

Studien und Tagungsberichte, Schriftenreihe – ISSN 0948-0838

Herausgeber:
Landesumweltamt Brandenburg (LUA)
Berliner Straße 21–25
14467 Potsdam
Tel.: 0331-23 23 259
Fax: 0331-29 21 08
E-mail: infoline@lua.brandenburg.de

Band 41
Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit 1995–2000
im Land Brandenburg

Bearbeitung:
Im Auftrag des LUA, Abteilung Gewässerschutz und Wasserwirtschaft durch
HYDOR Consult GmbH Berlin, Dipl.-Geol. Dr. Stephan Hannappel
FUGRO Consult GmbH Berlin, Dipl.-Ing. Frauke Jakobs

Endredaktion:
LUA, Abt. W, Referat W 5 unter Mitwirkung der Regionaldezernate
W 8.3, W 9.3 und W 10.3
Potsdam, im November 2002

Gesamtherstellung: Digital & Druck, Inh. Matthias Greschow
03119 Welzow

Schutzgebühr 7 EUR

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Der Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.



Bericht zur Grundwasser- beschaffenheit 1995–2000 für das Land Brandenburg

Studien und Tagungsberichte
Band 41



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



Inhalt

Seite

Zusammenfassung	4
Abkürzungen	5
1 Einleitung	6
2 Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit in Brandenburg	6
2.1 Konzeption des informationsorientierten Grundwasser-Monitorings	7
2.2 Klimatische Bedingungen	8
2.3 Flusseinzugsgebiete und hydrogeologische Struktureinheiten	9
2.4 Entwicklung des Messstellenbestandes seit 1992	10
2.5 Regionale Verteilung der Messstellen des Basismessnetzes	11
2.6 Hydrogeologische Charakterisierung des Messnetzes	11
2.7 Technische Organisation des Grundwasser-Monitorings	13
2.8 Konzeption und Betrieb des Sondermessnetzes Nitrat	14
3 Prüfung der Analysenergebnisse	14
3.1 Vorbemerkungen	14
3.2 Behandlung von Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze	14
3.3 Plausibilitätsgrenzen zur Erkennung von Ausreißern	15
3.4 Plausibilität von Einzelwerten einer Messstelle	15
3.5 Plausibilität von Grundwasseranalysen (Ionenbilanz)	17
4 Bewertung der Analysenergebnisse	19
4.1 Statistische Maßzahlen der hydrochemischen Messgrößen	19
4.1.1 Basismessnetz	19
4.1.2 Sondermessnetz Nitrat	19
4.2 Häufigkeitsverteilungen und Spannweiten ausgewählter Messgrößen des Basismessnetzes	19
4.3 Hydrochemische Charakterisierung ausgewählter brandenburgischer Grundwässer	24
4.4 Überschreitung von Grenzwerten nach Trinkwasserverordnung	27
4.4.1 Basismessnetz	27
4.4.2 Sondermessnetz Nitrat	30
4.5 Beeinflussungstypen der Grundwasserbeschaffenheit	30
5 Regionale Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit	32
5.1 Grundwasserbeschaffenheit innerhalb der oberirdischen Flusseinzugsgebiete	32
5.1.1 Allgemeine Milieuparameter der Grundwasserbeschaffenheit	32
5.1.2 Hauptinhaltsstoffe	35
5.1.3 Nebeninhaltsstoffe und Spurenelemente	36
5.2 Potenzielle Belastungsschwerpunkte	40
5.3 Sauerstoffverhältnisse im oberflächennahen Grundwasser	44
Literaturverzeichnis	48
Anhang	
1 Messstellen des Basis- und des Nitratmessnetzes – Übersichtskarte	50
2 Hydrogeologische Struktureinheiten mit den Messstellen des Basismessnetzes – Übersichtskarte	52
3 Bearbeitungsgebiete nach EU-WRRL mit den Messstellen des Basismessnetzes – Übersichtskarte	54
4 Anzahl der von 1995 bis 2000 analysierten Einzelwerte pro Parameter	56
5 Statistische Kennwerte des Basismessnetzes / Nitratmessnetzes	59

Zusammenfassung

Die regionale Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit erfolgt im Land Brandenburg auf der Grundlage der Messnetzkonzeption zum Grundwasser-Monitoring, Teil Beschaffenheit. In Anlehnung an Vorgaben der LAWa wird ein landesweites Basismessnetz (Stand bei Herbstbeprobung 2000 : 188 Messstellen) und ein Sondermessnetz Nitrat (Herbstbeprobung 2000 : 11 Messstellen) betrieben.

