergrundkonzentrationen in den Einheiten „Flussauen mit Auenlehmdecke (GR1 Nord+Süd)“ (BZE 2) und „Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)“ (BZE 6) decken sich mit den Auswertungen von Jahnke (2015): Für die (quartären und tertiären) Lockergesteine in Sachsen-Anhalt legte dieser eine geogen-ubiquitäre Normalkonzentration von 0,68 mg/l fest. In HYDOR (2008) wurden für diese Einheiten obere Spannweiten zwischen 0,9 (BZE 2) und 1,4 (BZE 6) ermittelt.

Jahnke (2015) leitete jedoch auch für die altpaläozoischen und mesozoischen Festgesteine Hintergrundwerte in der Größenordnung von 0,7 mg/l ab.

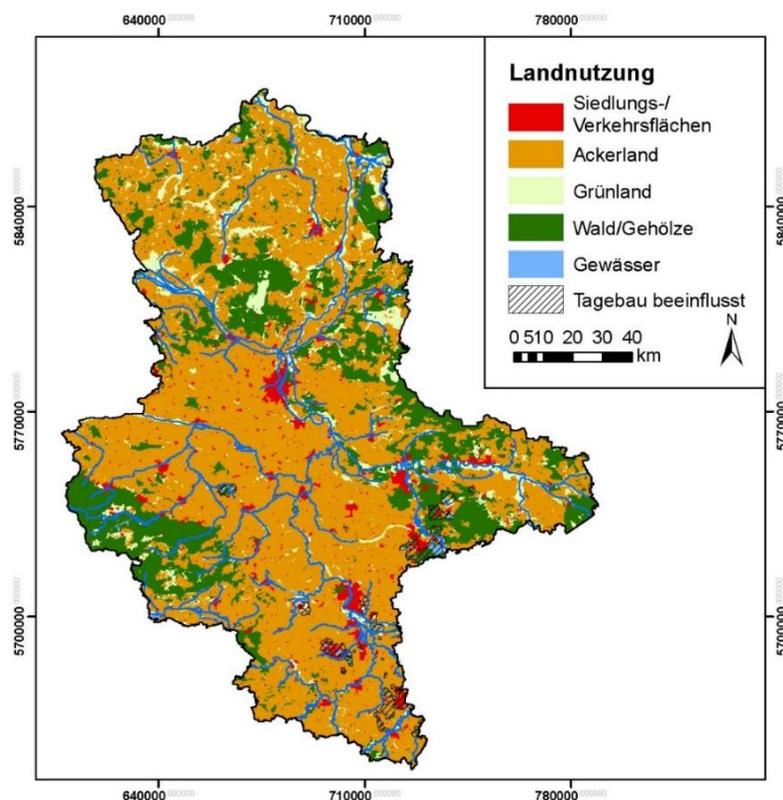


Abbildung 6-9 Landnutzung in Sachsen-Anhalt nach Corine (2012)

Hingegen sind die in diesem Projekt ermittelten Hintergrundwerte der Festgesteine bis auf die Bezugseinheit „Keuper, Jura, Kreide“ (BZE 9) relativ niedrig (<0,25 mg/l). Dies entspricht sowohl den Konzentrationstendenzen zwischen Locker- und Festgestein, die durch HYDOR (2008), als auch Wagner et al. (2014) belegt sind. Es ist gleichfalls deutlich, dass die Hintergrundwerte in den quartären Einheiten im Lockergesteinsbereich höher als die Werte der vergleichbaren Einheiten im Festgesteinsbereich sind. Grundsätzlich wird in diesen Gebieten der anthropogen bedingte Eintrag von Ammonium und Nitrat in das Grundwasser relativ ähnlich sein. Die kartographische Übersicht zu der Landnutzung Sachsen-Anhalts zeigt, dass die landwirtschaftlichen Nutzflächen großflächig über

das gesamte Landesgebiet verteilt sind (s. Abbildung 6-9). Die niedrigen Hintergrundgehalte in den Festgesteinen können jedoch mit dem Sauerstoffreichtum der hier vorkommenden Wässer erklärt werden.

Auf der anderen Seite sollte bei dieser Betrachtung auch berücksichtigt werden, dass organische Substanzen, deren Abbauprodukt Ammonium sein kann, auf natürliche Weise in verschiedenen geologischen Schichten angereichert worden. Somit liegt für das braunkohleführende Tertiär ein Hintergrundwert von bis zu 0,52 mg/l vor. In HYDOR (2008) wurde sogar ein 90. Perzentil von 1,4 mg/l für die Einheit Tertiär abgeleitet und bundesweit wurde für die tertiären Einheiten ein Hintergrundwert bis zu 2,57 festgelegt. Der natürlich bedingte Nährstoffreichtum der Flussauen ist auch ein Erklärungsansatz für die hohen Ammoniumgehalte. Insbesondere Auenlehme sind durch die Anreicherung von schwach humosem Material charakterisiert. Die an fast 1 mg/l heranreichende Hintergrundkonzentration von Ammonium in der BZE 15 kann einerseits in den Tagebaugebieten auf das Vorhandensein der Braunkohle zurückgeführt werden. Andererseits liegen in diesen Gebieten auch oft Schwefel-Eisen-Verbindungen vor, so dass Nitrat unter reduzierenden Bedingungen zu Ammonium umgewandelt werden kann.

Nitrit tritt vorübergehend als Zwischenprodukt des Denitrifikationsprozesses auf und liegt daher in der Regel nur in sehr geringen Konzentrationen vor. Entsprechend liegen alle Hintergrundwerte des Parameters Nitrit unterhalb 0,1 mg/l. Die Größenordnung der abgeleiteten Werte ist mit den bisherigen Hintergrundwerten von 2008 identisch. Für die hydrogeochemischen Einheiten liegen keine Hintergrundwerte

für den Parameter Nitrit vor. Laut Jahnke (2016) liegt der geogene Hintergrund bei 0.25 mg/l. Jedoch wird außerdem bemerkt, dass schon Analysen ab 0.1 mg/l als anthropogen bedingt einzustufen sind.

### 6.3.4. Ortho-Phosphat

Ortho-Phosphat ist wegen seiner großen biologischen Bedeutung vorrangig an das Vorkommen von Organismen geknüpft. In Gesteinen besitzen vor allem Magmatite und Tongesteine im Vergleich zu Sandstein und Karbonaten einen hohen Phosphor-Anteil (als Apatit). Dieser wird durch Verwitterungsprozesse als Ortho-Phosphat freigesetzt. Im Grundwasser sind natürlich vorkommende gelöste Phosphorverbindungen normalerweise niedrig. Das als mobil geltende Ortho-Phosphat wird in der Regel von der Bodenmatrix in der ungesättigten oder auch gesättigten Zone adsorbiert. Dennoch kann Grundwasser durch Phosphate kontaminiert sein: Abwässer im Siedlungsbereich und in der Landwirtschaft eingesetzte Düngemittel sind ursächlich für erhöhte Konzentrationen. Durch eine Studie an dem als eutroph eingestuften Arendsee im Norden Sachsen-Anhalts konnte gar das Grundwasser als Hauptquelle für mehr als 50 % der Phosphor-Last im See identifiziert werden (Meinikmann et al., 2015). Vor allem in reduzierten Grundwässern der Niederungen werden Konzentrationen über dem Schwellenwert erreicht.

Die Abbildung 6-10 stellt die Hintergrundwerte des Parameters Ortho-Phosphat für alle Einheiten dar. Das Tertiär weist im Lockergesteinsbereich sehr hohe Ortho-Phosphat-Hintergrundwerte auf. Hier wird der Schwellenwert von 0,5 mg/l überschritten. Diese hohen Hintergrundkonzentrationen sind eng an die stark reduzierenden Verhältnisse gekoppelt (vgl. Abbildung 6-19). Denn nur unter aeroben Verhältnisse kann Ortho-Phosphat mit Eisen, Calcium und Aluminium schlecht lösliche Komplexe bilden. Analog dazu sind die Hintergrundwerte von Ortho-Phosphat im Lockergestein zumeist etwas höher als im Festgesteinsbereich, in denen öfters aerobe Verhältnisse in klüftigen Gesteinen auftreten.

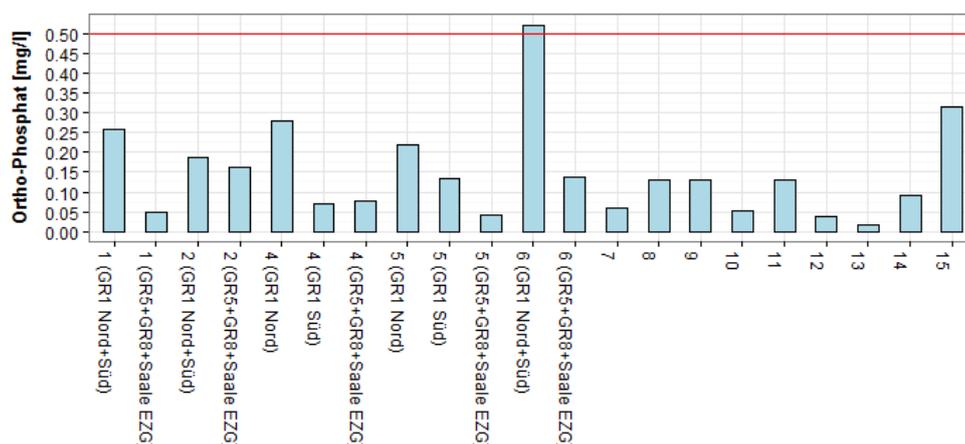


Abbildung 6-10 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Ortho-Phosphat [mg/l] (die rote horizontale Linie kennzeichnet die Höhe des Schwellenwertes laut GrwV (2017) von 0,5 mg/l)

Laut Jahnke (2016) beträgt die geogene Hintergrundkonzentration in Sachsen-Anhalt 0,35 mg/l an Ortho-Phosphat-Phosphor (entsprechend ca. 1 mg/l Ortho-Phosphat). Der Hintergrundwert wird in diesem Fall über das 99.-Perzentil definiert und wurde zwar einheitsunabhängig ausgewertet. Aber es wurden nur als anthropogen unbeeinflusst eingeordnete Standorte in die Ermittlung der Hintergrundkonzentration eingebunden. Die bisherigen Hintergrundwerte liegen vor allem in den känozoischen Einheiten un-

ter den neu ermittelten Hintergrundwerten. Hingegen übersteigen die bundesweit ausgewiesenen Hintergrundwerte vor allem in den Niederungsbereichen die hier abgeleiteten Hintergrundwerte um mehr als 0,25 mg/l. Dies wird auch gut durch die Abbildung 6-2 widerspiegelt.

### 6.3.5. Eisen

Eisen ist das vierthäufigste Element in der Erdkruste und kommt in fast allen Böden, Gesteinen und den meisten Grundwässern vor. Insbesondere Magmatite und Tongesteine sind durch einen hohen Eisengehalt gekennzeichnet. Durch Verwitterungsprozesse entstehen in Abhängigkeit von den hydrochemischen Bedingungen Eisensulfide (z.B. Pyrit), Eisenoxide (z.B. Hämatit) und Eisenhydroxide. In sauerstoffreichen Grundwässern liegt Eisen meist als ausgefälltes Fe(III)-Hydroxid vor. Im Vergleich zum Eisen in dreiwertiger Form (Fe(III)) ist das zweiwertige Eisen (Fe(II)) relativ gut wasserlöslich. Daher entspricht das im Grundwasser gelöste Eisen in der Regel dem gut nachweisbaren zweiwertigen Eisen. Das geochemische Verhalten des Eisens wird durch die Redox- und pH-Bedingungen, den Gehalt an organischen Substanzen, sowie mikrobielle Aktivitäten bestimmt. Häufig deuten hohe Eisenkonzentrationen auf reduzierende Verhältnisse im Grundwasser. Großflächige anthropogene Einträge mit dem Sickerwasser sind nicht relevant, da das in Lösung befindliche Eisen im oxischen Milieu des Sickerwassers ausgefällt wird. Nur in sehr sauren Grundwässern, wie sie typisch sind für stark versauerte Waldböden oder in Halden- und Grubenwässern des Kohle- und Erzbergbaus, wird das dreiwertige Eisen mobilisiert, das trifft in Sachsen-Anhalt auf die Umgebung der Tagebaubereiche zu. Die ermittelten Hintergrundkonzentrationen für Eisen zeigt Abbildung 6-11:

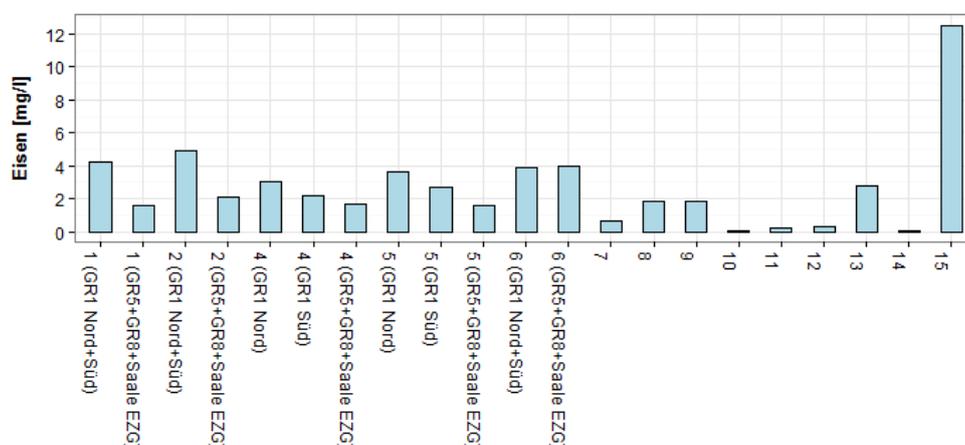


Abbildung 6-11 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Eisen [mg/l] als Balkendiagramm.

### 6.3.6. Arsen

Arsen ist ein Spurenstoff, der nur in bestimmten Mineralgesellschaften (z.B. Antimon/Quecksilber/Arsen/Selen-Formation) vorkommt. Im Grundwasser sind erhöhte Arsengehalte eher mit sedimentären Eisenerzlagerstätten, Schiefen und Tonen, Sulfidmineralen oder auch kohligen Substanzen liiert. Hydrogeochemisch bedeutend sind vor allem die dreiwertigen Arsenverbindungen ( $\text{HAsO}_2 \text{aq}$ ), da sie relativ gut löslich sind und auch unter reduzierenden Verhältnissen beständig sind. Hingegen liegen im oxidierenden Milieu (pH 6.5-7.5) fünfwertige Arsenverbindungen ( $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$  und  $\text{HAsO}_4^{2-}$ ) vor. Nach Schleyer & Kerndorff (1992) wurden höchste geogene Konzentrationen für Festgesteine im Bereich um 3,8  $\mu\text{g/l}$  im

Buntsandstein und niedrigste Gehalte in den karbonatischen Aquiferen festgestellt ( $< 0,5 \mu\text{g/l}$ ). Anthropogene Arseneinträge sind auf Deponien und Abraumhalden einerseits und auf landwirtschaftlich genutzte Pflanzenschutzmittel und Krankenhausabwässern andererseits zurückzuführen.

Die ermittelten Hintergrundkonzentrationen für den Parameter Arsen sind der Abbildung 6-12 zu entnehmen. Nur für die Einheiten „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckte GWL (GR 1 Nord)“ (BZE 4), „Buntsandstein“ (BZE 8) und „Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)“ (BZE 15) war eine Bestimmung mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes möglich. Die anderen Hintergrundwerte wurden durch das rangstatistische Verfahren abgeleitet. Da aufgrund der mangelhaften Datenbasis bei diesem Verfahren auf die Analysen zurückgegriffen werden musste, verzerren teils einzelne Messstellen bei vergleichsweise hoher Anzahl von Analysewerten die Repräsentativität der Ergebnisse. So wird für die Einheit „Flussauen und Niederungen (GR5+GR8+Saale EZG)“ (BZE 1) beispielsweise ein Hintergrundwert von  $6 \mu\text{g/l}$  ausgewiesen. Ausschlaggebend dafür sind vor allem die Analysen der Wasserwerksbrunnen in Flechtingen (LIMS: 440104). Anthropogene Einflüsse sind bei dieser Messstelle nicht erkennbar. Diese Messstelle weist eine mittlere Konzentration von  $6.5 \mu\text{g/l}$  auf. Ähnlich verhält es sich in der Einheit „Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)“ (BZE 6). Hier liegen fast alle Analysen unter  $1 \mu\text{g/l}$  bis auf die Analysen der Messstelle „Göbitz 102/00“ (LIMS: 340360) mit mittleren Gehalten von  $4,7 \mu\text{g/l}$ . Das Schichtenverzeichnis dieser Messstelle zeigt, dass der Grundwasserleiter durch angrenzende braunkohleführende Schichten charakterisiert wird. Entsprechend sind die gemessenen Konzentrationen geogen bedingt. Diese Konzentrationshöhen sind vergleichbar mit den Werten nach HYDOR (2008) und Wagner et al. (2014).

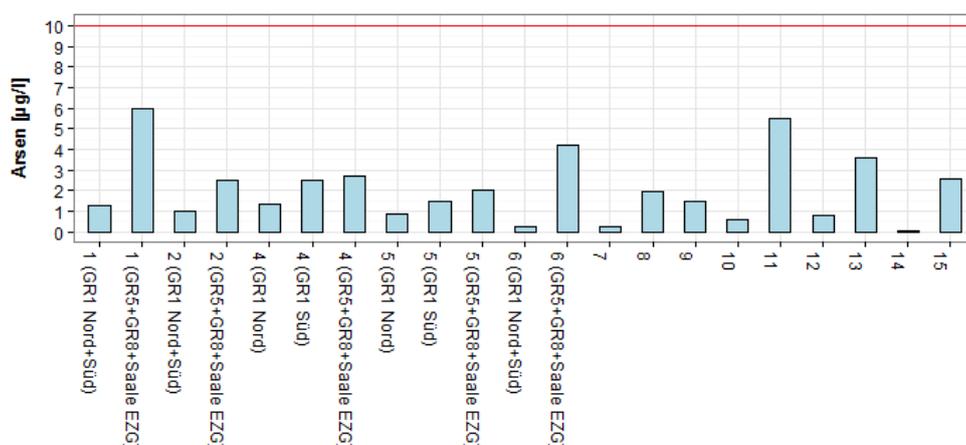


Abbildung 6-12 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Arsen [ $\mu\text{g/l}$ ]

(die rote horizontale Linie kennzeichnet die Höhe des Schwellenwertes laut GrwV (2017) von  $10 \mu\text{g/l}$ )

Generell sind die Arsengehalte in den Lockergesteinsbereichen als niedrig einzustufen. Besonders gering ist auch der Hintergrundgehalt der Bezugseinheit „Muschelkalk“ (BZE 7). Das Ergebnis deckt sich mit HYDOR (2008) und Schleyer & Kerndorff (1992). In diesen Schichten fehlen primär die geogenen Quellen. Aufgrund ihrer geologischen Eigenheiten (Tone, Schiefer bzw. Eisenerz) können auf der anderen Seite die Hintergrundwerte für die Einheiten „Permokarbon“ (BZE 11) und „Saure Magmatite“ (BZE 13) als ursächlich geogen eingestuft werden. Gegenüber Wagner et al. (2014) liegen die neuen Hintergrundwerte zumeist mehr als  $0.5 \mu\text{g/l}$  darunter. Besonders betroffen sind davon Lockergesteine (vgl. Abbildung 6-3).

### 6.3.7. Blei

Naturgemäß sind die Blei-Konzentrationen in den meisten Grundwässern relativ gering. Ausgenommen hiervon sind Wässer in Bereichen von Erzlagerstätten, da geogenes Blei in der Regel an Vererzungen (Bleiglanz, Cerussit, Anglesit, u.a.) gebunden ist. Dabei handelt es sich vor allem um schwefelhaltige Minerale. Außerdem gelten Bleiverbindungen als gering wasserlöslich. Die Mobilisierung von Blei erfolgt bei niedrigen pH-Werten. Im neutralen bis basischen Milieu wird Blei durch Huminstoffe und Tonminerale fixiert. Im Grundwasser können die Bleigehalte anthropogen bedingt beispielsweise durch Depositionen, die bleihaltige Industrieabfälle beinhalten, erhöht sein. Auch die Umgebung von Blei- und Buntmetallhütten zeigen auffällig hohe Blei-Werte. Zudem stellten in der Vergangenheit auch verbleite Kraftstoffe eine Kontaminationsquelle dar.

Die in der Abbildung 6-13 dargestellten Hintergrundkonzentrationen für Blei in den jeweiligen Einheiten sind das Ergebnis der Auswertungen mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes und der Rangstatistik. Alle angegebenen Werte liegen bis auf die Hintergrundwerte in den Einheiten „Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR1 Süd)“ (BZE 5), „Zechstein“ (BZE 10) und „Saure Magmatite“ (BZE 13) unterhalb des Geringfügigkeitsschwellenwertes von 1,2 µg/l. Der Hintergrundwert der BZE 13 von 6 µg/l ist darauf zurückzuführen, dass Blei als Begleitmineral in diesen Gebieten auftritt. Das gilt sowohl für den Flechtinger Höhenzug, als auch den Harz.