Die in vorliegendem Bericht dokumentierten Ergebnisse basieren auf den Daten beider Messnetze. Die Veränderungen werden hinsichtlich ihrer Ursachen betrachtet und in den zeitlichen Kontext zu dem 1996 erschienenen „Grundwasser-gütebericht 1992 bis 1995“ gestellt, der die Messwerte bis einschließlich der Frühjahrsbeprobung 1995 einbezog. Die nunmehr bewerteten Daten umfassen den Zeitraum von der Frühjahrsbeprobung 1995 bis einschließlich der Herbstbeprobung 2000 und wurden überwiegend an Messstellen erhoben, die seit 1995 neu errichtet worden sind. Die Neubaumaßnahmen erfolgten auf Grundlage der letztmalig 1998 fortgeschriebenen Messnetzkonzeption.

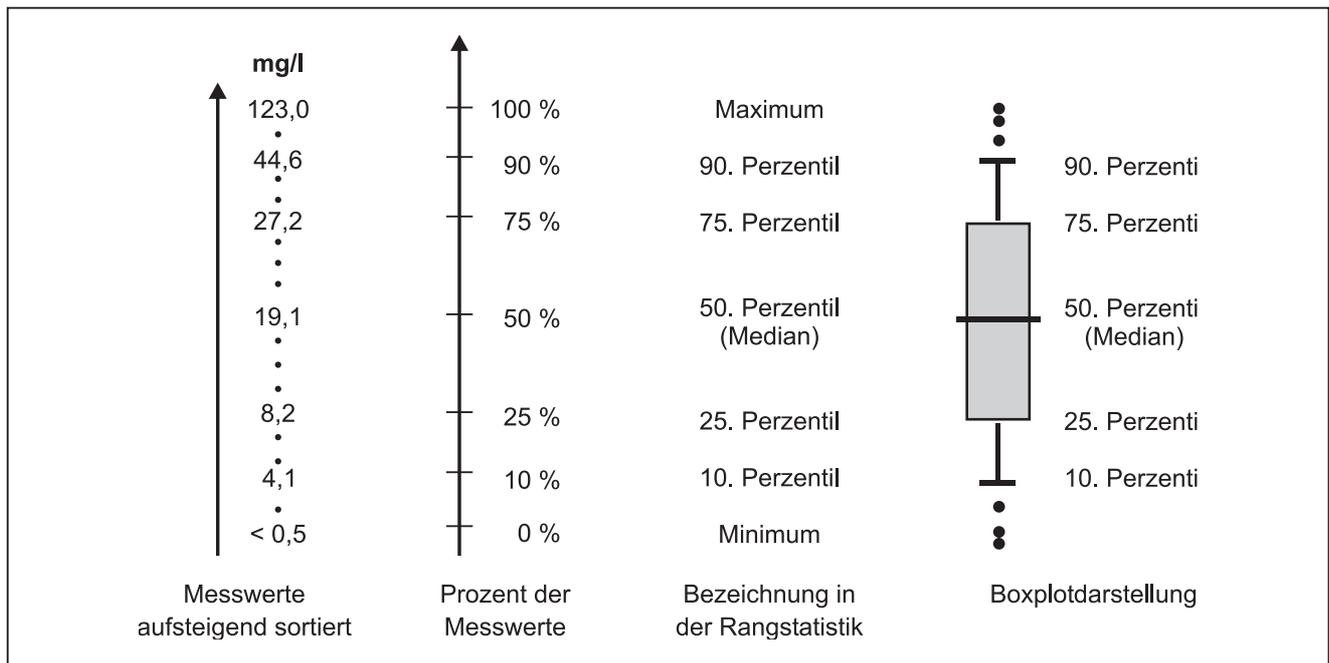
Die Analysenergebnisse werden im regionalen Zusammenhang mit den Bearbeitungsgebieten bewertet, die im Rahmen der Umsetzung der EU-WRRl für das Land Brandenburg festgelegt wurden. Die Bearbeitungsgebiete entsprechen oberirdischen Flussteileinzugsgebieten 2. bzw. 3. Ordnung und werden auch als „Grundwasserkörper“ bezeichnet. In Übersichtskarten werden mit Bezug auf die Bearbeitungsgebiete die für den Berichtszeitraum berechneten Mittelwerte hydrochemischer Parameter von Proben der oberflächennahen Grundwassermessstellen dargestellt. Dabei wird deutlich, dass bei den Parametern Ammonium und Kalium in vielen Gebieten hohe bis sehr hohe, hingegen bei Sauerstoff überwiegend sehr