Dennoch liegt dieser Wert weit über den bisher für diese Einheit abgeleiteten Hintergrundwerte (vgl. HYDOR, 2008; Schleyer & Kerndorff, 1992; Wagner et al., 2014). Bleigehalte über 10 µg/l wurden bei den bisherigen landeseigenen Werten den Einheiten „Keuper, Jura, Kreide“ (BZE 9) und „Zechstein“ (BZE 10) zugeordnet. Für die Hintergrundwerte in den Hydrogeochemischen Einheiten wurden im Festgesteinsbereich zwar Werte bis zu 13,6 µg/l ermittelt. Dies beschränkt sich aber auf quartäre und tertiäre Schichten. Größtenteils liegen die nach Wagner et al. (2014) ermittelten Hintergrundwerte jedoch nahe bei den hier bestimmten Hintergrundwerten.

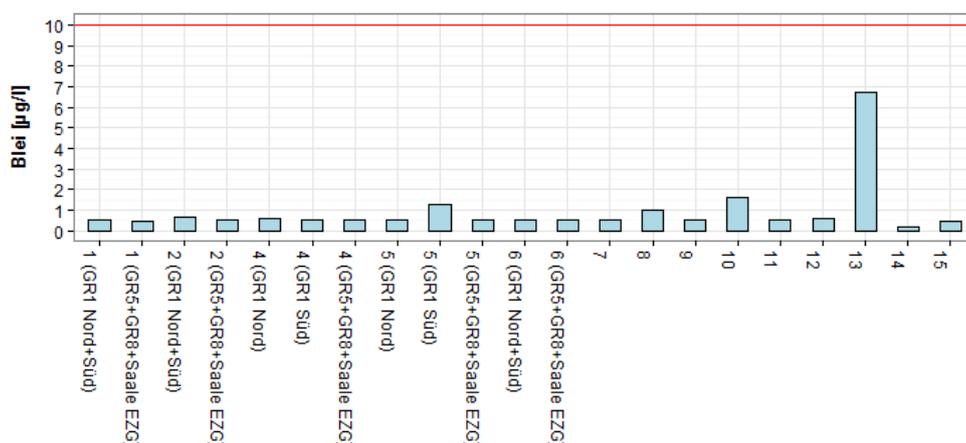


Abbildung 6-13 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Blei [µg/l]

(die rote horizontale Linie kennzeichnet die Höhe des Schwellenwertes laut GrwV (2017) von 10 µg/l.)

### 6.3.8. Cadmium

Das seltene Element Cadmium kommt in den cadmiumhaltigen Erzen Greenockit und Otavit vor. Diese sind fast immer mit den entsprechenden Zinkerzen verschwistert. Die Konzentrationen im Grundwasser sind generell relativ gering. Geochemisch gilt Cadmium als sehr beweglich und kann deshalb bei punktuell anthropogenem Eintrag erhebliche Probleme verursachen. Neben Deponien und Altstandorten sind auch die metallverarbeitende Industrie, sowie Farbindustrie als anthropogene Cadmiumquelle zu nennen. Die für Cadmium abgeleiteten Hintergrundwerte sind als Balkendiagramme in Abbildung 6-14 dargestellt.

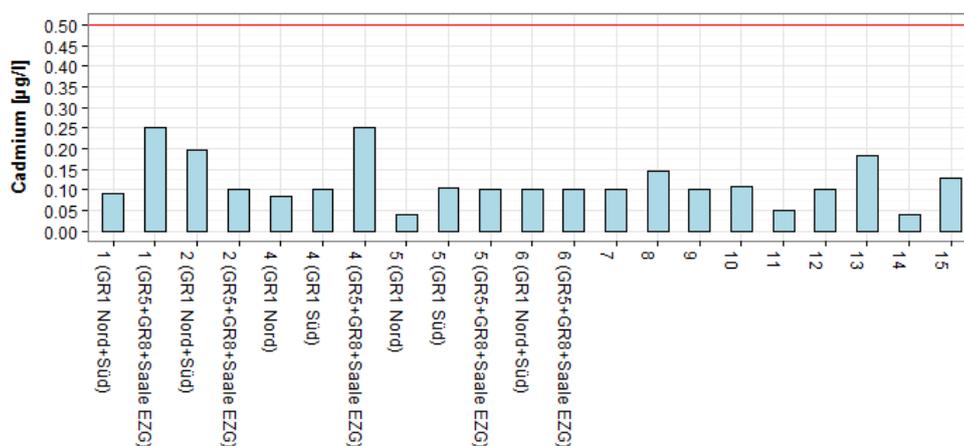


Abbildung 6-14 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Cadmium [µg/l]

(die rote horizontale Linie kennzeichnet die Höhe des Schwellenwertes laut GrwV (2017) von 0,5 µg/l)

In den überwiegenden Fällen wurden die Hintergrundwerte rangstatistisch ermittelt und bilden teils sogar Bestimmungsgrenzen ab (Werte bei 0,1-0,25 µg/l).

### 6.3.9. Quecksilber

Das Schwermetall Quecksilber ist nur in Spuren im Grundwasser enthalten. Das ist einerseits dem seltenen Vorkommen in den Gesteinen und andererseits der geringen hydrogeochemischen Mobilität geschuldet. Letzte ist auf die Inertheit und sehr geringe Löslichkeit des Quecksilbersulfids zurückzuführen. Organische Verbindungen hingegen sind in der Umwelt sehr mobil.

Bedeutend für Quecksilberemissionen ist die Verbrennung fossiler Energieträger. Weitere anthropogene Quellen sind beispielsweise kommunale Abwasseranlagen, die Verwendung in Saatbeizmitteln und Deponien. Generell wird Quecksilber und seine Verbindungen für alle Lebewesen als toxisch bewertet.

Die HGW liegen sowohl unterhalb des Schwellen-, wie auch der GFS-Werte (vgl. Abbildung 6-15). Aufgrund der vielen Werte unterhalb der Bestimmungsgrenzen konnten nur Hintergrundwerte der Bezugseinheiten „Pleistozäne Hochflächen, unbedeckte GWL (GR1 Nord)“ und „Pleistozäne Hochflächen, bedeckte GWL (GR1 Nord)“ mithilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes bestimmt werden. Diese Einheiten fallen auch mit Werten kleiner 0,1 µg/l auf. Für die anderen Einheiten wurde das rangstatistische Verfahren eingesetzt und stellenweise wurde der Hintergrundwert über die Bildung des arithmetischen Mittels berechnet. Beim Einsatz der Rangstatistik fiel das 90. Perzentil ausschließlich auf Werte unterhalb der

Bestimmungsgrenze. Die angegebenen Werte decken sich mit den 2008 abgeleiteten Hintergrundwerten – in diesem Fall ist das eingesetzte Verfahren auch sehr ähnlich. Da für die Hintergrundwerte, die zu den hydrogeochemischen Einheiten ausgewiesen worden sind, nur für wenige Einheiten Hintergrundwerte abgeleitet werden konnten, ist der Vergleich nur an wenigen Stellen möglich. Zunächst zeigt die Karte der Abbildung 6-4 für welche Gebiete Vergleichsdaten zur Verfügung stehen.

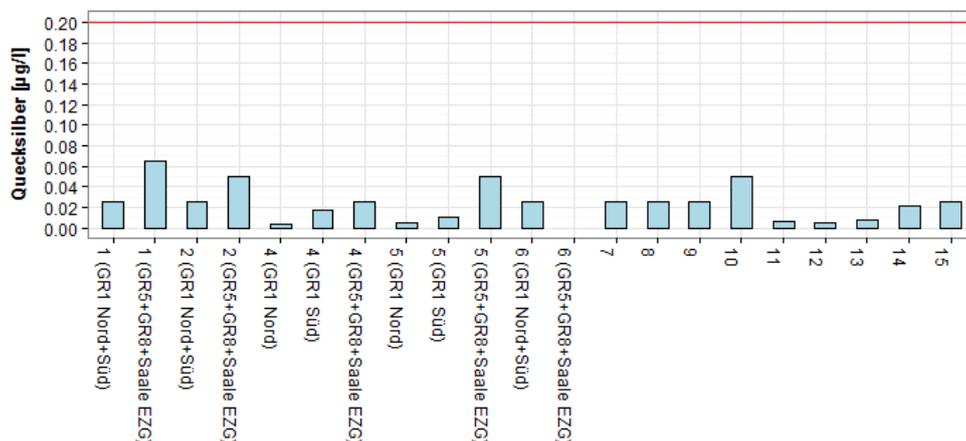


Abbildung 6-15 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Quecksilber [µg/l]

(die rote horizontale Linie kennzeichnet die Höhe des Schwellenwertes laut GrwV (2017) von 0.2 µg/.

Es ist deutlich, dass Hintergrundwerte nur kleinräumig vorliegen. In den meisten Fällen liegen die landeseigenen Hintergrundwerte für Quecksilber unter den Werten, die auf Bundesebene ermittelt worden sind. Der nationale Basiswert für Quecksilber ist von der LAWA & BLA-GEO (2015) mit 0,09 µg/l angegeben. Zu beachten bei allen angegebenen Hintergrundwerten ist, dass plausible Bestimmungsgrenzen in dem Bereich zwischen 0,001 und 1 µg/l zu erwarten sind. Demnach ist es sehr wahrscheinlich, dass alle ermittelten Hintergrundwerte von Werten unterhalb der Bestimmungsgrenzen direkt (Rangstatistik) oder indirekt (Wahrscheinlichkeitsnetz) erheblich beeinflusst werden. An dieser Stelle wäre eine Verbesserung analytischer Methoden wünschenswert um genaue Aussagen zu dem geogenen Hintergrund treffen zu können.

### 6.3.10. Weitere anorganische Spurenelemente

Kobalt tritt oft gemeinsam mit Nickel im Grundwasser auf. Diese Elemente sind in Magmatiten und insbesondere in ultrabasischen Gesteinen relativ häufig. Erhöhte Konzentrationen im Grundwasser können auf die Oxidation von Sulfiden in schwermetallführenden quartären bzw. tertiären Sanden zurückgeführt werden. Die Kobaltkonzentrationen können unter diesen Bedingungen 200 µg Co/l, die Nickelkonzentrationen 1000 µg Ni/l erreichen. Aufgrund der hohen Sorptionsfähigkeit sind jedoch Kobalt- und Nickelkonzentrationen unter 5 µg/l als typisch für den Grundwasserbereich anzusehen (Kunkel et al. 2004). LAWA (2015) definiert als nationalen Basiswert im Grundwasser für Kobalt 2 µg/l, der gleiche Wert ist auch als Geringfügigkeitsschwellenwert (2017) festgehalten, lag allerdings in der Vorgängerversion (GFS 2004) noch bei 8 µg/l.

Abbildung 6-16 zeigt die Hintergrundwerte für Kobalt in den Bezugseinheiten. Mit Ausnahme von drei Einheiten liegen alle Werte unter 2 µg/l, in den Festgesteinseinheiten zum Teil deutlich darunter. Bei allen drei Ausnahmen handelt es sich um Einheiten mit nicht ausreichend Messstellen zur Anwendung des

ProbNet, so dass die hier ausgewiesenen Hintergrundwerte einer zukünftigen Plausibilisierung unterzogen werden sollten. In der BZE 4 im Festgesteinsbereich ist der auffallend hohe Wert singulär durch eine Messstelle beeinflusst, zu der jedoch keine Punktquelle bekannt ist. Der Wert sollte daher einer Prüfung unterzogen werden.

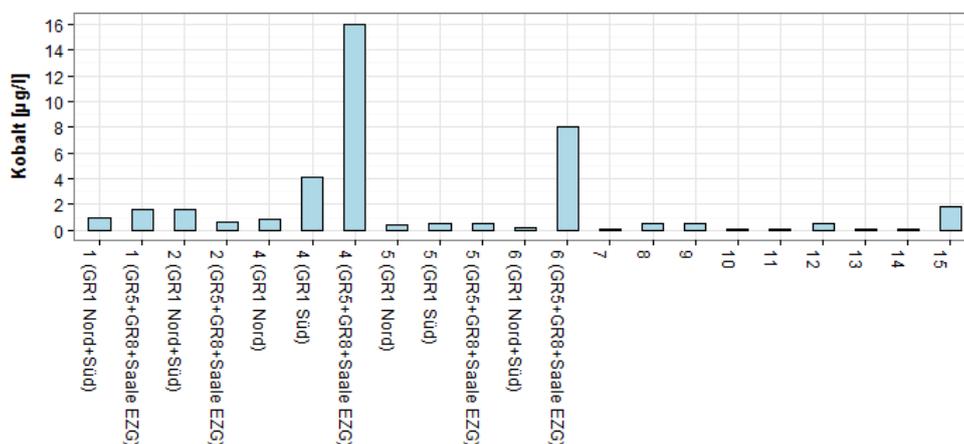


Abbildung 6-16 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Kobalt [µg/l] als Balkendiagramm.

Kupfersulfide, -oxide und -hydroxykarbonate sind in der Erdkruste relativ weit verbreitet. Nach Mattheß (1990) liegt der Kupfergehalt in natürlichen Grundwässern im Allgemeinen unter 10 µg Cu/l. Erhöhte Konzentrationen von mehr als 3000 µg Cu/l werden in sauren Grubenwässern des Harzes, des Mansfelder Kupferschiefergebirges und des Erzgebirges beobachtet (Kunkel et al., 2004). LAWA & BLA-GEO (2015) definiert als nationalen Basiswert im Grundwasser für Kupfer 5,4 µg/l, der gleiche Wert ist auch als GFS (2017) festgehalten

Abbildung 6-17 dokumentiert die Hintergrundwerte für Kupfer in den Bezugseinheiten. Mit Ausnahme von einer Einheit liegen alle Werte unter 5 µg/l, in den Lockergesteinseinheiten teilweise deutlich darunter. Bei der Ausnahme handelt es sich um die BZE „Zechstein“, für die Auswertung standen ausreichend Messstellen zur Anwendung des Probnets zur Verfügung. Die hier deutlich höheren Gehalte können geogen durch den Kupferschiefer des Zechsteins erklärt werden, sind also plausibel.

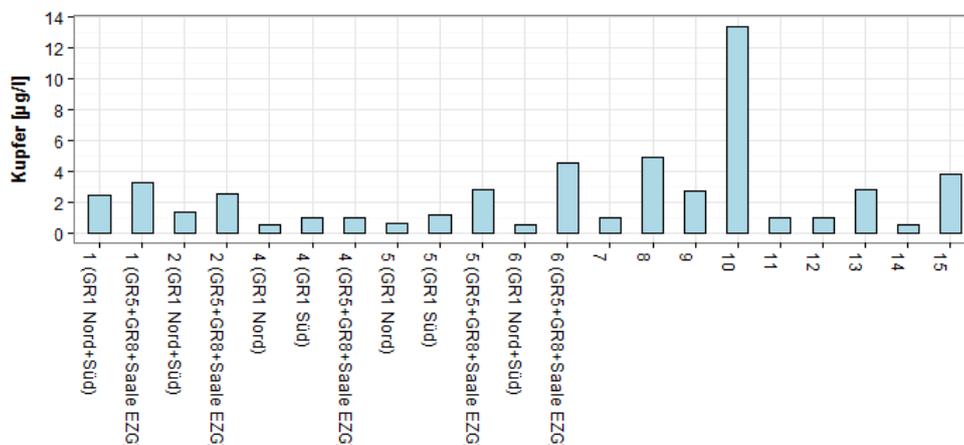


Abbildung 6-17 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des Parameters Kupfer [µg/l] als Balkendiagramm.

### 6.3.11. Physiko-chemische Parameter

Physiko-chemische Milieuparameter – also der pH-Wert, die Sauerstoffkonzentration, die Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit und das Redoxpotential werden bereits bei der Probenentnahme des Grundwassers vor Ort bestimmt und geben bereits dort wichtige Hinweise zur Beschaffenheit der Probe. Zudem werden sie als Plausibilitätskriterien für die Entscheidung zum Zeitpunkt der Probenahme aufgrund der Repräsentativität des entnommenen Grundwassers für das liefernde Gestein verwendet („hydrochemisches Kriterium“).

Der pH-Wert kennzeichnet das Puffervermögen eines Aquifers. Für den pH-Wert bestimmend ist das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. In der Regel ist der pH-Wert von gut gepufferten karbonathaltigen Grundwasserleitern höher als der pH-Wert von Wässern aus karbonatarmen Gesteinen (z. B. Sandstein, Granit). Gerade die Grundwässer in karbonatarmen Gesteinen sind anfällig für eine Grundwasserversauerung. Auch die dort meist vorherrschenden Böden mit geringer Pufferwirkung (z.B. kalkarme Sandböden) neigen zur Versauerung durch den Eintrag von Schwefelverbindungen und Stickoxiden aus der Luft bzw. dem Niederschlag (Kunkel et al. 2004).

Nationale Basis- und GFS-Werte sind für den pH-Wert nicht ausgewiesen. Da sich anthropogene Einflüsse im Grundwasser beim pH-Wert sowohl auf eine Erniedrigung (erhöhter Gehalt an Wasserstoffionen, z. B. Versauerung) als auch eine Erhöhung auswirken können, wurde zur Charakterisierung des natürlichen Hintergrundes – in Abweichung vom Vorgehen bei den übrigen Stoffen – nicht nur das 90-Perzentil der Normalpopulation als der obere Wert, sondern zusätzlich auch das 10-Perzentil als der untere Wert ausgewiesen. Vor allem letzterer bestimmt für die häufigste Art der Beeinflussung (Versauerung) die Grenze zwischen natürlichen und anthropogen beeinflussten Grundwässern. Abbildung 6-18 dokumentiert dazu die sich ergebenden Spannweiten bei den BZE:

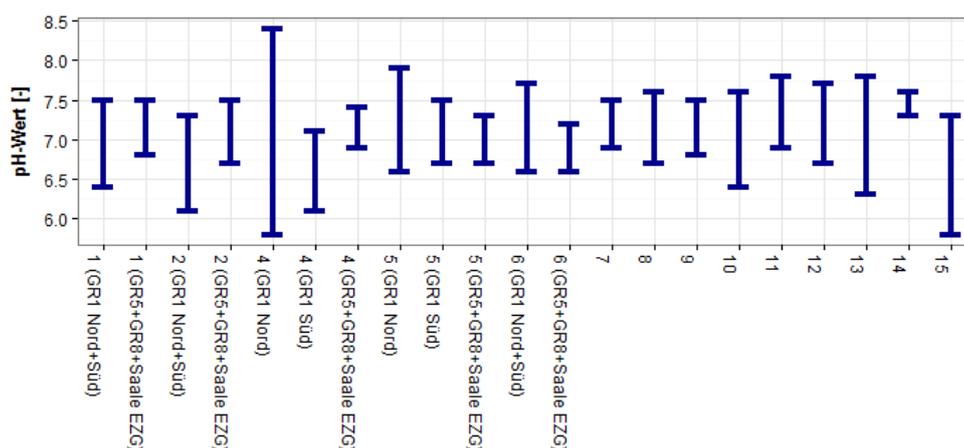


Abbildung 6-18 Einheitsbezogene Spannweiten des 10. und 90. Perzentils des Parameters pH-Wert [-].

Auffällig ist vor allem die große Spannweite und die untere Grenze (< pH 6) bei der Einheit 4, also den unbedeckten Grundwasserleitern im quartären Nordraum. Diese bestehen zumeist aus primär silikatischen Korngerüsten (Quarzsanden) und sind dem atmosphärischen Stoffeintrag aufgrund des Fehlens von bindigen (lehmigen) Deckschichten besonders ausgesetzt. Dies unterscheidet sie z. B. von den Einheiten in den Niederungen (1 und 2) sowie mit Geschiebemergelüberdeckung (5). Im Festgesteinsbereich reichen die unteren Grenzen – mit Ausnahme der basischen Magmatite (14) – zumeist bis unter

den neutralen Bereich (pH 7). Besonders beeinflusst ist aufgrund der starken anthropogen bedingten Stoffeinträge die BZE 15 in der Umgebung der Tagebaubereiche.

Sauerstoff (s. Abbildung 6-19) wird über das Sickerwasser in das Grundwasser eingebracht, die Redoxpotentiale (s. Abbildung 6-20) dokumentieren das Verhältnis der oxidierten zu den reduzierten Stoffen im Grundwasser. Die ermittelten Werte korrespondieren mit den lithologischen Eigenschaften der Gesteine, in Festgesteinen liegen die Werte zumeist höher als im Lockergestein, vor allem beim Vorhandensein von Klüften mit besonders oxidierten Milieubedingungen (BZE 10 bis 14). BZE 15 zeigt dagegen anomal niedrige Werte, die auf die ausgeprägte anthropogene Beeinflussung hier hindeuten.

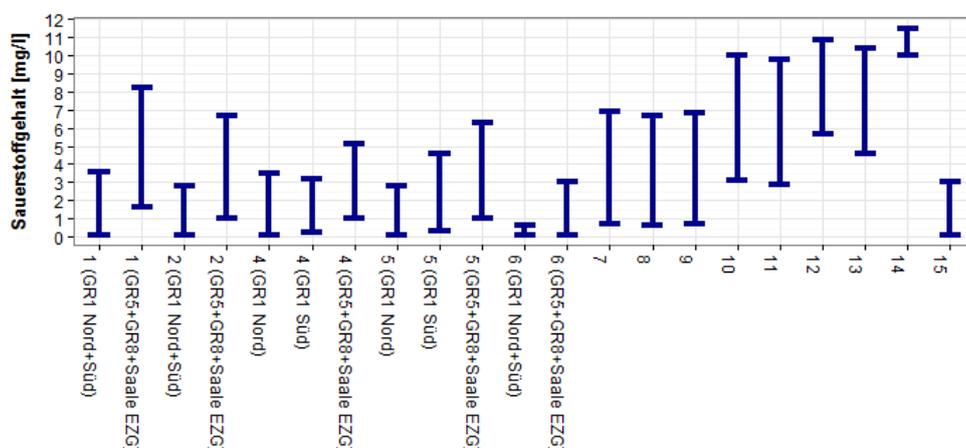


Abbildung 6-19 Einheitsbezogene Spannweiten des 10. und 90. Perzents des Parameters Sauerstoff [mg/l].

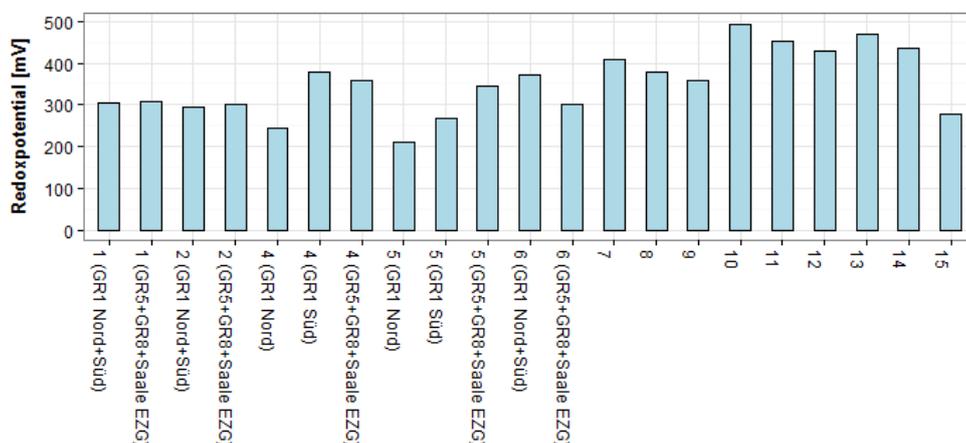


Abbildung 6-20 Einheitsbezogene Hintergrundwerte des (von den gemessenen Redoxspannungen umgerechneten) Redoxpotentials.

## 7. Zusammenfassung

Um die Anforderungen der GWRL zu erfüllen, wurden für die gesamte Landesfläche von Sachsen-Anhalt geogene Hintergrundwerte (HGW) für das Grundwasser ermittelt und zugleich grundwasserkörperbezogene Schwellenwerte (SW) abgeleitet. Flächenhafte Bezugsgrundlage waren die durch das LAGB festgelegten 14 hydrogeologischen Bezugseinheiten (BZE). Diese sind mit den hydrogeochemischen Einheiten (HGC), die seitens der BGR deutschlandweit auf Basis der hydrogeologischen Raumgliederung ausgewiesen wurden, nicht komplett kongruent. Sie unterscheiden sich von diesen z. B. im Lockergesteinsbereich anhand vertikaler Lagerungsbedingungen und betonen im Festgesteinsbereich stärker den lithologischen Charakter der grundwasserführenden Gesteinseinheiten. Zur messstellenscharfen Zuordnung der BZE wurden -soweit vorhanden- geologische Schichtenverzeichnisse und Bohrlochdaten eingesetzt.

Die hydrochemische Datenbasis bildete ein heterogener Datensatz bestehend aus Analysen des Landesmessnetzes, von Ermittlungsuntersuchungen, Sondermessnetzen und Rohwasserdaten, sowie von dem Bergbau, Sand- und Kiesabbau. Nach Präselektion dienten Analysen von ca. 3160 Grundwassermessstellen als Grundlage zur Ableitung der HGW. Begrenzt wurde der Datensatz auf den Zeitraum 2000 bis 2016. Das Parameterspektrum umfasste etwa 50 Parameter. Dazu zählten alle Haupt- und Nebeninhaltsstoffe des Grundwassers, sowie viele anorganische Spurenelemente.

Methodisch wurden zur Identifizierung der geogenen Normalpopulationen und zur Ermittlung der statistischen Kenngrößen nach GrWv (2017) Wahrscheinlichkeitsnetze eingesetzt. Dafür wurde eine von den SGD für die Ableitung von HGW programmierte Excel-Anwendung verwendet (vgl. WAGNER et al., 2014). Mit Hilfe dieses sogenannten Probnets können geogene und anthropogene Anomalien einfach identifiziert und selektiert werden. Integriert in die Anwendung ist der Umgang mit Bereichen, in denen die Hintergrundpopulation durch andere Populationen überlagert wird. Zudem ist der Umgang mit Werten unter der Bestimmungsgrenze (BG) geregelt. Diese Werte werden nur indirekt berücksichtigt, indem deren prozentualer Anteil im unteren Bereich der Verteilung extrapoliert wird. Nachdem eine Normalpopulation durch das Abtrennen von oberen und unteren Werten festgelegt wurde, wurden statistische Kenngrößen dieser Populationen berechnet. Das 90-Perzentil wurde nach GrWv (2017) als Hintergrundwert pro BZE definiert. Lagen nicht ausreichend Werte zur Anwendung des Probnets vor, wurden alternative rangstatistische Methoden verwendet, was bei der hydrogeologischen Bewertung zu berücksichtigen ist.

Die Schwellenwerte wurden anschließend für neun der zwölf Parameter (ohne Nitrat, TRI und PER) der GrWv für jeden einzelnen Grundwasserkörper flächengewichtet mit den HGW der BZE darin ermittelt. Bei Überschreitung des gesetzlich festgeschriebenen Wertes wurde selbiger durch den neu bestimmten Wert ersetzt. Dadurch wurde den regional spezifischen hydrogeochemischen Besonderheiten Rechnung getragen. Von Relevanz ist das vor allem bei Sulfat, das in Sachsen-Anhalt aufgrund der spezifischen Lagerungsbedingungen in sehr vielen Bezugseinheiten und Grundwasserkörpern deutlich über 50 mg/l liegt.

Methodisch bedingt liegen die Grenzen des Probnets dort, wo weniger als zehn Werte pro Parameter und BZE über den BG liegen. Hier ist die standardisierte Auswertung nicht möglich, da Mischpopulationen nicht zu identifizieren sind. In jedem Fall kommt der Präselektion der Messstellen bzw. Messwerte eine sehr hohe Bedeutung bei und beeinflusst das Ergebnis eines jeden Verfahrens.

Ein weiterer Aspekt ist die räumliche Auflösung der hydrogeologischen Untergliederung, die zwar eine Differenzierung der Hintergrundwerte, aber auch eine Abnahme der Datenbasis bewirkt, wodurch wiederum die einheitsinterne Streuung zunimmt. Jeder Hintergrundwert ist somit von seiner ausgewerteten Datenbasis abhängig.

## 8. Literaturverzeichnis

- BGR & SGD (2016). Regionale Hydrogeologie von Deutschland: Die Grundwasserleiter: Verbreitung, Gestein, Lagerungsverhältnisse, Schutz und Bedeutung (Vol. 163). Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- D'Agostino, R. B., Belanger, A., & D'Agostino, R. B. jr. (1990). A suggestion for using powerful and informative tests of normality. *The American Statistician*, 44(4), pp. 316–321.  
<https://doi.org/10.2307/2684359>
- DVWK 128/1992 (1992). Regeln zur Wasserwirtschaft: Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben (p. 36). Hamburg, Berlin.
- Franke, D. (2017). Geologie der Subherzynyen Senke, dargestellt ohne känozoische Bildungen. Heruntergeladen von [www.regionalgeologie-ost.de](http://www.regionalgeologie-ost.de)
- Fritz+Fröhlich. (2013). Erweiterung und Aktualisierung der Datenbasis KONTA LSA durch Auswertung und Übernahme der Ergebnisse von neu beprobten Quellen und GÜSA-Messstellen einschließlich Bewertung der regionalen Grundwasserbeschaffenheit zum Stand 2012 - Abschlussbericht zum Projekt.
- Grube, A., Wichmann, K., Hahn, J., & Nachtigall, K. H. (2000). Geogene Grundwasserversalzung in den Porengrundwasserleitern Norddeutschlands und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. *DVGW-Technologiezentrum Wasser*, 9, p. 203.
- GrwV. Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S.1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S.1044) geändert worden ist (2017).
- Hannappel, S. (1996). Die Beschaffenheit des Grundwassers in den hydrogeologischen Strukturen der neuen Bundesländer (Dissertation). Berlin: Freie Universität Berlin.
- Hölting, B., & Coldewey, W. G. (2009). Hydrogeologie - Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie (7. Auflage). Heidelberg: Springer Spektrum. Retrieved from <http://www.springer.com/de/book/9783827423535>
- HYDOR. (2008). Bestimmung von Hintergrundwerten für das Grundwasser Sachsen-Anhalts einschließlich Regionalisierung und Ableitung von Schwellenwerten.
- Jahnke, C. (1999). Ein neues Klassifikationssystem für Grundwässer und seine Anwendung in känozoischen Porengrundwasserleitern. *Grundwasser*, 4(2), 62–72.
- Jahnke, C. (2015). Konzept Nährstoffe, Untersuchung Ammonium-belasteter Grundwasserkörper - Genetische Interpretation erhöhter Ammonium-Konzentrationen zur Überprüfung der Grundwasser-güte und der Analyse anthropogener und geogener Einflüsse (Abschlussbericht No. 2) (pp. 1–159). Cottbus: Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg.
- Jahnke, C. (2016). Bewertung geogen/anthropogen bedingter Sulfat-Gehalte im Grundwasser Sachsen-Anhalts - Abschlussbericht (pp. 1–159). Cottbus: Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg.
- Kunkel, R., Voigt, H.-J., Wendland, F., & Hannappel, S. (2004). Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasser-beschaffenheit in Deutschland. *Schriften des Forschungszentrums Jülich*, (47), pp. 1–222.
- LAGB (2007). Sachsen-Anhalts verdeckte Ströme - Das Grundwasser im Spannungsfeld von Wasserwirtschaft, Industrie und Bergbau in Vergangenheit und Gegenwart (Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen in Sachsen-Anhalt No. 13) (p. 130). Halle.
- LAWA (1993). Grundwasser: Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 3 - Grundwasserbeschaffenheit (p. 59). Essen: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.
- LAWA (2017). Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser (p. 28). Stuttgart: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.

- LAWA, & BLA-GEO. (2015). Hydrogeochemische Hintergrundwerte im Grundwasser und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft (pp. 1–22).
- Lepeltier, C. (1969). A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. *Economic Geology*, 64, pp. 538–550.
- LHW (2012). Bericht zur Beschaffenheit des Grundwassers in Sachsen-Anhalt 2001-2010 (pp. 1–161). Magdeburg: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt.
- Martiklos, G., Beutler, G., & Ehling, B.-C. (2001). Geologische Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt 1:400 000 - Karte ohne känozoische Bedeckungen. Halle (Saale): Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (Hrsg.).
- Mattheß, G. (1990). Die Beschaffenheit des Grundwassers (Band 2, 2. Auflage). Berlin Stuttgart: Gebrüder Borntraeger.
- Meinikmann, K., Hupfer, M., & Lewandowski, J. (2015). Phosphorus in groundwater discharge – A potential source for lake eutrophication. *Journal of Hydrology*, 524, pp. 214–226. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.031>
- Merten, O. (2002). Versauerungserscheinungen in quartären Lockergesteins-Grundwasserleitern unter besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Stoffeinträge (Dissertation). Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Cottbus.
- Mühlenweg, U., Brassler, T., & Hertes, U. (1997). Charakterisierung von mineralisierten Tiefengrundwässern in nichtsalinaren Festgesteinen - Untersuchung von Wechselwirkungen mit Abfällen bei der immissionsneutralen Ablagerung (pp. 1–237). Braunschweig: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH.
- Richtlinie 2000/60/EG. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Richtlinie 2000/60/EG § (2000).
- Ryan, T. A., & Joiner, B. L. (1976). Normal probability plots and tests for normality (Technical Report). Statistics Department, The Pennsylvania State University.
- Schenk, V. (2003). Natürliche Grundwasserbeschaffenheit. Definition und Abgrenzung gegen verwandte Begriffe. *Grundwasser*, 8(2), pp. 122–124.
- Schleyer, R., & Kerndorff, H. (1992). Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen. Weinheim: Verlag VCH.
- Schneider, P., Nilius, U., Gottschalk, N., Süß, A., Schaffrath, M., Löser, R., & Lange, T. (2017). Determination of the Geogenic Metal Background in Surface Water: Benchmarking Methodology for the Rivers of Saxony-Anhalt, Germany. *Water* 2017, 9(2), 75. <https://doi.org/doi:10.3390/w9020075>
- SenStadt (2005). Bewertungskriterien für die Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen in Berlin (Berliner Liste 2005) (No. Bek v.01.07.2005-Stadt IX C-).
- TLUG (1997). Grundwasser in Thüringen - Bericht zu Menge und Beschaffenheit. Erfurt: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt.
- UBA (2000). Entwicklung von Erfassungs- und Auswerteverfahren für Grundwasserzustandsdaten zur Erfüllung internationaler Berichtspflichten des Bundes gegenüber der EU - Bericht der FUGRO Consult GmbH an das Umweltbundesamt. Berlin.
- Wagner, B., Beer, A., Bitzer, F., Brose, D., Brückner, L., Budziak, D., ... Wolter, R. (2014). Erläuterung zum Web Map Service (WMS) "Hintergrundwerte im Grundwasser," pp. 1–24.
- Wagner, B., Töpfner, C., Lischeid, G., Scholz, M., Klinger, R., & Klaas, P. (2003). Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns (GLA Fachbericht No. 21) (p. 250). München: Bayerisches Geologisches Landesamt.
- Walter, T. (2008). Determining natural background values with probability plots. Presented at the EU Groundwater Policy Developments Conference, UNESCO, Paris, France.

## Anlagen

### Anlage 1: Übersicht zu der Aggregierung der Parameter

Parameter	Kommentar	Aggregierter Parameter	Kürzel
<b>Aluminium</b>		<b>Aluminium</b>	Al
Aluminium gel.	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Antimon</b>		<b>Antimon</b>	Sb
Antimon gel.	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Arsen</b>		<b>Arsen</b>	As
Arsen gel.	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Blei</b>		<b>Blei</b>	Pb
Blei gel.	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Cadmium</b>		<b>Cadmium</b>	Cd
Cadmium gel.	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Chrom</b>		<b>Chrom</b>	Cr
Chrom gel.	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Cyanid</b>		<b>Cyanid</b>	CN
Cyanid gesamt			
Cyanide leicht flüchtig			
<b>Eisen</b>		<b>Eisen</b>	Fe
Eisen gel.	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>elektrische Leitfähigkeit</b>		<b>elektr. Leitfähigkeit</b>	LF
elektrische Leitfähigkeit (Labor)	nur komplementierend		
Leitfähigkeit (20°C)	bei T = 20°C Korrekturfaktor 1.116 (Hölting & Colde- wey, 2009), Bildung Mittelwert; nur komplementie- rend, Ausnahme: LF > Parameter "elektrische Leitfä- higkeit"		
Leitfähigkeit (25°C)			
elektr. Leitfähigkeit (bei T)			
Leitfähigkeit vor Ort (20°C)			
<b>Kobalt</b>		<b>Kobalt</b>	Co
Kobalt gel.	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Kupfer</b>		<b>Kupfer</b>	Cu
Kupfer gel.	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Mangan</b>		<b>Mangan</b>	Mn
Mangan gel.	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		

Parameter	Kommentar	Aggregierter Parameter	Kürzel
<b>Molybdän</b>		<b>Molybdän</b>	Mo
<b>Molybdän gel.</b>	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Nickel</b>		<b>Nickel</b>	Ni
<b>Nickel gel.</b>	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>pH-Wert</b>		<b>pH-Wert</b>	pH
<b>pH-Wert (Labor)</b>	nur komplementierend		
<b>Quecksilber</b>		<b>Quecksilber</b>	Hg
<b>Quecksilber gel.</b>	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Redox-Spannung</b>		<b>Redoxpotential</b>	Redox
<b>Redox-Spannung korrigiert</b>	Korrektursubtrahend 239.1 mV (Hölting & Colde- wey, 2009)		
<b>Sauerstoffgehalt</b>		<b>Sauerstoffgehalt</b>	O <sub>2</sub>
<b>Sauerstoffgehalt (Labor)</b>	nur komplementierend		
<b>Selen</b>		<b>Selen</b>	Se
<b>Selen gel.</b>	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Silber</b>		<b>Silber</b>	Ag
<b>Silber gel.</b>	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Thallium</b>		<b>Thallium</b>	Tl
<b>Thallium gel.</b>	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Uran</b>		<b>Uran</b>	U
<b>Uran gel.</b>	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Vanadium</b>		<b>Vanadium</b>	V
<b>Vanadium gel.</b>	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Zink</b>		<b>Zink</b>	Zn
<b>Zink gel.</b>	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		
<b>Zinn</b>		<b>Zinn</b>	Sn
<b>Zinn gel.</b>	nur komplementierend, Ausnahme: $\beta$ gel. > $\beta$ ungel.		

## Anlage 2: Parameterbezogene Übersicht zu den mithilfe eines Umrechnungsfaktors korrigierten Analysen der Datenbank

Parameter	Feldbezeichnung Datenbank			Umrechnungsfaktor
	id_Param_unit	id_tab_xls	xls-Spalte	
As	93	42	63	0,001
Br	414	42	58	0,000001
CN	107	42	60	0,001
Co	192	66	47	1000
DOC	244	42	77	0,001
F	415	42	57	0,000001
LF	13	53	12	1000
LF	13	73	11	1000
Mn	118	42	46	1000
Mn	118	42	47	1000
Mn	118	45	61	1000
Mn	118	47	23	1000
Mn	118	48	44	1000
Mn	118	49	38	1000
Mn	118	54	55	1000
Mn	118	55	55	1000
Mn	118	56	57	1000
Mn	118	57	60	1000
Mn	118	58	60	1000
Mn	118	59	83	1000
Mn	118	60	79	1000
Mn	121	37	38	1000
Mn	122	40	36	1000
Mn	123	26	36	1000
Mn	124	24	36	1000
Mn	125	23	36	1000
Mn	126	39	38	1000
Mn	127	22	38	1000
Mn	128	21	38	1000
Mn	129	27	40	1000
Mn	130	38	42	1000
Mn	131	33	47	1000
Mn	132	32	47	1000
Mn	133	31	47	1000
Mn	134	30	47	1000
Mn	135	29	47	1000
Mn	136	28	47	1000

### Anlage 3: Parameterbezogene Übersicht zu der Anzahl der Messstellen pro Bezugseinheit und Untergliederung

Tabelle A-1 Anzahl der Messstellen für Parameter AOX, Ag, Al, As, B, Ba, Bi, Br, Ca, Cd, Cl, CN und Co.