geringe Gehalte auftreten. Nitrat kommt im Grundwasser Brandenburgs meistens nur in sehr geringen Konzentrationen vor oder ist nicht zu quantifizieren. Für die Messstellen des Nitratmessnetzes treffen die Aussagen hinsichtlich dieser Parameter nur bedingt zu.

Einflüsse auf die Grundwasserbeschaffenheit werden mittels eines Algorithmus bewertet und anhand der Messdaten interpretiert. Die anteilmäßige Verteilung von definierten „Beeinflussungstypen“ wird für die Messstellen des Basismessnetzes grafisch dargestellt und erläutert. Danach sind gegenwärtig nur knapp die Hälfte (44 %) der Messstellen als frei von anthropogenen oder geogenen Beeinflussungen einzustufen, während etwa jede vierte Messstelle (24 %) Anzeichen einer „diffusen Beeinflussung“ aufweist. Die Grundwässer Brandenburgs sind vielfach durch Nährstoffeinträge in ländlichen Gebieten beeinträchtigt.

Aufgrund der vorgefundenen Situation im oberflächennahen Grundwasser Brandenburgs wird das LUA zukünftig beim Monitoring den zeitlichen Verlauf von anthropogenen bzw. natürlichen GW-Beeinträchtigungen oder diesbezügliche Anzeichen mit besonderem Augenmerk beobachten. Dazu sollte der komplette Messstellenbestand des Basis- und des Sondermessnetzes „Nitrat“ mit dem gegenwärtigen Untersuchungsturnus (jährliche Probenahmekampagnen im Frühjahr und Herbst) einbezogen werden. Ende 2005 würde dann ein Datenbestand vorliegen, der Trendermittlungen an den einzelnen Messstellen erlaubt. Entsprechend der Einzugsgebiete der Messstellen könnten somit genauere Aussagen zur Realisierung eines flächendeckenden Grundwasserschutzes, z.B. im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie, getroffen werden.

Erläuterungen zur Rangstatistik und zu den Boxplotdarstellungen



(aus: LfU 2001; vgl. Erläuterungen im Text zu Abb. 4.2)

Abkürzungen

°dH	Grad deutscher Härte	LGRB	Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg
AOX	adsorbierbare, organisch gebundene Halogenverbindungen	LHKW	leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
BG	Bestimmungsgrenze	LUA	Landesumweltamt Brandenburg
DIN	Deutsche Industrie-Norm	mmol/l eq	Äquivalentkonzentration
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau	MKZ	Messstellenkennzahl
El. Lf.	Elektrische Leitfähigkeit	MLUR	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Raumordnung Brandenburg
EU-WRRRL	Wasser-Rahmenrichtlinie der Europäischen Union	MW	arithmetischer Mittelwert
FEG	Flusseinzugsgebiet	n.n.	nicht nachweisbar
FiOk/FiUk	Filterober-/unterkante	L bzw. H	Leiter/Hemmer (nach der hydrostratigrafischen Gliederung, MANHENKE ET AL. 2001)
GH	Gesamthärte	NN	Normal Null
GOK	Geländeoberkante	NaHCO ₃	Natriumhydrogencarbonat
GWLK	Grundwasserleiterkomplex	O ₂	gelöster Sauerstoff
HK50	hydrogeologisches Kartenwerk der DDR, Maßstab 1: 50 000	PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
HyRA	hydrogeologisch relevante Aufschlüsse	PSM	Pflanzenschutzmittel
KH	Karbonathärte	TOC	total organic carbon (gesamter organischer Kohlenstoff)
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser	TrinkwV	Trinkwasserverordnung
		UBA	Umweltbundesamt

1 Einleitung

Wasser ist das wichtigste Lebensmittel für den Menschen und eine grundlegende Einflussgröße auf die Dynamik der Ökosysteme. Für Wasser gibt es grundsätzlich keinen Ersatz, nicht in der Natur und nicht durch den Menschen. Es zählt zum kritischen Umweltkapital und darf weder überbeansprucht noch in seiner Beschaffenheit übermäßig beeinflusst werden.

Grundwasser dient in Brandenburg zudem als Quelle einer stabilen Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser, da dieses ausschließlich aus Grundwasser gewonnen wird. Mit seinen ca. 33.000 km Fluss- und Bachläufen und fast 3.000 Seen über einem Hektar Größe ist Brandenburg zwar das oberflächenwasserreichste Bundesland Deutschlands (LUA 2001). Dennoch hat es mit seinem kontinental beeinflussten Klima ein vergleichsweise geringes Wasserdargebot. Die durchschnittlichen Niederschläge liegen mit 550–650 mm/a im Vergleich zu den alten Bundesländern um rund 200 mm/a niedriger.

Zum geringen Wasserdargebot Brandenburgs tragen aber nicht nur die zunehmend trockeneren Frühjahre wie das des Jahres 2000 oder die extrem trockenen Sommer der Jahre 1992, 1997 und 1998 bei (MLUR 2001). Die angespannte hydrologische Situation wird durch menschliche Eingriffe (aktuelle Bergbaumaßnahmen) verstärkt. Um bereits spürbare ökologische und ökonomische Auswirkungen zu begrenzen bzw. ihnen entgegen zu wirken, bedarf es einer gezielten wasserhaushaltlichen Planung und Bewirtschaftung sowie eines konsequenten Gewässerschutzes. Dieser ist nur auf der Grundlage verlässlicher

Prognosen und daraus abgeleiteter Handlungsempfehlungen möglich. Die Erarbeitung solcher Prognosen ist an dafür geeignete informelle Grundlagen in Form von Monitoring-Programmen gebunden. Dieses „informations-orientierte“ Grundwasser-Monitoring (s. Kap. 2) hat zum Ziel, Abweichungen zu den aus den hydrogeologischen Standortgegebenheiten abgeleiteten geogenen Hintergrundgehalten der Grundwasserbeschaffenheit festzustellen. Diese wurden in Brandenburg mit dem „Basisbericht zur Grundwassergüte“ (LUA 1996b) veröffentlicht.

Der hier vorgelegte Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit in Brandenburg basiert auf den Messdaten des landesweiten Basismessnetzes zum Grundwasser-Monitoring sowie des Sondermessnetzes Nitrat (LAWA 2000). Die vorgefundenen Veränderungen sollen hinsichtlich ihrer Ursachen analysiert und in den zeitlichen Zusammenhang mit dem 1996 erschienenen „Grundwassergütebericht 1992 bis 1995“ (LUA 1996c) gestellt werden. Dieser umfasste die Messwerte bis einschließlich der Frühjahrsbeprobung 1995. Die hier bewerteten Daten umfassen den Zeitraum von der Frühjahrsbeprobung 1995 bis einschließlich der Herbstbeprobung 2000 und wurden überwiegend an Messstellen erhoben, die seit 1995 neu gebaut worden sind. Der Neubau geschah auf Grundlage der letztmalig 1998 fortgeschriebenen Messnetzkonzeption (UWG 1993, LUA 1996A, FUGRO 1998). Diese soll mit den nun bewerteten Daten erneut geprüft, gegebenenfalls modifiziert und fortgeschrieben werden.

2 Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit in Brandenburg

Die regionale Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit erfolgt im Land Brandenburg auf der Grundlage der 1993 erstmalig erstellten und seitdem kontinuierlich fortgeschriebenen Messnetzkonzeption zum Grundwasser-Monitoring, Teil Beschaffenheit (s. Kap. 1).