Dunkelrot eingefärbt sind Parameter in bestimmten Einheiten, wenn keine Ableitung eines Hintergrundwertes möglich ist, weil keine Daten vorliegen. Hellrot gekennzeichnet sind Parameter in bestimmten Einheiten, bei denen eine Ableitung eines Hintergrundwertes mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes grundsätzlich nicht möglich ist. Schlüssel für Untergliederung (auch nachfolgende Tabellen): 1 = Flussaue und Niederungen, 2 = Flussaue mit Auenlehmdecke, 4 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 5 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 6 = Tertiär, 7 = Muschelkalk, 8 = Buntsandstein, 9 = Keuper, Jura, Kreide, 10 = Zechstein, 11 = Permokarbon, 12 = Altpaläozoikum, 13 = Saure Magmatite, 14 = Basische Magmatite, 15 = Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)

Untergliederung	AOX	Ag	Al	As	B	Ba	Bi	Br	Ca	Cd	Cl	CN	Co
1 (GR1 Nord+Süd)	119	48	83	102	94	52	1	2	150	105	158	54	53
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	67	4	22	54	99	5			108	50	108	47	12
2 (GR1 Nord+Süd)	78	43	63	65	64	45			107	69	111	44	53
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	79	25	63	71	95	28		7	144	70	147	45	35
4 (GR1 Nord)	221	103	181	281	273	114	49	54	450	251	455	75	161
4 (GR1 Süd)	34	18	24	35	27	19			32	35	37	26	20
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	32	7	19	32	29	9			41	34	44	19	16
5 (GR1 Nord)	143	47	117	148	135	53	11	12	242	147	246	51	73
5 (GR1 Süd)	17	7	16	16	14	7			21	15	23	8	7
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	49	14	31	43	40	16		2	48	43	55	26	17
6 (GR1 Nord+Süd)	15	6	9	14	12	6			14	14	18	12	7
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	38	9	9	15	17	16			32	13	32	8	9
7	64	30	52	49	48	33			95	47	95	36	34
8	136	49	105	140	143	58		15	290	137	306	95	52
9	83	18	46	60	72	19			109	59	117	50	21
10	13	5	10	18	24	4		2	22	18	22	6	4
11	24	12	17	24	25	12		2	34	22	34	13	13
12	39	23	36	47	45	25		2	60	47	64	24	22
13	27	5	13	26	22	4			43	23	43	4	7
14	1	1	1	1	1	1			2	1	2		1
15	99	21	226	99	49	25			373	106	378	41	31
<b>Insgesamt</b>	<b>1377</b>	<b>494</b>	<b>1142</b>	<b>1339</b>	<b>1327</b>	<b>550</b>	<b>61</b>	<b>98</b>	<b>2415</b>	<b>1305</b>	<b>2493</b>	<b>684</b>	<b>647</b>

Tabelle A-2 Anzahl der Messstellen für Parameter Cr, Cu, DOC, F, Fe, GH, HCO<sub>3</sub>, Hg, K, LF, Li, Mg und Mn.

Dunkelrot eingefärbt sind Parameter in bestimmten Einheiten, wenn keine Ableitung eines Hintergrundwertes möglich ist, weil keine Daten vorliegen. Hellrot gekennzeichnet sind Parameter in bestimmten Einheiten, bei denen eine Ableitung eines Hintergrundwertes mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes grundsätzlich nicht möglich ist.

Untergliederung	Cr	Cu	DOC	F	Fe	GH	HCO <sub>3</sub>	Hg	K	LF	Li	Mg	Mn
1 (GR1 Nord+Süd)	99	104	123	61	137	121	149	88	155	162	2	154	137
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	52	63	49	31	88	53	74	54	106	160		108	89
2 (GR1 Nord+Süd)	70	74	88	52	87	86	104	61	109	111		106	81
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	65	69	105	51	131	130	127	61	143	172		146	130

Untergliederung	Cr	Cu	DOC	F	Fe	GH	HCO <sub>3</sub>	Hg	K	LF	Li	Mg	Mn
4 (GR1 Nord)	267	268	241	132	409	359	434	200	450	824	53	452	402
4 (GR1 Süd)	35	35	23	21	31	26	30	33	30	37		32	29
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	32	30	36	8	34	33	31	28	41	44		39	34
5 (GR1 Nord)	137	144	141	63	166	150	225	124	242	266	12	242	160
5 (GR1 Süd)	15	15	21	17	23	20	20	8	21	21		21	23
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	43	44	42	23	44	40	39	41	52	62		47	45
6 (GR1 Nord+Süd)	14	14	11	11	13	13	18	9	18	18		18	12
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	12	14	19	9	31	28	32	12	32	61		32	31
7	52	53	77	48	87	97	79	46	93	97		97	84
8	122	157	123	133	269	246	278	131	292	303		290	268
9	59	58	75	43	96	83	91	60	109	119		113	86
10	12	17	11	11	21	20	22	13	22	24		22	21
11	20	21	21	17	32	26	30	21	34	34		34	32
12	45	46	42	41	51	47	60	43	64	64		63	64
13	21	23	20	13	38	20	24	22	43	42		43	37
14	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2		2	2
15	97	107	343	260	371	138	223	46	371	408		373	374
<b>Insgesamt</b>	<b>1269</b>	<b>1356</b>	<b>1611</b>	<b>1045</b>	<b>2159</b>	<b>1736</b>	<b>2090</b>	<b>1101</b>	<b>2427</b>	<b>3029</b>	<b>67</b>	<b>2432</b>	<b>2139</b>

Tabelle A-3 Anzahl der Messstellen für Parameter Mo, Na, NH<sub>4</sub>, Ni, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, P, Pb, pH, PO<sub>4</sub>, Redox, Sb Dunkelrot eingefärbt sind Parameter in bestimmten Einheiten, wenn keine Ableitung eines Hintergrundwertes möglich ist, weil keine Daten vorliegen. Hellrot gekennzeichnet sind Parameter in bestimmten Einheiten, bei denen eine Ableitung eines Hintergrundwertes mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes grundsätzlich nicht möglich ist.

Untergliederung	Mo	Na	NH <sub>4</sub>	Ni	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	P	Pb	pH	PO <sub>4</sub>	Redox	Sb
1 (GR1 Nord+Süd)	51	153	152	95	155	159	148	132	92	163	117	133	53
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	6	107	96	52	69	101	92	48	54	158	30	100	7
2 (GR1 Nord+Süd)	45	107	103	68	93	107	97	82	65	107	83	82	45
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	27	145	143	67	134	140	139	105	65	170	96	137	38
4 (GR1 Nord)	113	449	417	275	361	442	775	154	236	816	263	709	118
4 (GR1 Süd)	19	30	33	35	27	33	34	26	35	37	24	27	21
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	9	40	42	28	38	42	38	32	33	44	27	30	9
5 (GR1 Nord)	51	242	232	148	173	243	175	109	144	254	146	163	56
5 (GR1 Süd)	7	21	21	15	21	22	21	21	15	23	20	20	7
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	16	48	61	44	52	55	51	45	40	59	38	46	20
6 (GR1 Nord+Süd)	6	18	14	14	17	18	13	10	10	18	13	17	7
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	9	32	61	14	32	38	45	28	13	61	22	53	9
7	32	94	91	49	92	103	75	71	48	97	67	66	42
8	52	258	293	127	272	287	256	140	134	317	190	205	88
9	19	113	110	61	108	112	100	72	56	119	77	68	26
10	4	22	23	17	23	23	22	12	18	42	19	28	10
11	12	34	34	22	34	34	32	19	22	34	20	23	15

Untergliederung	Mo	Na	NH <sub>4</sub>	Ni	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	P	Pb	pH	PO <sub>4</sub>	Redox	Sb
12	22	64	60	47	64	64	55	39	47	64	43	41	27
13	4	43	42	22	42	40	36	27	26	43	19	29	5
14	1	2	2	1	2	2	2	1		2	1	1	1
15	23	372	375	104	315	376	381	187	97	405	345	379	23
<b>Insgesamt</b>	<b>527</b>	<b>2392</b>	<b>2403</b>	<b>1304</b>	<b>2122</b>	<b>2439</b>	<b>2585</b>	<b>1359</b>	<b>1250</b>	<b>3031</b>	<b>1659</b>	<b>2356</b>	<b>626</b>

Tabelle A-4 Anzahl der Messstellen für Parameter Se, Si, Sn, SO<sub>4</sub>, Sr, T, TI, U, V und Zn.

Dunkelrot eingefärbt sind Parameter in bestimmten Einheiten, wenn keine Ableitung eines Hintergrundwertes möglich ist, weil keine Daten vorliegen. Hellrot gekennzeichnet sind Parameter in bestimmten Einheiten, bei denen eine Ableitung eines Hintergrundwertes mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitsnetzes grundsätzlich nicht möglich ist.

Untergliederung	Se	Si	Sn	SO <sub>4</sub>	Sr	T	TI	U	V	Zn
1 (GR1 Nord+Süd)	53	2	2	158		96	51	58	53	103
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	9	2	1	109	50	93	5	6	5	66
2 (GR1 Nord+Süd)	46	2	1	109		69	45	46	48	75
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	38			148	18	104	27	28	28	80
4 (GR1 Nord)	117	61	52	432		118	112	129	122	275
4 (GR1 Süd)	20	1		37		28	19	19	19	34
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	9		4	44		20	9	9	9	36
5 (GR1 Nord)	58	16	11	243		95	54	71	56	148
5 (GR1 Süd)	7	3		21		18	7	7	7	16
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	20	3		55		39	16	17	16	45
6 (GR1 Nord+Süd)	7			18		11	6	8	6	14
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	9		2	39		21	9	9	9	16
7	41	3	4	103	1	63	32	36	34	50
8	91	12	8	303	21	176	51	59	53	125
9	31	2	1	120		54	19	25	20	65
10	10		7	23	19	34	5	4	4	28
11	15		4	34		19	12	13	12	22
12	31		6	63		56	23	22	23	44
13	6		1	43		18	5	4	4	20
14	1			2		2	1	1	1	1
15	24	127	1	409		65	22	25	22	113
<b>Insgesamt</b>	<b>642</b>	<b>234</b>	<b>105</b>	<b>2511</b>	<b>109</b>	<b>1197</b>	<b>529</b>	<b>595</b>	<b>550</b>	<b>1375</b>

### Anlage 4: Prozentuale Flächenanteile der Grundwasserkörper an den untergliederten Bezugseinheiten

GWK	1 (GR 1 Nord+Süd)	1 (GR5+GR8+Saale EZG)	2 (GR 1 Nord+Süd)	2 (GR5+GR8+Saale EZG)	4 (GR 1 Nord)	4 (GR 1 Süd)	4 (GR5+GR8+Saale EZG)	5 (GR 1 Nord)	5 (GR 1 Süd)	5 (GR5+GR8+Saale EZG)	6 (GR 1 Nord+Süd)	6 (GR5+GR8+Saale EZG)	7	8	9	10	11	12	13	14	15 (+2km Puffer)	
4_2103	0	0	0	0	100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4_2104	8,7	0,004	0	0	91,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4_2105	0	10,6	0	0	0	0	5,4	0	0	5,5	0	3,2	6,0	18,6	38,4	0	0	0	0	12,4	0	0
4_2106	0	5,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1	6,2	6,3	78,2	0	0	0	0	0	0	0
4_2107	0	0	0	23,6	0	0	0	0	0	0	0	0	5,8	1,8	68,5	0	0	0	0	0	0	0,34
4_2108	0	0	0	2,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,7	0	0	0	0	24,5	65,0	4,8	0
4_2109	0	0	0	100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL 2-1	0	0	100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL 2-2	8,1	0	91,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL 3-1	3,0	0	61,0	0	1,4	21,9	0	0	2,0	0	5,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,0
EL 3-2	38,5	0	31,5	0	30,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL 3-3	20,9	0	3,3	0	54,2	0	0	20,8	0	0	0,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL 3-4	1,3	0	22,6	0	72,3	0	0	2,7	0	0	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EN 1	12,8	1,7	22,5	0,032	22,4	0	0	33,2	0	0	7,1	0	0	0	0	0	0,35	0	0	0	0	0
EN 2	7,8	0	0,75	0	68,7	0	0	21,7	0	0	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EN 3	14,3	5,9	14,9	6,8	1,6	0	5,2	4,3	0	1,8	0,23	0,044	1,5	3,4	40,0	0	0	0	0	0	0	0
HAV_BP_1	0,6	0	0	0	85,8	0	0	13,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HAV_DJ_1	60,1	0	7,7	0	0	0	0	32,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HAV_NU_2	0	0	0	0	68,6	0	0	31,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HAV_UH_4	50,9	0	9,1	0	16,0	0	0	24,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HAV_UH_5	28,2	0	48,4	0	16,1	0	0	7,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HAV_UH_6	96,7	0	0,51	0	0	0	0	2,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HAV_UH_7	35,8	0	11,0	0	8,1	0	0	45,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HAV_UH_8	18,6	0	78,4	0	3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBA 1	10,6	0	21,3	0	26,2	0	0	41,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBA 2	17,9	0	25,2	0	2,8	0	0	54,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBA 3	29,8	0	11,5	0	1,5	0	0	57,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBA 4	7,5	0	75,0	0	2,2	0	0	15,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MEL_EN_4	0	0	0	0	100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI10_1	37,9	0	0	0	13,3	0	0	48,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI10_2	51,5	0	24,0	0	4,3	0	0	20,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI10_3	14,3	0	0,98	0	29,2	0	0	55,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI10_4	1,3	0	0	0	31,8	0	0	66,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI10_5	30,6	0	0	0	30,3	0	0	39,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI11_1	0	0	0	0	100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OT 1	59,5	0,18	0	0	33,6	0	0,74	0,039	0	5,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

GWK	1 (GR 1 Nord+Süd)		1 (GR5+GR8+Saale EZG)		2 (GR 1 Nord+Süd)		2 (GR5+GR8+Saale EZG)		4 (GR 1 Nord)		4 (GR 1 Süd)		4 (GR5+GR8+Saale EZG)		5 (GR 1 Nord)		5 (GR 1 Süd)		5 (GR5+GR8+Saale EZG)		6 (GR 1 Nord+Süd)		6 (GR5+GR8+Saale EZG)		7	8	9	10	11	12	13	14	15 (+2km Puffer)
	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	OT	
OT 2	20,2	2,8	9,1	0,65	41,3	0	1,7	12,7	0	7,3	0,91	0,29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OT 3	43,8	0,00	14,2	0	13,9	0	0	28,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OT 4	0,7	0,38	0,012	3,1	0	0	0,22	0	0	1,1	0,021	5,2	0	2,2	79,1	0	2,5	0	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OT 5	4,1	0,00	38,5	0	5,3	0	0	52,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 008	0	0,00	0	0,096	0	0	0	0	0	0	0	0	95,4	3,3	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 011	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,031	0	100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 012	0	0,00	0	4,2	0	0	0	0	0	0	0	14,4	3,0	78,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 013	0	0,00	0	1,7	0	0	0	0	0	0	0	0	87,8	10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 014	0	0,25	0,091	6,8	0	0,25	0	0	0,25	1,4	0	5,9	27,3	44,5	0	1,5	1,7	0	0,94	0	9,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 014a	0	0	0	7,7	0	0	0	0	0	1,4	0	0,71	0,11	22,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67,4	
SAL GW 015	0	0	0	0,29	0	0	0	0	0	1,00	0	0	0	98,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 016	0	0	0,39	0,32	0	6,6	0	0	14,5	4,1	0	0	0	7,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66,6	
SAL GW 017	0	0	0,43	50,3	0	4,1	0	0	0	0,15	0	0,90	0	3,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40,8	
SAL GW 018	0	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0,79	1,0	95,4	0	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,0	0	14,3	62,8	4,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 020	0	0,16	0	4,9	0	0	9,3	0	3,2	8,3	0	4,3	0,084	3,3	0	1,9	49,0	0	15,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 021	0	3,5	0	14,8	0	0	7,4	0	0	0,001	0	4,7	6,7	56,3	0	0,24	6,2	0,074	0,019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 022	4,0	2,8	1,9	2,0	0,023	34,4	22,2	0,005	8,9	7,9	3,3	0,23	0	4,9	0	0	1,7	0	0,42	0	5,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 023	39,0	11,3	37,4	11,6	0,013	0,34	0,045	0	0	0	0,088	0,11	0	0,073	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 026_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,5	0	94,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 034	0	0	0	3,8	0	0	0	0	0	0	0	2,7	1,0	92,5	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 035	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 038	0	1,2	0	7,0	0	0	0	0	0	0	0	10,1	0,18	65,5	0	11,8	2,1	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 039	0	0	0	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	3,1	91,1	1,4	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	33,0	0	4,2	62,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 041	0	1,5	0	69,2	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0	27,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 042	0	0	0	6,1	0	0	0	0	0	0	0	0	34,5	59,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 048	0	0	0	5,4	0	0	0	0	0	0	0	10,1	0	80,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,8	
SAL GW 051	0	0	0	0,89	0	0	0	0	0	2,3	0	0	0	15,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81,2	
SAL GW 059	0	0	0	21,3	0	0	0	0	0,95	8,1	0	0	0	10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59,2	
SAL GW 061	0	0	1,7	6,9	0	0,19	0	0	30,2	10,9	0	0	0	0,33	0	0	0	0	0,12	0	49,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,6	0	0	0	34,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57,4	
SAL GW 063	0	0	0	0	0	0,40	0	25,0	68,5	0	5,9	0	0,044	0	0	0	0	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 064	0	0,30	0	0,57	0	0	0,006	0	0	0	0	0,001	0	0,51	0,003	0	1,8	82,3	11,1	3,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 065	0	0,41	0	9,5	0	0	3,1	0	0	0	0	0,30	18,5	10,2	52,4	0	0,18	0,51	0,010	0	4,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SAL GW 066	0	0	0	6,2	0	0	0,27	0	0	0	0	5,1	18,7	6,7	56,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,7	
SAL GW 067	0	3,8	0	41,7	0	0	33,6	0	0	0	0	3,0	6,6	5,3	6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SE 4-2	65,3	0	27,1	0	7,5	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	

GWK	1 (GR 1 Nord+Süd)	1 (GR5+GR8+Saale EZG)	2 (GR 1 Nord+Süd)	2 (GR5+GR8+Saale EZG)	4 (GR 1 Nord)	4 (GR 1 Süd)	4 (GR5+GR8+Saale EZG)	5 (GR 1 Nord)	5 (GR 1 Süd)	5 (GR5+GR8+Saale EZG)	6 (GR 1 Nord+Süd)	6 (GR5+GR8+Saale EZG)	7	8	9	10	11	12	13	14	15 (+2km Puffer)	
SE 5	48,8	0	4,3	0	46,6	0	0	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VM 2-1	23,6	0	55,8	0	0,023	14,1	0	0	0	0	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,4
VM 2-2	0	0	0	0	0	0	0	0	58,7	34,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,5
VM 2-3	1,8	0	5,0	0	0,048	39,2	0	0	0,88	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49,8
VM 2-4	3,6	0	6,6	0	0,009	12,9	0	0	0,059	0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76,6

## Anlage 5: Parameter- und einheitsbezogene Übersicht zu den Stoffkonzentrationen

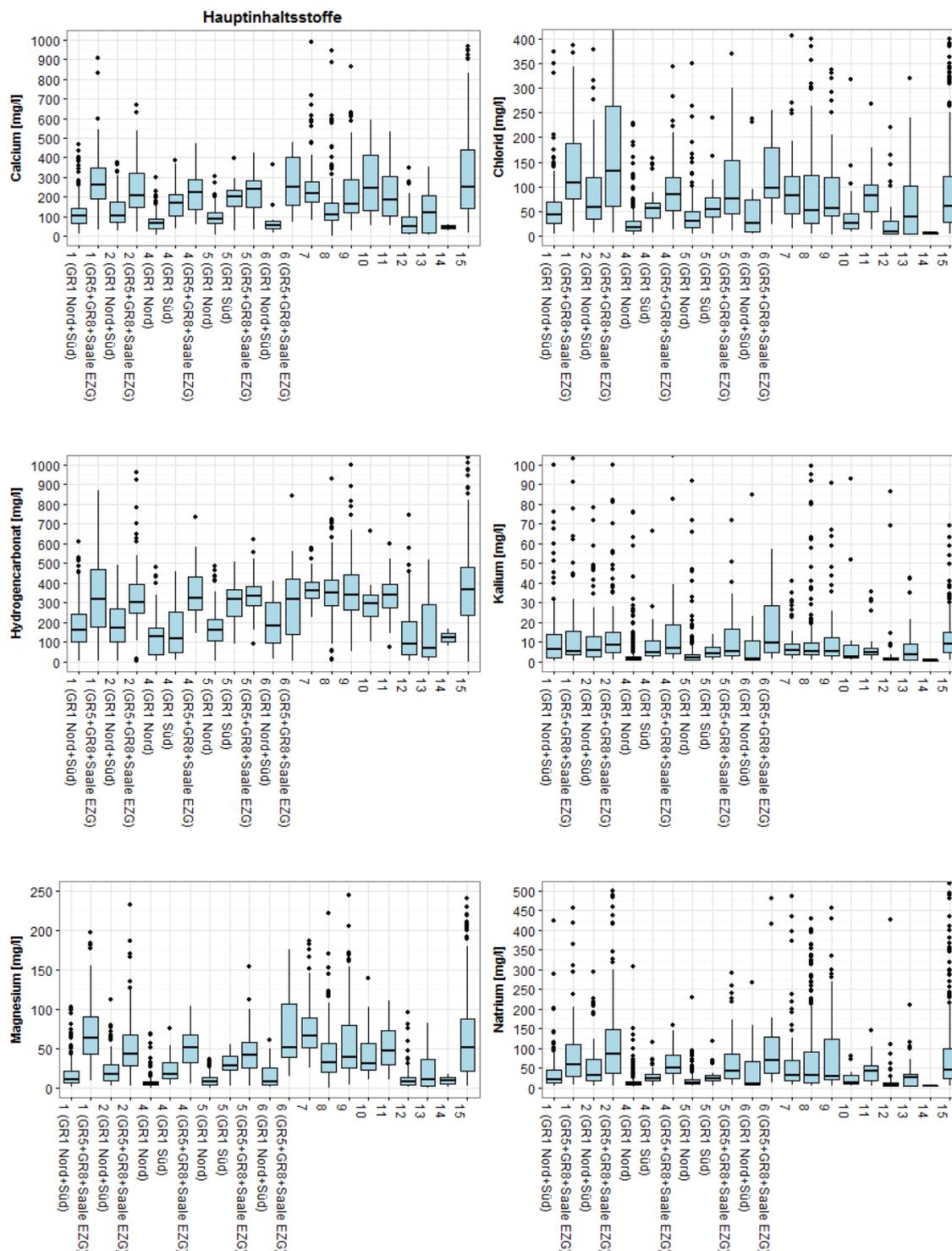


Abbildung A-1 Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe (Ca, Cl, HCO<sub>3</sub>, K, Mg, Na).

Schlüssel für Untergliederung: 1 = Flussauen und Niederungen, 2 = Flussauen mit Auenlehmdecke, 4 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 5 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 6 = Tertiär, 7 = Muschelkalk, 8 = Buntsandstein, 9 = Keuper, Jura, Kreide, 10 = Zechstein, 11 = Permokarbon, 12 = Altpaläozoikum, 13 = Saure Magmatite, 14 = Basische Magmatite, 15 = Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)

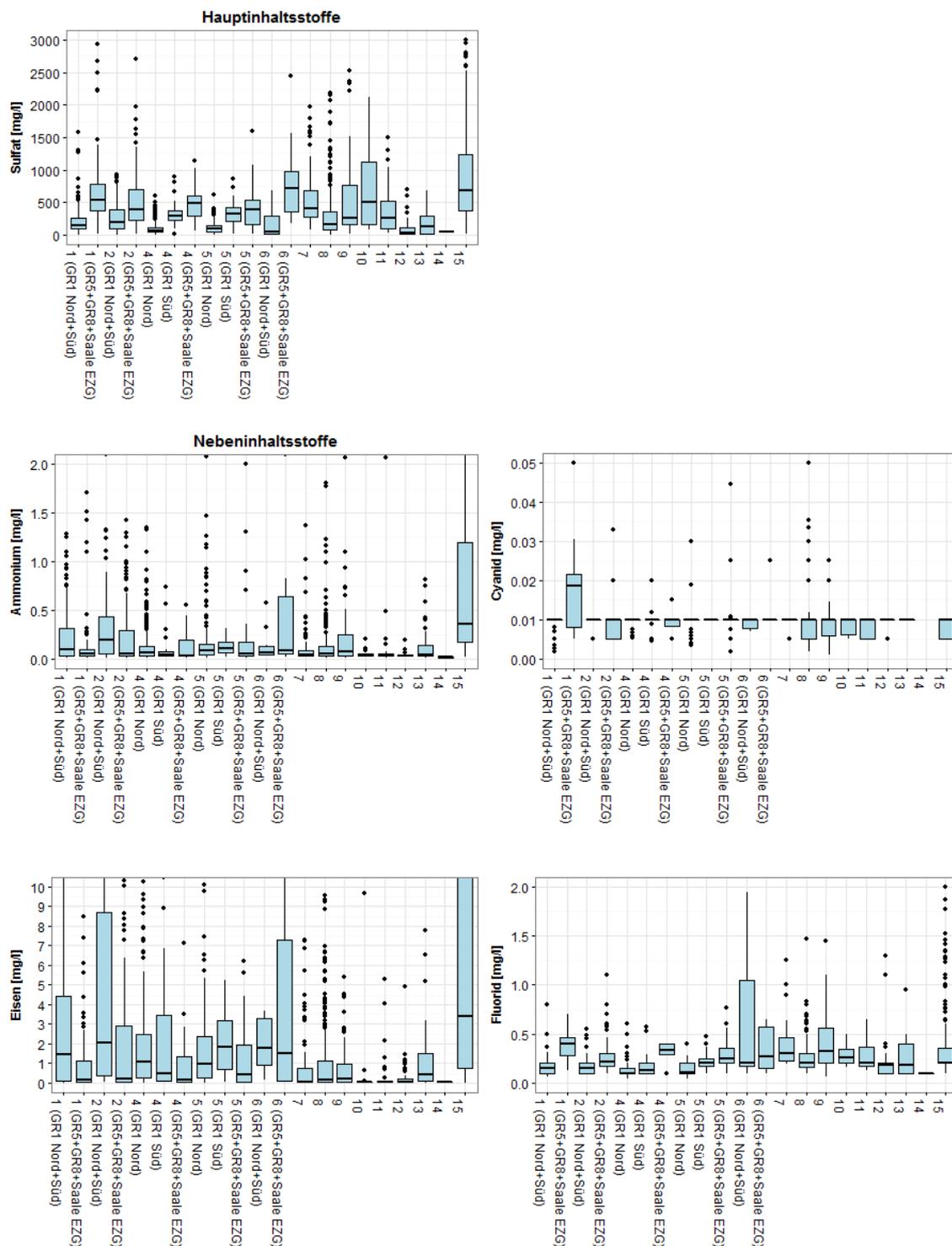


Abbildung A-2 Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe (SO<sub>4</sub>) und Nebeninhaltsstoffe (NH<sub>4</sub>, CN, Fe, F).

Schlüssel für Untergliederung: 1 = Flussaunen und Niederungen, 2 = Flussaunen mit Auenlehmdecke, 4 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 5 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 6 = Tertiär, 7 = Muschelkalk, 8 = Buntsandstein, 9 = Keuper, Jura, Kreide, 10 = Zechstein, 11 = Permokarbon, 12 = Altpaläozoikum, 13 = Saure Magmatite, 14 = Basische Magmatite, 15 = Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)

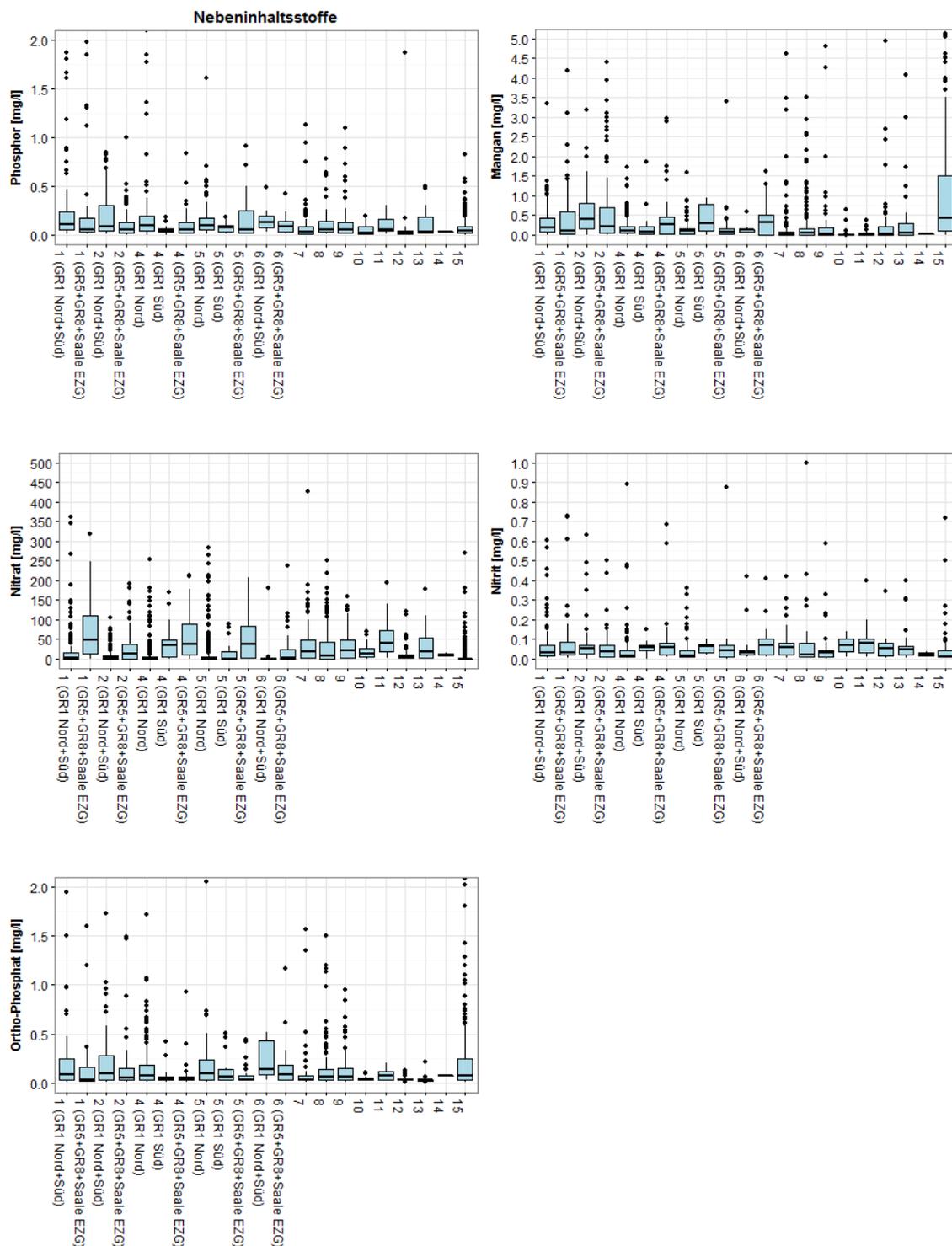


Abbildung A-3 Konzentrationen der Nebeninhaltsstoffe (P, Mn, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>).

Schlüssel für Untergliederung: 1 = Flussaunen und Niederungen, 2 = Flussaunen mit Auenlehmdecke, 4 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 5 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 6 = Tertiär, 7 = Muschelkalk, 8 = Buntsandstein, 9 = Keuper, Jura, Kreide, 10 = Zechstein, 11 = Permokarbon, 12 = Altpaläozoikum, 13 = Saure Magmatite, 14 = Basische Magmatite, 15 = Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)

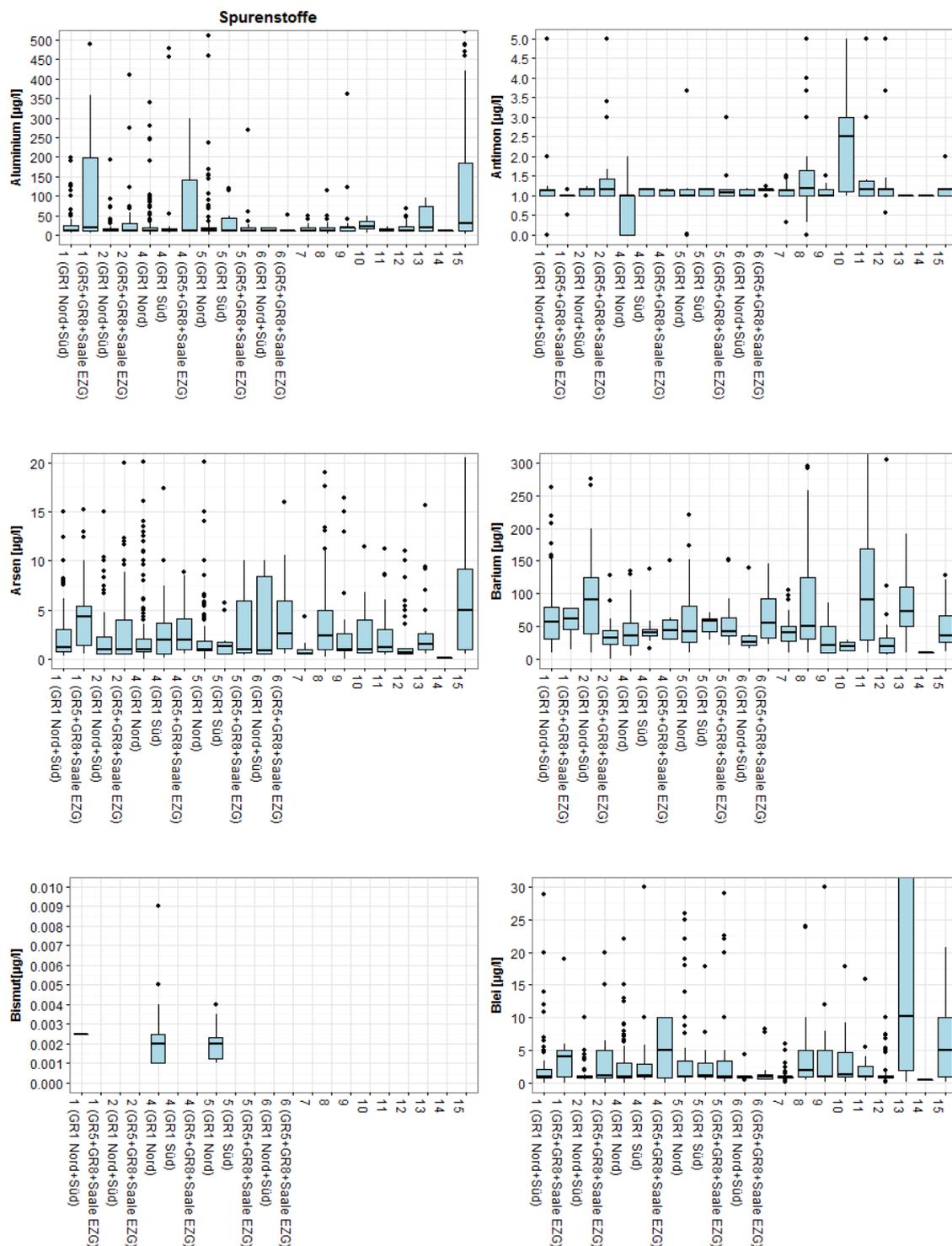


Abbildung A-4 Konzentrationen der Spurenstoffe (Al, Sb, As, Bi, Pb).

Schlüssel für Untergliederung: 1 = Flussauen und Niederungen, 2 = Flussauen mit Auenlehmdecke, 4 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 5 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 6 = Tertiär, 7 = Muschelkalk, 8 = Buntsandstein, 9 = Keuper, Jura, Kreide, 10 = Zechstein, 11 = Permokarbon, 12 = Altpaläozoikum, 13 = Saure Magmatite, 14 = Basische Magmatite, 15 = Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)

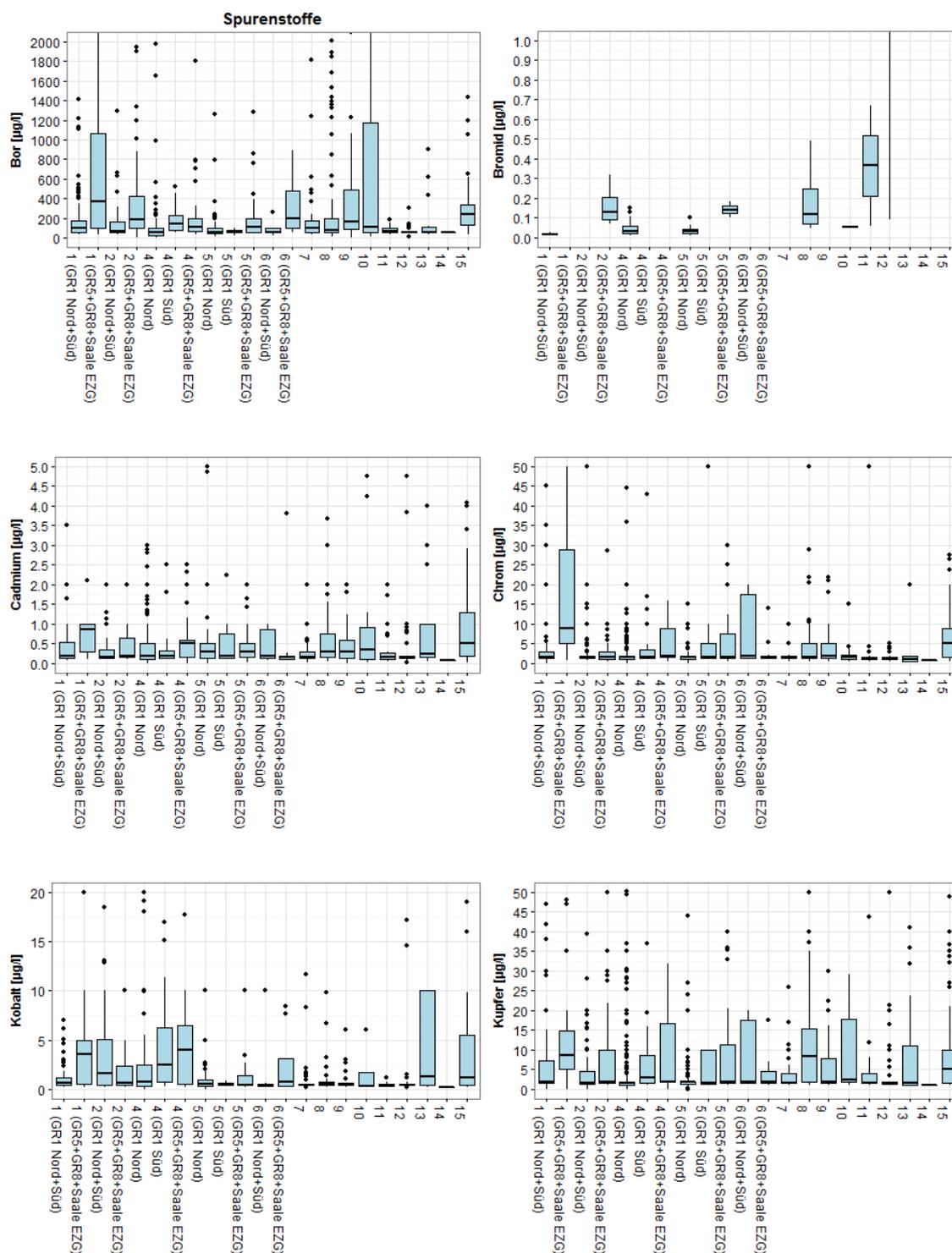


Abbildung A-5 Konzentrationen der Spurenstoffe (B, Br, Cd, Cr, Co, Cu).

Schlüssel für Untergliederung: 1 = Flussaunen und Niederungen, 2 = Flussaunen mit Auenlehmdecke, 4 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 5 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 6 = Tertiär, 7 = Muschelkalk, 8 = Buntsandstein, 9 = Keuper, Jura, Kreide, 10 = Zechstein, 11 = Permokarbon, 12 = Altpaläozoikum, 13 = Saure Magmatite, 14 = Basische Magmatite, 15 = Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)

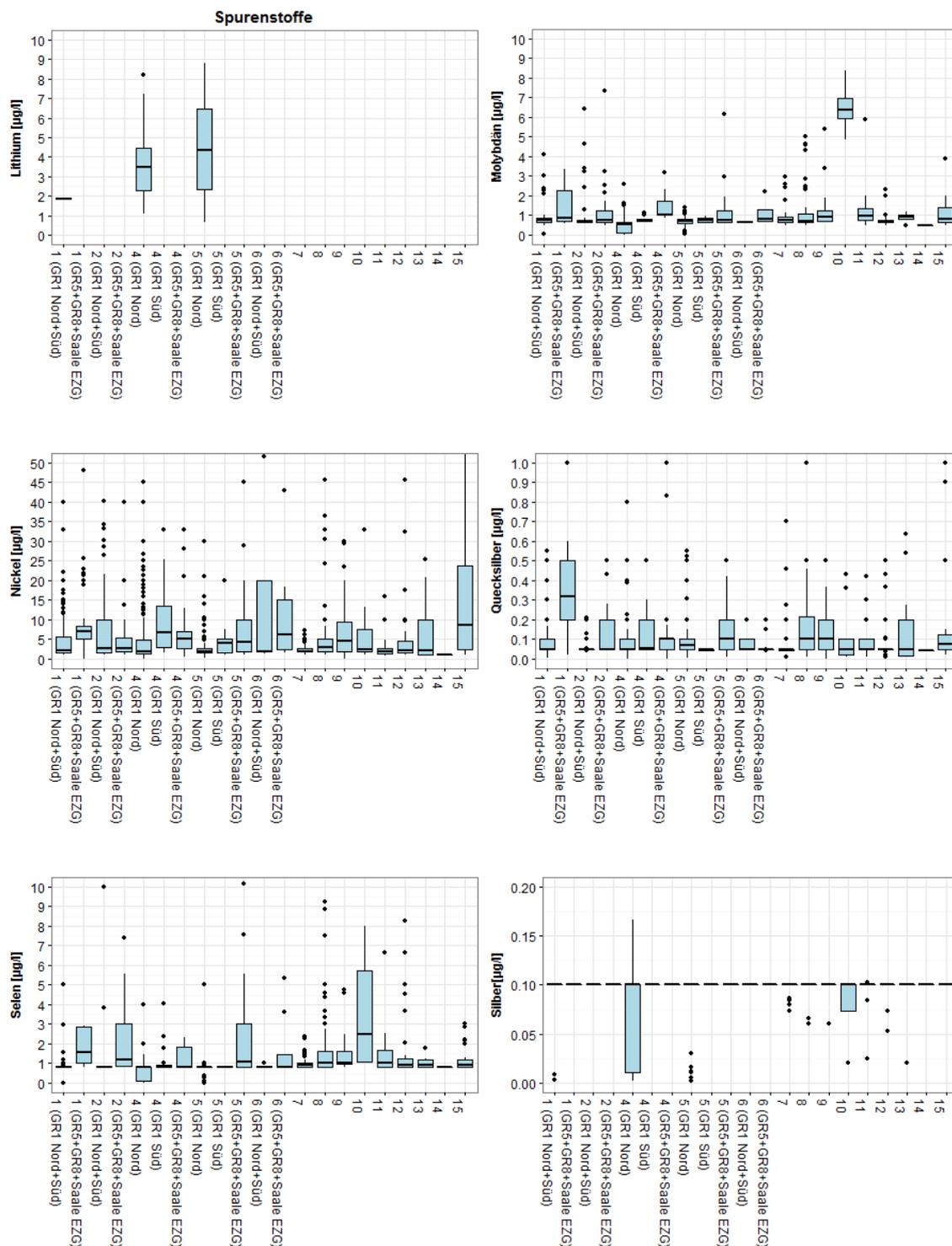


Abbildung A-6 Konzentrationen der Spurenstoffe (Li, Mo, Ni, Hg, Se, Ag).