Dabei wird das in Deutschland zumeist hoheitlich betriebene informationsorientierte Grundwasser-Monitoring betrachtet, welches sich von dem entscheidungsorientierten Grundwasser-Monitoring nach der Definition des Dresdner Grundwasserforschungszentrums (LAUTERBACH & LUCKNER 1999) bezüglich seiner Bestimmtheit und Zeitnähe unterscheidet. Gleichwohl muss auch das informationsorientierte Grundwasser-Monitoring Entscheidungen unterstützen und fördern. In Brandenburg wird im Sinne des LAWA-Konzeptes diesbezüglich das landesweite Basismessnetz mit einem Endausbau von ca. 200 Messstellen (s. Kap. 2.2) und ein Sondermessnetz „Nitrat“ mit derzeit 11 Messstellen (s. Kap. 2.7) betrieben.

Die Schwierigkeit bei der Durchführung des informationsorientierten – und hier vor allem des beschaffenheitsorientierten –

Monitorings liegt in der Auswahl der Messstellen hinsichtlich ihrer Repräsentanz in Bezug auf naturräumliche Kriterien, wie z.B. den jeweiligen hydrogeologischen Strukturen (Grundwasserleiter, -komplexe, -fließsysteme). Repräsentative hydrogeochemische Bezugsgrößen im Sinne standortbezogener natürlicher (oder: geogener) Hintergrundgehalte sind für Beschaffenheitsmessstellen die Ausnahme. Erschwerend kommt hinzu, dass hydrogeochemische Bezugsgrößen einen nur schwer quantifizierbaren anthropogen überprägten Anteil in sich bergen (Niederschläge, Böden). In Brandenburg wurde hierzu mit der Bewertung der hydrogeochemischen Daten aus den hydrogeologischen Erkundungsberichten (LUA 1996b) eine Basis geschaffen.

Das landesweite Basismessnetz befindet sich seit 1994 im Aufbau (s. Kap. 2.4). In den Jahren 1995 bis 2000 wurden umfangreiche Neubaumaßnahmen, Überprüfungen von Altmessstellen sowie die Integration bestehender Messstellen durchgeführt. Der Aufbau konnte im Jahr 2000 weitgehend abgeschlossen werden (POHL ET AL. 2000). In den Folgejahren werden in geringem Umfang Altmessstellen durch Neubauten am gleichen Ort ersetzt.

2.1 Konzeption des informationsorientierten Grundwasser-Monitorings

Die Messnetzkonzeption von 1993 stellt den Rahmen für alle seitdem durchgeführten Arbeiten dar. Ihre Erarbeitung erfolgte auf der Grundlage der bis dahin von der LAWA herausgegebenen Rahmenkonzepte zum Grundwasser-Monitoring (LAWA 1983 bzw. LAWA 1993) und auf Recherchen von zum damaligen Zeitpunkt bestehenden Regelungen in den Altbundesländern sowie Vorgaben wasserwirtschaftlicher Verbände und Institutionen.

Eine der wesentlichen Grundlagen der Konzeption ist die Prämisse, dass alle Maßnahmen zum Grundwasser-Monitoring stets in ihrer Einheit von Menge und Beschaffenheit zu veranlassen sind. Dieser Grundsatz mündete auch in den 1996/97 erarbeiteten Teil „Grundwasserstand“ (HANNAPPEL & TIEMER 1998) der Messnetzkonzeption.

Das Gerüst der Konzeption ist eine naturräumliche Systemanalyse, mit welcher regional ausweisbare und hydrogeologisch definierte Bezugseinheiten geschaffen werden. Diese Einheiten wurden sukzessive mit einer definierten Anzahl von Messstellen belegt. Die Systemanalyse berücksichtigte Informationen zu folgenden naturräumlichen Aspekten:

- klimatische Daten (Niederschlagssummen, -verteilung),
- anthropogene Land- bzw. Flächennutzung,
- Daten zum pedochemischen Status der ungesättigten Zone,

- stratigrafische Angaben zum Grundwasserleiter sowie zur
- Grundwasserdynamik (hydrogeologische Struktureinheiten, HANNAPPEL ET AL. 1994)