Schlüssel für Untergliederung: 1 = Flussaue und Niederungen, 2 = Flussaue mit Auenlehmdecke, 4 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 5 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 6 = Tertiär, 7 = Muschelkalk, 8 = Buntsandstein, 9 = Keuper, Jura, Kreide, 10 = Zechstein, 11 = Permokarbon, 12 = Altpaläozoikum, 13 = Saure Magmatite, 14 = Basische Magmatite, 15 = Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)

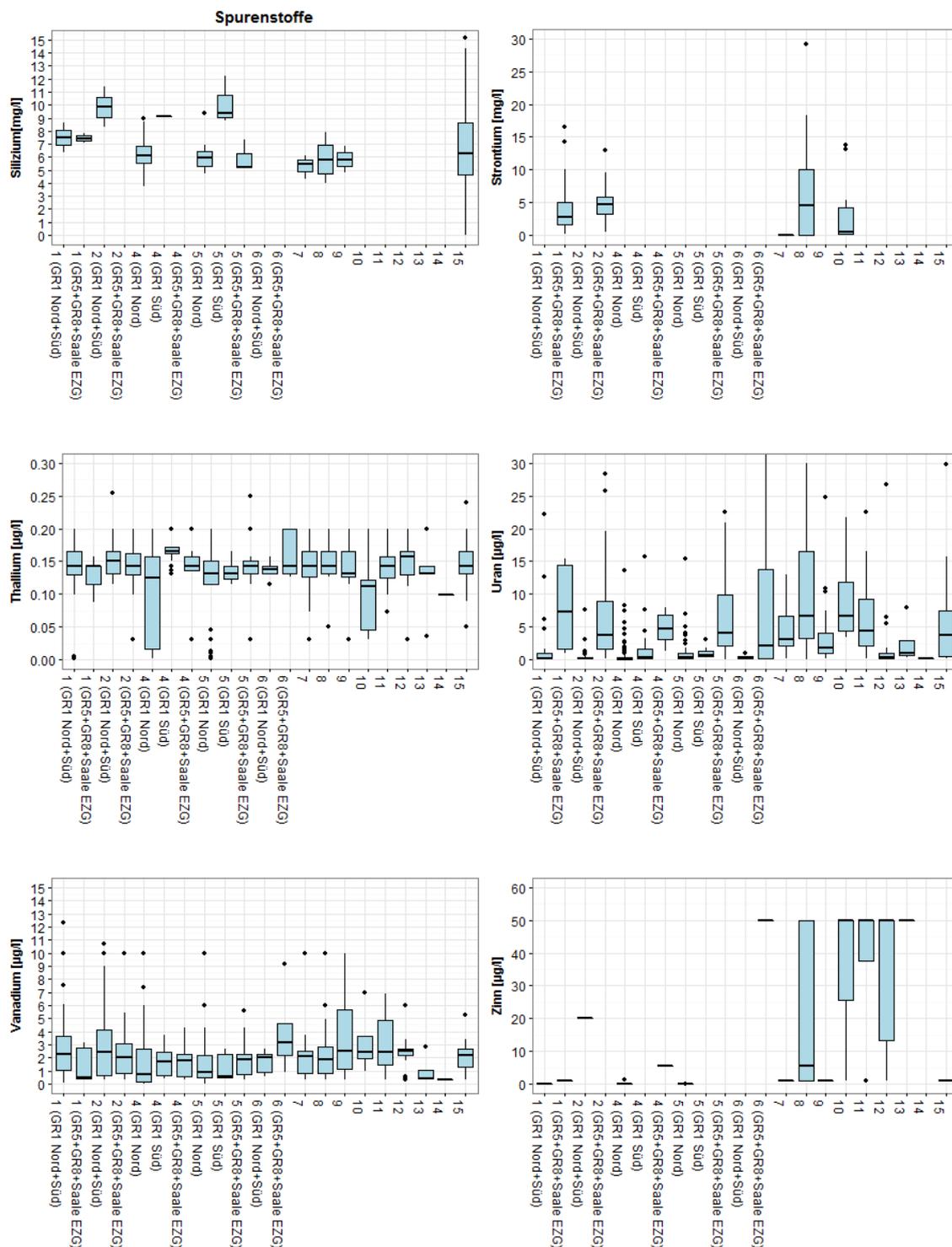


Abbildung A-7 Konzentrationen der Spurenstoffe (Si, Sr, Tl, U, V, Sn).

Schlüssel für Untergliederung: 1 = Flussauen und Niederungen, 2 = Flussauen mit Auenlehmdecke, 4 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 5 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 6 = Tertiär, 7 = Muschelkalk, 8 = Buntsandstein, 9 = Keuper, Jura, Kreide, 10 = Zechstein, 11 = Permokarbon, 12 = Altpaläozoikum, 13 = Saure Magmatite, 14 = Basische Magmatite, 15 = Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)

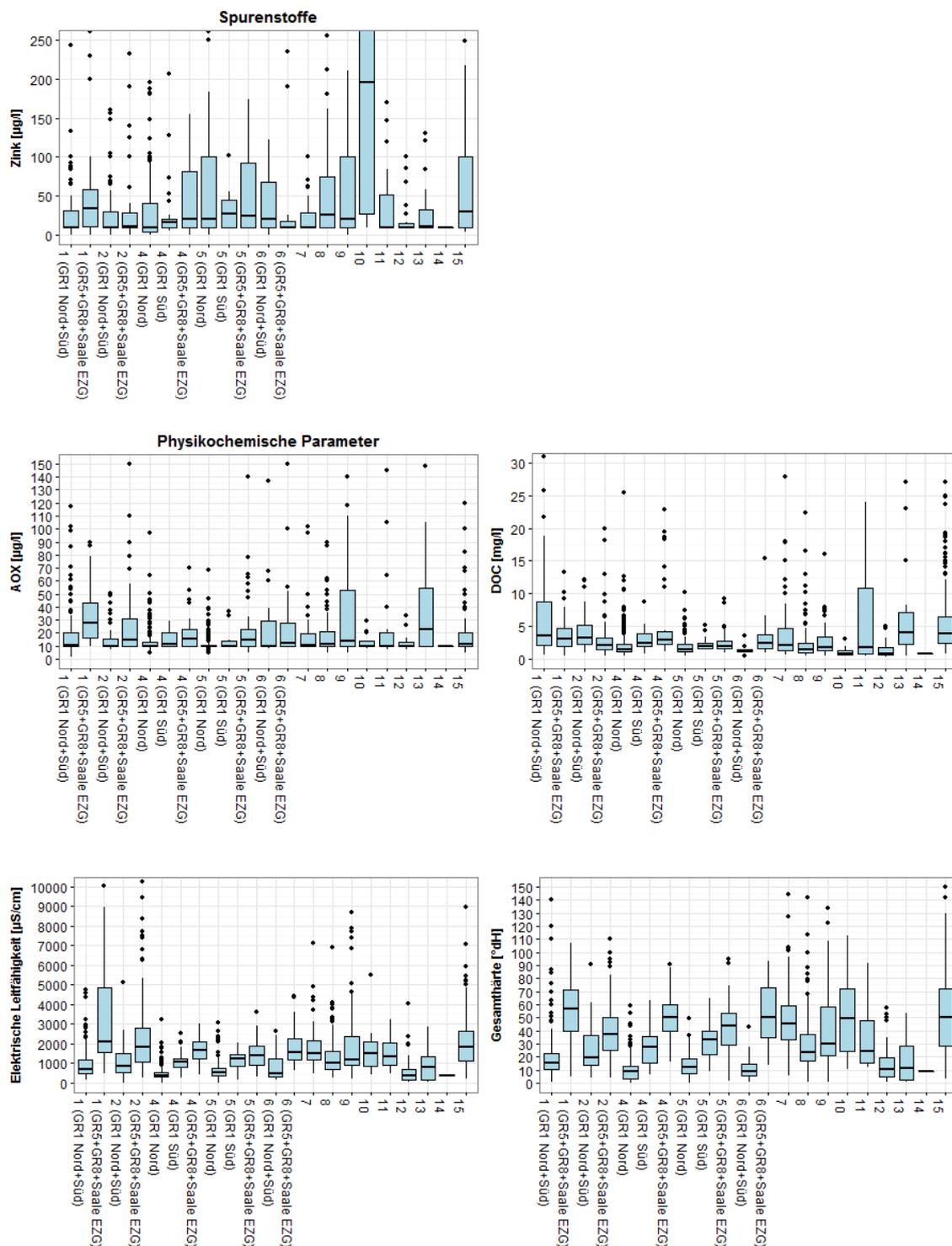


Abbildung A-8 Konzentrationen der Spurenstoffe (Zn) und physikochemischen Parameter (AOX, DOC, LF, GH).

Schlüssel für Untergliederung: 1 = Flussaunen und Niederungen, 2 = Flussaunen mit Auenlehmdecke, 4 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 5 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 6 = Tertiär, 7 = Muschelkalk, 8 = Buntsandstein, 9 = Keuper, Jura, Kreide, 10 = Zechstein, 11 = Permokarbon, 12 = Altpaläozoikum, 13 = Saure Magmatite, 14 = Basische Magmatite, 15 = Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)

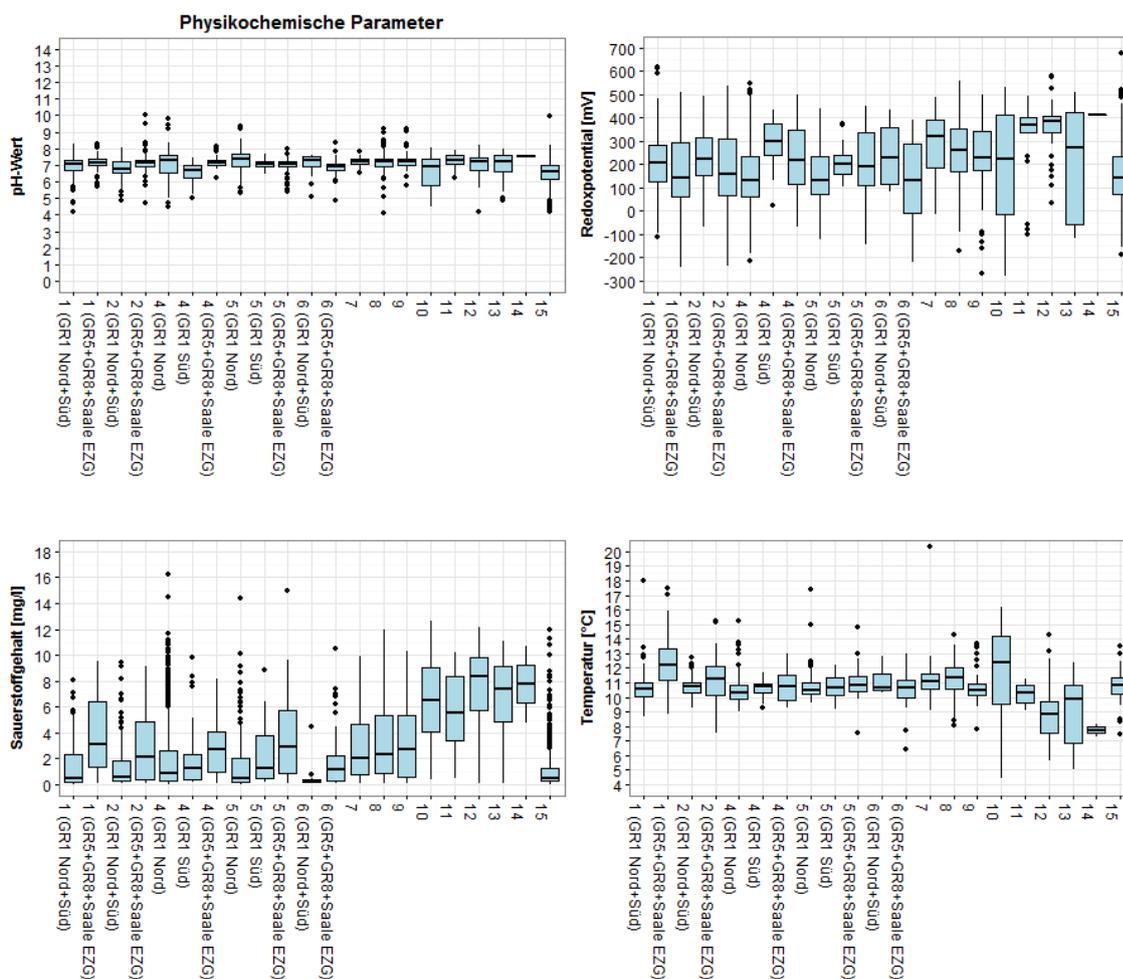


Abbildung A-9 Konzentrationen der physikochemischen Parameter (pH, Redox, O<sub>2</sub>, T).

Schlüssel für Untergliederung: 1 = Flussaunen und Niederungen, 2 = Flussaunen mit Auenlehmdecke, 4 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 5 = Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL, 6 = Tertiär, 7 = Muschelkalk, 8 = Buntsandstein, 9 = Keuper, Jura, Kreide, 10 = Zechstein, 11 = Permokarbon, 12 = Altpaläozoikum, 13 = Saure Magmatite, 14 = Basische Magmatite, 15 = Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)

## Anlage 6: Vergleichswerte der Grundwasserkörper für ausgewählte Parameter als Basis der Schwellenwertableitung

GWK-Code	As [µg/l]	Cd [µg/l]	Cl [mg/l]	Hg [µg/l]	NH <sub>4</sub> [mg/l]	NO <sub>2</sub> [mg/l]	PO <sub>4</sub> [mg/l]	Pb [µg/l]	SO <sub>4</sub> [mg/l]
4_2103	1,3	0,09	46,8	0,003	0,21	0,03	0,28	0,58	129
4_2104	1,3	0,09	50,0	0,005	0,23	0,04	0,28	0,57	139
4_2105	2,4	0,15	146,1	0,028	0,18	0,04	0,10	1,35	444
4_2106	1,8	0,11	134,2	0,026	0,24	0,04	0,12	0,53	436
4_2107	1,7	0,10	161,9	0,031	0,25	0,04	0,14	0,51	459
4_2108	2,6	0,15	111,2	0,010	0,06	0,05	0,03	4,56	170
4_2109	2,5	0,10	266,5	0,050	0,30	0,04	0,16	0,50	597
EL 2-1	1,0	0,20	124,5	0,025	0,71	0,06	0,19	0,69	315
EL 2-2	1,0	0,19	121,2	0,025	0,69	0,06	0,19	0,68	310
EL 3-1	1,4	0,16	108,6	0,023	0,52	0,05	0,19	0,63	386
EL 3-2	1,2	0,12	85,5	0,019	0,44	0,07	0,24	0,59	232
EL 3-3	1,2	0,08	62,3	0,009	0,26	0,05	0,26	0,56	176
EL 3-4	1,2	0,11	65,8	0,009	0,33	0,04	0,26	0,60	176
EN 1	1,1	0,10	81,1	0,014	0,33	0,04	0,25	0,58	229
EN 2	1,2	0,08	55,8	0,006	0,22	0,04	0,27	0,57	157
EN 3	1,8	0,13	131,7	0,028	0,32	0,05	0,16	0,55	398
HAV_BP_1	1,3	0,08	50,3	0,004	0,21	0,03	0,27	0,58	140
HAV_DJ_1	1,1	0,08	82,8	0,018	0,35	0,07	0,24	0,53	237
HAV_NU_2	1,2	0,07	54,5	0,004	0,21	0,03	0,26	0,57	152
HAV_UH_4	1,2	0,09	78,5	0,017	0,35	0,07	0,25	0,54	223
HAV_UH_5	1,1	0,14	96,6	0,020	0,50	0,06	0,22	0,61	257
HAV_UH_6	1,3	0,09	83,5	0,024	0,39	0,10	0,26	0,50	244
HAV_UH_7	1,1	0,08	79,5	0,014	0,32	0,05	0,23	0,55	225
HAV_UH_8	1,1	0,17	114,6	0,024	0,64	0,06	0,20	0,65	297
MBA 1	1,1	0,09	77,5	0,011	0,33	0,04	0,23	0,58	212
MBA 2	1,0	0,09	86,2	0,013	0,36	0,05	0,22	0,57	237
MBA 3	1,0	0,07	80,7	0,013	0,31	0,05	0,23	0,55	228
MBA 4	1,0	0,16	111,6	0,021	0,60	0,05	0,20	0,65	289
MEL_EN_4	1,3	0,09	46,8	0,003	0,21	0,03	0,28	0,58	129
NI10_1	1,1	0,06	72,7	0,012	0,27	0,05	0,24	0,53	210
NI10_2	1,1	0,11	89,4	0,020	0,42	0,07	0,23	0,56	248
NI10_3	1,1	0,06	66,4	0,007	0,23	0,04	0,24	0,55	189
NI10_4	1,0	0,05	63,6	0,005	0,20	0,03	0,24	0,56	181
NI10_5	1,2	0,07	67,6	0,011	0,26	0,05	0,25	0,54	194
NI11_1	1,3	0,09	46,8	0,003	0,21	0,03	0,28	0,58	129
OT 1	1,4	0,09	77,3	0,019	0,32	0,07	0,25	0,53	229
OT 2	1,5	0,10	83,3	0,016	0,28	0,05	0,23	0,57	249
OT 3	1,2	0,09	80,8	0,016	0,36	0,06	0,24	0,55	227
OT 4	1,9	0,11	134,7	0,024	0,25	0,04	0,13	0,86	406
OT 5	1,0	0,11	90,9	0,013	0,40	0,04	0,21	0,60	245
SAL GW 008	0,3	0,10	156,1	0,025	0,09	0,03	0,06	0,52	603
SAL GW 011	1,5	0,10	126,3	0,025	0,25	0,04	0,13	0,50	395
SAL GW 012	2,3	0,13	167,2	0,022	0,20	0,03	0,13	0,88	453
SAL GW 013	0,5	0,10	158,7	0,025	0,09	0,03	0,07	0,55	590

GWK-Code	As [µg/l]	Cd [µg/l]	Cl [mg/l]	Hg [µg/l]	NH <sub>4</sub> [mg/l]	NO <sub>2</sub> [mg/l]	PO <sub>4</sub> [mg/l]	Pb [µg/l]	SO <sub>4</sub> [mg/l]
SAL GW 014	1,8	0,12	164,8	0,026	0,22	0,03	0,13	0,79	583
SAL GW 014a	2,4	0,13	168,5	0,027	0,65	0,02	0,26	0,59	1090
SAL GW 015	2,0	0,14	162,9	0,025	0,14	0,03	0,13	0,98	400
SAL GW 016	2,3	0,12	143,3	0,023	0,64	0,02	0,25	0,63	1079
SAL GW 017	2,5	0,11	209,7	0,037	0,52	0,03	0,22	0,50	908
SAL GW 018	0,8	0,10	32,6	0,006	0,04	0,05	0,04	0,57	126
SAL GW 019	3,9	0,08	115,2	0,016	0,07	0,04	0,11	0,75	424
SAL GW 020	4,1	0,12	140,2	0,016	0,11	0,04	0,10	1,54	427
SAL GW 021	2,5	0,15	173,9	0,028	0,17	0,04	0,12	0,77	482
SAL GW 022	2,4	0,17	116,2	0,024	0,18	0,05	0,12	0,62	525
SAL GW 023	1,9	0,15	129,8	0,032	0,46	0,07	0,20	0,57	364
SAL GW 026_1	1,4	0,10	127,9	0,025	0,24	0,04	0,13	0,50	407
SAL GW 034	2,0	0,14	166,5	0,025	0,16	0,03	0,13	0,95	415
SAL GW 035	2,0	0,14	162,5	0,025	0,14	0,03	0,13	0,98	397
SAL GW 036	2,0	0,14	162,5	0,025	0,14	0,03	0,13	0,98	397
SAL GW 038	2,2	0,13	152,1	0,027	0,18	0,03	0,12	0,95	469
SAL GW 039	1,0	0,10	38,2	0,006	0,04	0,05	0,04	0,66	139
SAL GW 040	4,1	0,08	133,0	0,015	0,08	0,04	0,13	0,71	409
SAL GW 041	2,4	0,11	234,6	0,042	0,26	0,03	0,15	0,63	544
SAL GW 042	1,4	0,13	166,7	0,027	0,13	0,03	0,11	0,79	484
SAL GW 048	2,3	0,14	168,4	0,024	0,22	0,03	0,14	0,89	475
SAL GW 051	2,5	0,13	161,0	0,026	0,74	0,02	0,28	0,55	1213
SAL GW 059	2,4	0,12	182,9	0,032	0,61	0,02	0,24	0,54	1045
SAL GW 061	2,1	0,12	143,8	0,025	0,54	0,03	0,22	0,74	941
SAL GW 062	2,3	0,13	161,6	0,027	0,57	0,02	0,23	0,65	986
SAL GW 063	2,0	0,10	150,5	0,037	0,19	0,03	0,07	0,71	550
SAL GW 064	1,2	0,11	47,0	0,006	0,04	0,05	0,04	1,24	134
SAL GW 065	1,5	0,11	150,9	0,027	0,24	0,04	0,13	0,55	512
SAL GW 066	1,6	0,11	147,2	0,025	0,27	0,04	0,13	0,53	530
SAL GW 067	2,5	0,20	198,6	0,036	0,22	0,06	0,12	0,52	589
SE 4-2	1,2	0,12	92,0	0,023	0,47	0,08	0,24	0,56	255
SE 5	1,3	0,09	68,2	0,015	0,32	0,07	0,27	0,55	193
VM 2-1	1,4	0,15	109,7	0,024	0,56	0,06	0,20	0,61	382
VM 2-2	1,7	0,10	118,6	0,025	0,21	0,04	0,11	0,97	557
VM 2-3	2,3	0,12	118,4	0,022	0,52	0,03	0,22	0,50	890
VM 2-4	2,4	0,13	142,7	0,024	0,74	0,02	0,27	0,49	1153

## Anlage 7: Schwellenwerte der Grundwasserkörper für ausgewählte Parameter

GWK-Code	As [µg/l]	Cd [µg/l]	Cl [mg/l]	Hg [µg/l]	NH <sub>4</sub> [mg/l]	NO <sub>2</sub> [mg/l]	Pb [µg/l]	PO <sub>4</sub> [mg/l]	SO <sub>4</sub> [mg/l]
4_2103	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
4_2104	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
4_2105	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	444
4_2106	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	436
4_2107	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	459
4_2108	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
4_2109	10,00	0,50	266	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	597
EL 2-1	10,00	0,50	250	0,20	0,71	0,50	10,0	0,50	315
EL 2-2	10,00	0,50	250	0,20	0,69	0,50	10,0	0,50	310
EL 3-1	10,00	0,50	250	0,20	0,52	0,50	10,0	0,50	386
EL 3-2	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
EL 3-3	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
EL 3-4	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
EN 1	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
EN 2	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
EN 3	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	398
HAV_BP_1	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
HAV_DJ_1	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
HAV_NU_2	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
HAV_UH_4	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
HAV_UH_5	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	257
HAV_UH_6	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
HAV_UH_7	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
HAV_UH_8	10,00	0,50	250	0,20	0,64	0,50	10,0	0,50	297
MBA 1	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
MBA 2	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
MBA 3	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
MBA 4	10,00	0,50	250	0,20	0,60	0,50	10,0	0,50	289
MEL_EN_4	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
NI10_1	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
NI10_2	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
NI10_3	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
NI10_4	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
NI10_5	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
NI11_1	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
OT 1	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
OT 2	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
OT 3	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
OT 4	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	406

<b>GWK-Code</b>	<b>As [µg/l]</b>	<b>Cd [µg/l]</b>	<b>Cl [mg/l]</b>	<b>Hg [µg/l]</b>	<b>NH<sub>4</sub> [mg/l]</b>	<b>NO<sub>2</sub> [mg/l]</b>	<b>Pb [µg/l]</b>	<b>PO<sub>4</sub> [mg/l]</b>	<b>SO<sub>4</sub> [mg/l]</b>
<b>OT 5</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
<b>SAL GW 008</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	603
<b>SAL GW 011</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	395
<b>SAL GW 012</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	453
<b>SAL GW 013</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	590
<b>SAL GW 014</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	583
<b>SAL GW 014a</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,65	0,50	10,0	0,50	1090
<b>SAL GW 015</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	400
<b>SAL GW 016</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,64	0,50	10,0	0,50	1079
<b>SAL GW 017</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,52	0,50	10,0	0,50	908
<b>SAL GW 018</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
<b>SAL GW 019</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	424
<b>SAL GW 020</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	427
<b>SAL GW 021</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	482
<b>SAL GW 022</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	525
<b>SAL GW 023</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	364
<b>SAL GW 026_1</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	407
<b>SAL GW 034</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	415
<b>SAL GW 035</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	397
<b>SAL GW 036</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	397
<b>SAL GW 038</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	469
<b>SAL GW 039</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
<b>SAL GW 040</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	409
<b>SAL GW 041</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	544
<b>SAL GW 042</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	484
<b>SAL GW 048</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	475
<b>SAL GW 051</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,74	0,50	10,0	0,50	1213
<b>SAL GW 059</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,61	0,50	10,0	0,50	1045
<b>SAL GW 061</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,54	0,50	10,0	0,50	941
<b>SAL GW 062</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,57	0,50	10,0	0,50	986
<b>SAL GW 063</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	550
<b>SAL GW 064</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
<b>SAL GW 065</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	512
<b>SAL GW 066</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	530
<b>SAL GW 067</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	589
<b>SE 4-2</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	255
<b>SE 5</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	250
<b>VM 2-1</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,56	0,50	10,0	0,50	382
<b>VM 2-2</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,50	0,50	10,0	0,50	557
<b>VM 2-3</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,52	0,50	10,0	0,50	890
<b>VM 2-4</b>	10,00	0,50	250	0,20	0,74	0,50	10,0	0,50	1153

## Anlage 8: Vergleich der aktuellen Hintergrundwerten mit den bisherigen Werten

Tabelle A-5 Vergleich der Hintergrundwerte aktuellen und bisherigen Hintergrundwerte für die Hauptinhaltsstoffe.

BZE	Ca [mg/l]		Cl [mg/l]		HCO <sub>3</sub> [mg/l]		K [mg/l]		Mg [mg/l]		Na [mg/l]		SO <sub>4</sub> [mg/l]	
	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008
<b>1 (GR1 Nord+Süd)</b>	177	94	83,7	46	257	392	7,3	3,1	24,8	12,4	43,1	25	245	114
<b>1 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	387	225	167,2	89	516	281	12,9	6,2	87,5	46,7	104,7	36	695	456
<b>2 (GR1 Nord+Süd)</b>	375	94 - 282	124,5	46 - 300	301	335 - 392	8,4	3,1 - 11,4	37,1	12,4 - 59,9	62,5	25 - 162	315	114 - 530
<b>2 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	195	282	266,5	300	438	335	12,6	11,4	85,5	59,9	165,4	162	597	530
<b>4 (GR1 Nord)</b>	104	90	46,8	42	196	335	3	2,4	10,9	9,1	16	15	129	122
<b>5 (GR1 Nord)</b>	155	100	71,2	32	277	342	4,8	1,5	19,3	14	24,7	10	204	81
<b>6 (GR1 Nord+Süd)</b>	74	208	70,3	130	378	359	5,6	9,7	34,8	47,5	15,1	123	242	512
<b>6 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	322	208	166,3	130	492	359	11,9	9,7	112,7	47,5	148,3	123	683	512
<b>7</b>	311	186	156,2	80	465	468	8,7	5,3	104,3	62,7	55,3	21	613	401
<b>8</b>	193	123	162,5	83	448	451	9,2	8	73,1	43,4	67,1	133	397	182
<b>9</b>	314	206 - 336	126,3	87 - 105	516	341 - 452	12,9	9 - 9,4	84	62 - 70,8	46,7	34 - 149	395	484 - 700
<b>10</b>	370	206 - 336	39,1	87 - 105	387	341 - 452	3,9	9 - 9,4	77	62 - 70,8	26,7	34 - 149	658	484 - 700
<b>11</b>	359	104	123,6	22	459	292	7,9	2,8	89,4	29,6	71,5	11	398	121
<b>12</b>	112	91	31,6	58	225	225	3,3	0,5	15,4	3,9	16,6	11	119	48
<b>13</b>	267	430	141,8	3	246	31	18,8	21,3	64	69	47,6	83	173	3

Tabelle A-6 Vergleich der Hintergrundwerte aktuellen und bisherigen Hintergrundwerte für die Nebeninhaltsstoffe.

BZE	Fe [mg/l]		Mn [mg/l]		NH <sub>4</sub> [mg/l]		NO <sub>2</sub> [mg/l]		PO <sub>4</sub> [mg/l]	
	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008
1 (GR1 Nord+Süd)	4,23	0,03	0,64	0,53	0,39	0,5	0,1	0,04	0,26	0,02
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	1,58	2,91	0,73	0,31	0,07	0,4	0,07	0,05	0,05	0,12
2 (GR1 Nord+Süd)	4,94	0,03 - 0,85	1,05	0,53 - 1,2	0,71	0,5 - 0,9	0,06	0,04 - 0,05	0,19	0,02 - 0,15
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	2,08	0,85	0,95	1,2	0,3	0,9	0,04	0,05	0,16	0,15
4 (GR1 Nord)	3,05	7,45	0,3	0,53	0,21	0,5	0,03	0,03	0,28	0,14
5 (GR1 Nord)	3,67	1,15	0,24	0,22	0,19	0,2	0,02	0,03	0,22	0,17
6 (GR1 Nord+Süd)	3,91	7,42	0,18	0,65	0,13	1,4	0,03	0,05	0,52	0,17
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	3,97	7,42	0,56	0,65	0,53	1,4	0,05	0,05	0,14	0,17
7	0,64	0,11	0,05	0,05	0,08	0,06	0,04	0,05	0,06	0,05
8	1,83	1,41	0,24	0,25	0,14	0,25	0,03	0,05	0,13	0,08
9	1,89	0,03 - 2,5	0,24	0,02 - 0,1	0,25	0,05 - 0,35	0,04	0,05	0,13	0,07 - 0,08
10	0,09	0,03 - 2,5	0,05	0,02 - 0,1	0,05	0,05 - 0,35	0,05	0,05	0,05	0,07 - 0,08
11	0,25	0,06	0,04	0,24	0,05	0,03	0,04	0,05	0,13	0,08
12	0,33	0,03	0,17	0,03	0,04	0,02	0,05	0,05	0,04	0,09
13	2,8	0,03	0,22	0,04	0,05	0,03	0,05	0,02	0,02	

Tabelle A-7 Vergleich der Hintergrundwerte aktuellen und bisherigen Hintergrundwerte für die Spurenstoffe.

BZE	Al [µg/l]		As [µg/l]		B [µg/l]		Cd [µg/l]		Cr [µg/l]		Cu [µg/l]		Hg [µg/l]		Ni [µg/l]		Pb [µg/l]		Zn [µg/l]	
	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008
1 (GR1 Nord+Süd)	12,3	22	1,3	0,5	128,1	50	0,09	0,3	0,5	1	2,4	1	0,025	0,03	2,02	1	0,5	1	16,3	5
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	152,3	5	6	0,9	165,9	140	0,25	0,1	1	1	3,24	1	0,065	0,1	2,5	3	0,46	1	26	118
2 (GR1 Nord+Süd)	25	10 - 22	1	0,5 - 1	114,1	50 - 234	0,2	0,3 - 1	1	1 - 2,5	1,37	1 - 2,5	0,025	0,03 - 0,05	3,34	1 - 4	0,69	1 - 2,5	25,4	5 - 150
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	9,6	10	2,5	1	182,8	234	0,1	1	1	2,5	2,51	2,5	0,05	0,05	2,76	4	0,5	2,5	17	150
4 (GR1 Nord)	9,5	17	1,3	1,1	38,2	25	0,09	0,1	0,09	1	0,53	1	0,003	0,03	2,13	1	0,58	1	16,6	128
5 (GR1 Nord)	12,2	18	0,9	0,6	38,3	25	0,04	0,1	0,06	1	0,58	1	0,005	0,03	1,49	1	0,54	1	11,5	17
6 (GR1 Nord+Süd)	10	5	0,3	4,4	25	209	0,1	1	0,5	2,5	0,5	2,7	0,025	0,3	1	6	0,5	2,5	54,7	142
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	11	5	4,2	4,4	177,2	209	0,1	1	0,5	2,5	4,52	2,7		0,3	7,75	6	0,5	2,5	15,2	142
7	10	6	0,3	0,5	134,4	76	0,1	0,1	0,5	1	1	1	0,025	0,025	2,51	1	0,5	1	16	19
8	10,8	15	2	1,6	135,3	113	0,14	0,3	1	2,5	4,84	5	0,025	0,3	1,44	5	0,98	2,5	32,6	103
9	19,2	5 - 19	1,5	1,8 - 2,8	196	106 - 284	0,1	0,7 - 2,5	0,5	2,5	2,68	2,5 - 37	0,025	0,1 - 0,3	4,03	5 - 12	0,5	4,7 - 20	37,5	50 - 1470
10	23	5 - 19	0,6	1,8 - 2,8	25	106 - 284	0,11	0,7 - 2,5	1	2,5	13,34	2,5 - 37	0,05	0,1 - 0,3	2,5	5 - 12	1,6	4,7 - 20	77	50 - 1470
11	5	9	5,5	1,9	118,8	75	0,05	0,3	0,5	2,5	1	2,5	0,007	0,05	1	2,5	0,5	2,5	23	40
12	23,2	5	0,8	0,25	25		0,1		0,5	1	1	1	0,005	0,025	1,88	1	0,57	0,5	15,1	5
13	81,5		3,6		25		0,18		0,5		2,82	2	0,008		0,5	1	6,71	1	5	5

Tabelle A-8 Vergleich der Hintergrundwerte aktuellen und bisherigen Hintergrundwerte für die physiko-chemischen Parameter.

BZE	AOX [ $\mu\text{g/l}$ ]		DOC [ $\text{mg/l}$ ]		LF [ $\mu\text{S/cm}$ ]		pH [-]		Redox [mV]		O <sub>2</sub> [ $\text{mg/l}$ ]		T [ $^{\circ}\text{C}$ ]	
	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008	2017	2008
<b>1 (GR1 Nord+Süd)</b>	11,3	29	3,8	2,7	1126	447	6,4 - 7,5	6,5 - 7,9	304	426	0,05 - 3,6	0,3 - 2,5	11,1	10,4
<b>1 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	20,5	17	3,8	3,5	2569	1330	6,8 - 7,5	6,5 - 7,4	309	320	1,6 - 8,2	0,2 - 2,5	13,7	11,3
<b>2 (GR1 Nord+Süd)</b>	13,4	22 - 29	3,7	2,7 - 3,3	1149	447 - 2230	6,1 - 7,3	6,5 - 7,9	296	362 - 426	0,1 - 2,8	0,2 - 3,4	11,3	10,4 - 12,5
<b>2 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	14,2	22	3,5	3,3	2404	2230	6,7 - 7,5	6,5 - 7,6	301	362	1 - 6,7	0,2 - 3,5	12,5	12,5
<b>4 (GR1 Nord)</b>	11,6	11	2	2,6	614	620	5,8 - 8,4	6,6 - 7,7	243	260	0,1 - 3,5	0,2 - 0,5	10,9	10,5
<b>5 (GR1 Nord)</b>	8,5	5	2,1	2,2	785	620	6,6 - 7,9	6,9 - 7,7	212	240	0,1 - 2,8	0,2 - 0,7	11,1	10,3
<b>6 (GR1 Nord+Süd)</b>	5	52	1,9	2,8	1240	1614	6,6 - 7,7	6,4 - 7,8	372	249	0,1 - 0,6	0,1 - 1,8	11,6	11,9
<b>6 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	19,6	52	3,1	2,8	2103	1614	6,6 - 7,2	6,4 - 7,8	300	249	0,1 - 3	0,1 - 1,8	11,6	11,9
<b>7</b>	13,8	9	2,2	1,9	1790	1272	6,9 - 7,5	7,0 - 7,3	409	391	0,7 - 6,9	0,2 - 5,0	12	11,5
<b>8</b>	14,1	12	2,5	2,3	1704	1215	6,5 - 7,6	6,9 - 7,6	377	369	0,6 - 6,7	0,2 - 3,0	12,7	12,4
<b>9</b>	13,4	21 - 25	2,4	3,3	1477	694 - 1820	6,8 - 7,5	6,9 - 7,8	357	380 - 455	0,7 - 6,8	0,2 - 10,8	11,1	11 - 12,2
<b>10</b>	5	21 - 25	0,7	3,3	2126	694 - 1820	6,4 - 7,6	6,9 - 7,9	493	380 - 455	3 - 10	0,2 - 10,9	14,5	11 - 12,2
<b>11</b>	12	6	1,9	1,1	2042	695	6,9 - 7,8	6,9 - 7,6	451	428	2,9 - 9,8	2,9 - 9,8	11,1	11,6
<b>12</b>	13,5	5	1,8	2,7	690	4500	6,7 - 7,7	7,5 - 7,6	428	479	5,7 - 10,9	3,0 - 10,6	10	11,5
<b>13</b>	21		4,6		1264	246	6,3 - 7,8	5,5 - 7,5	470		4,6 - 10,4	5,2 - 10,3	11,9	12

## Anlage 9: Zuordnung der Hydrogeologischen Bezugseinheiten mit Untergliederung zu den Hydrogeochemischen Einheiten

Hydrogeologische Bezugseinheiten mit Untergliederung	Hydrogeochemische Einheiten (Name)	Hydrogeochemische Einheiten (ID)
Flussauen und Niederungen (GR 1 Nord+Süd)	Berlin-Brandenburgische Urstrom- und Nebentäler; Mitteldeutsche Urstrom- und Nebentäler; Mittelelbe-Mulde-Niederung	01R13a; 01R13b; 01R13e
Flussauen und Niederungen (GR5+GR8+Saale EZG)	quartäre Sande und Schluffe; quartäre Kiese und Sande, silikatisch	05K1.2; 05K1.3
Flussauen mit Auenlehmdecke (GR 1 Nord+Süd)	Berlin-Brandenburgische Urstrom- und Nebentäler; Mitteldeutsche Urstrom- und Nebentäler; Mittelelbe-Mulde-Niederung	01R13a; 01R13b; 01R13e
Flussauen mit Auenlehmdecke (GR5+GR8+Saale EZG)	quartäre Sande und Schluffe; quartäre Kiese und Sande, silikatisch	05K1.2; 05K1.3
Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR 1 Nord)	Berlin-Brandenburger Jungpleistozän; Nordwestdeutsche Geest; Nordostdeutsches Altmoränengebiet	01R14c; 01R15c; 01R15d
Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR 1 Süd)	Mitteldeutsches Mittelpleistozän	01R15e
Pleistozäne Hochflächen, unbedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)	quartäre Sande und Schluffe; quartäre Kiese und Sande, silikatisch	05K1.2; 05K1.3
Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR 1 Nord)	Berlin-Brandenburger Jungpleistozän; Nordwestdeutsche Geest; Nordostdeutsches Altmoränengebiet	01R14c; 01R15c; 01R15d
Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR 1 Süd)	Mitteldeutsches Mittelpleistozän	01R15e
Pleistozäne Hochflächen, bedeckter GWL (GR5+GR8+Saale EZG)	quartäre Sande und Schluffe; quartäre Kiese und Sande, silikatisch	05K1.2; 05K1.3
Tertiär (GR5+GR8+Saale EZG)	Braunkohlentertiär; tertiäre Sande und Tone	05K2.1; 05K2.2
Muschelkalk	Muschelkalk, karbonatisch-klastisch	05M5.4
Buntsandstein	Buntsandstein; Buntsandstein, tonig-salinär	05M5.6; 05M5.7
Keuper, Jura, Kreide	Kreide silikatisch/karbonatisch; Kreide, vorwiegend silikatisch; Kreide, vorwiegend karbonatisch; Malm, vorwiegend silikatisch/karbonatisch; Dogger; Lias; Keuper, klastisch; Keuper, sulfatisch	05M3.1; 05M3.2; 05M3.3; 05M4.2; 05M4.4; 05M4.5; 05M5.2; 05M5.3
Zechstein	Zechstein, ungegliedert (chloridisch, karbonatisch, sulfatisch)	05M6.1
Permokarbon	Rotliegend Klastite; Ganggesteine des Karbon; Rotliegend Vulkanite, sauer bis intermediär; Rotliegend Vulkanite, basisch bis intermediär; Vulkanite und Sedimente des Rotliegend	08P2; 08P8; 08V2; 08V3; 08V4
Altpaläozoikum	paläozoische Karbonate; paläozoische Schiefer und Sandsteine; paläozoische Sandsteine und Quarzite; paläozoische saure Ganggesteine; paläozoische Metamorphite; karbonische Ton- bis Sandsteine; Paläozoikum ohne Perm schwach metamorph (Phyllite, Grauwacken, Tonschiefer)	08P10; 08P11; 08P13; 08P14; 08P17; 08P5; 09P1.1
Saure Magmatite	paläozoische saure Magmatite; paläozoische saure Vulkanite; Metamorphite/Magmatite, sauer (Gneis, Glimmerschiefer, Granulit, Quarzit, Granit)	08P15; 08V5; 09P1.3
Basische Magmatite	paläozoische basische Magmatite; paläozoische basische Vulkanite	08P16; 08V6
Anthropogen verändert (Tagebau beeinflusst)	Quartär, anthropogen (Tagebaubereiche)	11K1

## Anlage 10: Vergleich der aktuellen Hintergrundwerte mit den Werten auf Bundesebene

Tabelle A-9 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die Hauptinhaltsstoffe.

BZE	Ca [mg/l]		Cl [mg/l]		HCO <sub>3</sub> [mg/l]		K [mg/l]		Mg [mg/l]		Na [mg/l]		SO <sub>4</sub> [mg/l]	
	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund
<b>1 (GR1 Nord+Süd)</b>	177	116 - 143	83,7	61,5 - 91,6	257	170 - 356	7,3	3,84 - 9,32	24,8	20,5 - 25,2	43,1	29,8 - 45,7	245	160 - 270
<b>1 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	387	255 - 365	167,2	96,1 - 126	516	363 - 399	12,9	8,97 - 19,8	87,5	25,2 - 84,7	104,7	42,7 - 191	695	345 - 716
<b>2 (GR1 Nord+Süd)</b>	375	116 - 143	124,5	61,5 - 91,6	301	170 - 356	8,4	3,84 - 9,32	37,1	20,5 - 25,2	62,5	29,8 - 45,7	315	160 - 270
<b>2 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	195	255 - 365	266,5	96,1 - 126	438	363 - 399	12,6	8,97 - 19,8	85,5	25,2 - 84,7	165,4	42,7 - 191	597	345 - 716
<b>4 (GR1 Nord)</b>	104	97,9 - 136	46,8	61,4 - 70	196	207 - 331	3	4,45 - 6,47	10,9	13,9 - 18,8	16	26,2 - 30,9	129	113 - 172
<b>4 (GR1 Süd)</b>	249	261	72,3	108	274	356	7,3	11,8	37,4	47,1	32,9	62,7	416	644
<b>4 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	340	255 - 365	147,7	96,1 - 126	474	363 - 399	11,9	8,97 - 19,8	85,2	25,2 - 84,7	85,5	42,7 - 191	619	345 - 716
<b>5 (GR1 Nord)</b>	155	97,9 - 136	71,2	61,4 - 70	277	207 - 331	4,8	4,45 - 6,47	19,3	13,9 - 18,8	24,7	26,2 - 30,9	204	113 - 172
<b>5 (GR1 Süd)</b>	258	261	81	108	394	356	7,9	11,8	48	47,1	32,6	62,7	454	644
<b>5 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	327	255 - 365	174,5	96,1 - 126	401	363 - 399	12	8,97 - 19,8	77,9	25,2 - 84,7	85	42,7 - 191	574	345 - 716
<b>6 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	322	247 - 364	166,3	115 - 121	492	249 - 451	11,9	12,9 - 13,3	112,7	53,7 - 59,1	148,3	36,7 - 105	683	594 - 785
<b>7</b>	311	221	156,2	69,3	465	434	8,7	6,58	104,3	74,1	55,3	24,7	613	357 - 357
<b>8</b>	193	157 - 178	162,5	48,5 - 63,5	448	341 - 445	9,2	5,86	73,1	43,6 - 101	67,1	28,3 - 30,5	397	289 - 452
<b>9</b>	314	117 - 770	126,3	43,9 - 135	516	372 - 423	12,9	3,39 - 28,8	84	21,6 - 169	46,7	21,3 - 505	395	126 - 2950
<b>10</b>	370	211	39,1	72,6	387	388	3,9	5,63	77	68,8	26,7	26,1	658	710
<b>11</b>	359	137	123,6	63,3	459	501	7,9	8,62	89,4	47,7	71,5	43,2 - 43,2	398	156
<b>12</b>	112	58,8 - 137	31,6	72,7	225	197 - 418	3,3	2,12 - 8,35	15,4	14,5 - 33,3	16,6	12,5 - 24,5	119	45,9 - 111
<b>13</b>	267	31	141,8	26,8	246	51,5	18,8	2,55	64	8,07	47,6		173	45,5

Tabelle A-10 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die Nebeneinhaltsstoffe (Teil 1).

BZE	F [mg/l]		Fe [mg/l]		Mn [mg/l]		NH <sub>4</sub> [mg/l]		PO <sub>4</sub> [mg/l]	
	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund
1 (GR1 Nord+Süd)	0,2	0,206 - 0,274	4,23	6,2 - 23,2	0,64	0,787 - 1,7	0,39	0,883 - 1,02	0,26	0,239 - 0,557
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,49	0,307 - 0,363	1,58	3,12 - 8,34	0,73	0,907 - 1,71	0,07	0,247 - 1,96	0,05	0,337 - 0,383
2 (GR1 Nord+Süd)	0,2	0,206 - 0,274	4,94	6,2 - 23,2	1,05	0,787 - 1,7	0,71	0,883 - 1,02	0,19	0,239 - 0,557
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,34	0,307 - 0,363	2,08	3,12 - 8,34	0,95	0,907 - 1,71	0,3	0,247 - 1,96	0,16	0,337 - 0,383
4 (GR1 Nord)	0,11	0,198 - 0,228	3,05	2,5 - 8,44	0,3	0,41 - 0,516	0,21	0,373 - 0,695	0,28	0,178 - 0,418
4 (GR1 Süd)	0,22	0,274	2,2	19,5	0,27	1,09	0,08	0,876	0,07	0,244
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,28	0,307 - 0,363	1,65	3,12 - 8,34	0,49	0,907 - 1,71	0,13	0,247 - 1,96	0,08	0,337 - 0,383
5 (GR1 Nord)	0,14	0,198 - 0,228	3,67	2,5 - 8,44	0,24	0,41 - 0,516	0,19	0,373 - 0,695	0,22	0,178 - 0,418
5 (GR1 Süd)	0,2	0,274	2,69	19,5	0,49	1,09	0,17	0,876	0,13	0,244
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,36	0,307 - 0,363	1,6	3,12 - 8,34	0,23	0,907 - 1,71	0,17	0,247 - 1,96	0,04	0,337 - 0,383
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,08	0,36	3,97	37,5 - 42,8	0,56	1,34 - 1,55	0,53	1,08 - 2,57	0,14	0,0846 - 0,106
7	0,51	0,445	0,64	0,384	0,05	0,0555	0,08	0,117	0,06	-
8	0,3	0,236 - 0,276	1,83	1,14 - 2,48	0,24	0,356 - 0,538	0,14	0,224	0,13	0,461
9	0,49	0,414 - 0,824	1,89	1,16 - 3,3	0,24	0,0975 - 17,5	0,25	0,288 - 20,3	0,13	0,0391 - 0,299
10	0,4	0,579	0,09	3,15	0,05	0,396	0,05	0,341 - 0,341	0,05	0,13
11	0,3	0,264	0,25	0,695 - 0,695	0,04	0,383	0,05	0,0911	0,13	
12	0,24	0,197 - 0,504	0,33	0,188 - 2,06	0,17	0,271 - 0,517	0,04	0,0424 - 49,9	0,04	0,0526
13	0,42	0,221	2,8	0,109	0,22	0,057	0,05	0,0111	0,02	0,107

Tabelle A-11 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die Spurenstoffe (Teil 1).

BZE	Ag [µg/l]		Al [µg/l]		As [µg/l]		B [µg/l]		Ba [µg/l]		Bi [µg/l]		Br [mg/l]		Cd [µg/l]	
	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund
<b>1 (GR1 Nord+Süd)</b>	0,05	0,282	12,3	243 - 321	1,3	2,75 - 5,3	128,1	127 - 174	102,1	87,2 - 135	0,003		0,02	0,205	0,09	0,223 - 1,08
<b>1 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>			152,3	45,5 - 171	6	1,73 - 3,57	165,9	302 - 542	78,5	79,9 - 123				0,216	0,25	0,174
<b>2 (GR1 Nord+Süd)</b>	0,05	0,282	25	243 - 321	1	2,75 - 5,3	114,1	127 - 174	130,2	87,2 - 135				0,205	0,2	0,223 - 1,08
<b>2 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	0,05		9,6	45,5 - 171	2,5	1,73 - 3,57	182,8	302 - 542	54,3	79,9 - 123			0,195	0,216	0,1	0,174
<b>4 (GR1 Nord)</b>	0,01		9,5	20,3 - 443	1,3	2,12 - 3,22	38,2	63,9 - 138	80,2	106 - 121	0,003		0,071	0,141	0,09	0,078 - 0,837
<b>4 (GR1 Süd)</b>	1,05	0,184	14	87,3	2,5	1,43	151,9	214	50,7	113				0,0551	0,1	1,47
<b>4 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	0,05		5	45,5 - 171	2,7	1,73 - 3,57	157,6	302 - 542	73,8	79,9 - 123				0,216	0,25	0,174
<b>5 (GR1 Nord)</b>	0,01		12,2	20,3 - 443	0,9	2,12 - 3,22	38,3	63,9 - 138	84,9	106 - 121	0,003		0,059	0,141	0,04	0,078 - 0,837
<b>5 (GR1 Süd)</b>	0,05	0,184	30,1	87,3	1,5	1,43	161,6	214	73,6	113				0,0551	0,1	1,47
<b>5 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	0,05		10,1	45,5 - 171	2	1,73 - 3,57	114,7	302 - 542	61	79,9 - 123			0,185	0,216	0,1	0,174
<b>6 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	0,05		11	163	4,2	3,11 - 4,13	177,2	98,6 - 98,8	105,5	101 - 149				0,105	0,1	0,185 - 2,44
<b>7</b>	0,05		10		0,3	0,363	134,4	188	53,8	106				0,0709	0,1	0,0185
<b>8</b>	0,05		10,8	174	2	1,58 - 6,43	135,3	57,2 - 97,3	142,2	153 - 353		0,00556	0,291		0,14	0,149
<b>9</b>	0,05		19,2	19,3 - 567	1,5	0,312 - 2,97	196	76,3 - 518	57,7	72 - 519		0,00677		0,0729 - 0,0863	0,1	0,0753 - 3,15
<b>10</b>	0,05		23		0,6	7,36 - 7,36	25	228	29,2	162			0,043	0,56	0,11	0,0915
<b>11</b>	0,05		5	44,9	5,5	2,01	118,8		250	361			0,365		0,05	1,59
<b>12</b>	0,05		23,2	42,3 - 132	0,8	0,885 - 4,23	25	11,4 - 147	38,2	38,3 - 165		0,0285		0,0421	0,1	0,0563 - 0,574
<b>13</b>	0,04	0,0347	81,5	50,1	3,6	0,849	25	10,5 - 10,5	129,4	60,7		0,00535		0,0323	0,18	0,229

Tabelle A-12 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die Spurenstoffe (Teil 2).

BZE	Co [µg/l]		Cr [µg/l]		Cu [µg/l]		Hg [µg/l]		Li [µg/l]		Mo [µg/l]		Ni [µg/l]		Pb [µg/l]	
	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund
<b>1 (GR1 Nord+Süd)</b>	0,97	1,59 - 6,17	0,5	0,247 - 2,65	2,4	0,671 - 5,33	0,025	0,0506	1,7	14	0,73	0,256 - 1,31	2,02	1,31 - 12,1	0,5	0,147 - 3
<b>1 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	1,58	1,3	1	2 - 3,2	3,24	8,65 - 9,93	0,065			21,6	3,37		2,5	5,05 - 13,1	0,46	1,15 - 7,38
<b>2 (GR1 Nord+Süd)</b>	1,61	1,59 - 6,17	1	0,247 - 2,65	1,37	0,671 - 5,33	0,025	0,0506		14	0,5	0,256 - 1,31	3,34	1,31 - 12,1	0,69	0,147 - 3
<b>2 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	0,67	1,3	1	2 - 3,2	2,51	8,65 - 9,93	0,05			21,6	1,25		2,76	5,05 - 13,1	0,5	1,15 - 7,38
<b>4 (GR1 Nord)</b>	0,81	1,59 - 7,06	0,09	0,147 - 1,4	0,53	0,766 - 2,26	0,003	0,000629	6,2		0,16	0,23 - 1,98	2,13	1,34 - 21	0,58	0,14 - 1,38
<b>4 (GR1 Süd)</b>	4,16	3,54	0,5	3,94	1	3,9	0,018	0,125			0,5	0,846	9,48	7,38	0,5	1,52
<b>4 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	16	1,3	0,5	2 - 3,2	1	8,65 - 9,93	0,025			21,6	3,25		7,06	5,05 - 13,1	0,5	1,15 - 7,38
<b>5 (GR1 Nord)</b>	0,38	1,59 - 7,06	0,06	0,147 - 1,4	0,58	0,766 - 2,26	0,005	0,000629	8,4		0,8	0,23 - 1,98	1,49	1,34 - 21	0,54	0,14 - 1,38
<b>5 (GR1 Süd)</b>	0,5	3,54	1	3,94	1,2	3,9	0,01	0,125			0,84	0,846	2,5	7,38	1,3	1,52
<b>5 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	0,5	1,3	0,5	2 - 3,2	2,81	8,65 - 9,93	0,05			21,6	1,9		2,97	5,05 - 13,1	0,5	1,15 - 7,38
<b>6 (GR5+GR8+Saale EZG)</b>	7,98	7,03	0,5	6,6 - 11,5	4,52	5,05 - 16		0,0902			0,5		7,75	17,8 - 20,3	0,5	2,98 - 13,6
<b>7</b>	0,1	0,453	0,5	1,22	1	5,19	0,025	0,0155		26,5	0,85		2,51		0,5	0,497 - 0,497
<b>8</b>	0,48	1	1	2,03	4,84	7,77 - 22,3	0,025			33,1	1	6,2	1,44		0,98	1,21
<b>9</b>	0,5	0,276 - 1,59	0,5	1 - 9,57	2,68	3,4 - 14	0,025	0,0167 - 0,0252	15,1 - 63,4	1,5			4,03	6,03 - 41	0,5	1,09 - 2,49
<b>10</b>	0,1		1	6,43	13,34	29,6 - 29,6	0,05			81,8	4,85		2,5		1,6	2,55
<b>11</b>	0,1		0,5	2,43	1	-	0,007				5,7		1	5,72	0,5	3,72
<b>12</b>	0,52	0,848 - 18,3	0,5	0,301 - 3,61	1	5,48 - 13,7	0,005	0,289		3,67	0,5	0,467 - 3,31	1,88	15,6	0,57	0,291 - 3,79
<b>13</b>	0,12	0,283	0,5	0,554	2,82	3,36	0,008	0,115		8,99	0,77	0,103	0,5	5,05	6,71	0,341

Tabelle A-13 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die Spurenstoffe (Teil 3).

BZE	Sb [µg/l]		Se [µg/l]		SiO <sub>2</sub> [mg/l]		Sn [µg/l]		Sr [mg/l]		Tl [µg/l]		U [µg/l]		V [µg/l]		Zn [µg/l]	
	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund
1 (GR1 Nord+Süd)	0,5	0,151	0,48	0,197	15,2	22,2 - 26,6	0,02			0,59	0,1	0,0479 - 0,0501	0,42	0,169 - 0,392	0,82	1,27 - 2,91	16,3	2,97 - 80,8
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,5		0,81	2,82	15,8	11,7 - 18,8			5,45	2,74	0,043		1,44	11,2 - 14,7	2,73	4,36	26	9,25 - 54,6
2 (GR1 Nord+Süd)	0,5	0,151	0,46	0,197	21,2	22,2 - 26,6				0,59	0,1	0,0479 - 0,0501	0,18	0,169 - 0,392	0,72	1,27 - 2,91	25,4	2,97 - 80,8
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	2,5		1,35	2,82		11,7 - 18,8			5,83	2,74	0,1		5,4	11,2 - 14,7	1,04	4,36	17	9,25 - 54,6
4 (GR1 Nord)	0,5	0,0952 - 0,123	0,1	0,258 - 0,352	15,8	19 - 24,5	0,02				0,008	0,0112 - 0,0655	0,19	0,25 - 2,31	0,39	0,75 - 1,78	16,6	2,07 - 43,8
4 (GR1 Süd)	0,5	1,61	0,81	1,89	19,5	21,7				0,874	0,1	0,0583	0,3	0,994	0,8	3,79	18,4	34,2
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	0,5		2,09	2,82		11,7 - 18,8				2,74	0,1		2,1	11,2 - 14,7	0,73	4,36	40,1	9,25 - 54,6
5 (GR1 Nord)	0,5	0,0952 - 0,123	0,03	0,258 - 0,352	14,5	19 - 24,5	0,02				0,003	0,0112 - 0,0655	0,34	0,25 - 2,31	0,35	0,75 - 1,78	11,5	2,07 - 43,8
5 (GR1 Süd)	0,5	1,61	0,4	1,89	18,8	21,7				0,874	0,1	0,0583	1,7	0,994	0,4	3,79	39,2	34,2
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	1		2,02	2,82	11,3	11,7 - 18,8				2,74	0,1		5,5	11,2 - 14,7	1	4,36	29,1	9,25 - 54,6
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	1		0,45			19,1 - 24				0,959 - 1,46	0,1		1,12		2,18		15,2	50,2 - 126
7	1		1,09	1	10,9	12,8	0,5			6,54	0,1		5,59	3,2	0,97	1,2	16	120
8	1		0,87	0,582	16,3	20,6	1,63		7,82	0,0102 - 0,957	0,1		7,74	9,65 - 10,9	0,71	1,57	32,6	58,8 - 120
9	0,7	0,0263 - 0,112	1,62	0,943 - 2,77	13,3	9,48 - 26,2	0,5	0,175 - 0,866		0,319 - 6,09	0,1		4,61	7,59 - 9,25	1,3		37,5	20,8 - 248
10	2,5		7,39			15,1			1,16	5,86	0,111		8,5	9,62	0,51	0,807	77	289
11	1		1,82			20,7	16,83				0,1		9,42		6,2		23	100
12	1	0,0882 - 0,957	0,5	0,532 - 5,02		7,15 - 66,1	25	0,0417		0,233	0,1	0,0427 - 0,134	0,84	0,259 - 2,15	1	0,609 - 2,15	15,1	50,4 - 235
13	0,6	0,0182	0,79	0,416		24,3		0,0766		0,151	0,106	0,00604	0,93	0,49	0,29	0,428	5	15,5

Tabelle A-14 Vergleich der Hintergrundwerte auf Landes- und Bundesebene für die physiko-chemischen Parameter.

BZE	LF [ $\mu\text{S}/\text{cmI}$ ]		GH [ $\text{dH}^\circ$ ]		pH [-]	
	Land	Bund	Land	Bund	Land	Bund
1 (GR1 Nord+Süd)	1126	724 - 976	24		7,5	7,3 - 7,96
1 (GR5+GR8+Saale EZG)	2569	1410 - 2620	79,5		7,5	7,67 - 7,87
2 (GR1 Nord+Süd)	1149	724 - 976	37,9		7,3	7,3 - 7,96
2 (GR5+GR8+Saale EZG)	2404	1410 - 2620	56,8		7,5	7,67 - 7,87
4 (GR1 Nord)	614	578 - 735	16,8		8,4	7,62 - 8,1
4 (GR1 Süd)	1285	1370	39,8		7,1	7,7
4 (GR5+GR8+Saale EZG)	2329	1410 - 2620	70,8		7,4	7,67 - 7,87
5 (GR1 Nord)	785	578 - 735	21,2		7,9	7,62 - 8,1
5 (GR1 Süd)	1528	1370	46,2		7,5	7,7
5 (GR5+GR8+Saale EZG)	2116	1410 - 2620	61,6		7,3	7,67 - 7,87
6 (GR5+GR8+Saale EZG)	2103	1640 - 1700	78,8		7,2	7,56 - 7,86
7	1790	1510	63	18,9	7,5	7,7
8	1704	1280 - 1550	47,7	8,76	7,6	7,64 - 7,76
9	1477	805 - 2190	45,5	36,4 - 52,2	7,5	7,45 - 8,09
10	2126	1420	96,8		7,6	7,76
11	2042	1250	42,7		7,8	7,8
12	690	363 - 1180	24,2		7,7	7,31 - 7,76
13	1264	252	36,9		7,8	6,64