Die Angaben zur Grundwasserdynamik konnten durch die Einbeziehung von flächenhaft vorliegenden Informationen aus dem hydrogeologischen Kartenwerk im Maßstab 1:50 000 („HK 50“, VOIGT 1987) berücksichtigt werden. Hierfür wurden relevante Flächeninformationen der HK 50 digitalisiert und zu „hydrogeologischen Struktureinheiten“ aggregiert. Anhand der stratigrafischen Angaben ist die Zuordnung einer Messstelle zu einer der überregionalen „hydrostratigrafischen Einheiten“ des norddeutschen Känozoikums möglich. Als Ergebnis dieser Analyse wurden 49 „naturräumliche Rayons“ ausgewiesen. Diese Rayons sollten aus Gründen der statistischen Signifikanz bei einer anschließenden Bewertung der an den Messstellen gewonnenen hydrochemischen Daten mit je vier Messstellen ausgestattet werden. Hieraus ergab sich die angestrebte Anzahl von 200 Messstellen (Tab. 2.1).

Im Rahmen der kontinuierlichen, letztmalig 1998 durchgeführten Fortschreibung der Konzeption wurde das Prinzip der naturräumlichen Systemanalyse einer methodischen Präzisierung und statistischen Überprüfung unterzogen (FUGRO 1998). Die Ergebnisse der diskriminanzanalytischen Überprüfung

Tab. 2.1:
Naturräumliche Rayons als Grundlage des Basismessnetzes zum Grundwasser-Monitoring (aus: FUGRO 1998) sowie Messstellenbestand der Herbstbeprobung 2000

Naturräumliche Kriterien als differenzierende Faktoren für die Rayons*						Plan	Ist
Rayon-Nr.	Hydrogeologische Struktureinheit	Stratigrafie des Grundwasserleiters	Grundwasserleiterkomplex	Tiefe [m u. GOK]	Flächennutzung	1998*	2000
1	Neubildung	--	GWLK 1	2 - 5 m	Wald	12	14
2	Neubildung	--	GWLK 1	5 - 10 m	Wald	12	11
3	Neubildung	--	GWLK 1	> 2 m	Acker	9	7
4	Neubildung	--	GWLK 1	> 2 m	Wiese	6	4
5	Neubildung	--	GWLK 1	> 2 m	Siedlung	10	8
6	Neubildung, Entlastung	qsD, qhol, qe	--	--	--	9	7
7	Sander (Indir. Neubild.)	--	--	> 10 m	--	14	12
8	Stauchung + wechselhafter Aufbau (Indir. Neubild.)	--	--	--	--	14	8
9	Durchfluss	--	--	< 20 m	Acker, Siedlung	8	8
10	Durchfluss	--	--	< 20 m	Wiese, Wald	8	3
11	Durchfluss	qsWA, qsD	GWLK 1 und 2	20 - 50 m	--	25	29
12	Durchfluss	qe	GWLK 2	20 - 50 m	--	8	6
13	Durchfluss	qsD	GWLK 2	> 50 m	--	8	11
14	Durchfluss	qhol	GWLK 2	--	--	8	7
15	Durchfluss	qe, t	GWLK 2 und 3	> 50 m	--	20	20
16	Entlastung	qsWa	GWLK 1	< 2 m	Acker, Siedlung	12	18
17	Entlastung	qsWa	GWLK 1	< 2 m	Wald, Wiese	12	12
18	Durchfluss, Entlastung, geogene Versalzung	--	--	--	--	5	3
	Summe					200	188

* aus: Fortschreibung der Messnetzkonzeption, Teil Grundwasserbeschaffenheit vom 30.11.1998

fung bestätigen die beschriebene prinzipielle Vorgehensweise. Sowohl die einzelnen Faktoren der Systemanalyse (Teufe, GWLK, hydrogeologische Struktureinheit) als auch die Rayons selbst wiesen ein gutes Zuordnungsergebnis auf. Die Tabelle 2.1 zeigt die neu gebildeten 18 Rayons mit ihren jeweiligen charakteristischen Merkmalsausprägungen aus den fünf

genannten Faktoren. Zusätzlich zeigt diese Übersicht die geplante Anzahl von Messstellen (Spalte: „Plan 1998“) sowie den Messstellenbestand des Jahres 2000 (letzte Spalte „Ist 2000“), der die vorgenommene Integration von neu gebauten Messstellen aus dem hydrologischen Landesmessnetz in das Basismessnetz berücksichtigt.

2.2 Klimatische Bedingungen

Abbildung 2.1 zeigt die regionale Verteilung der Jahresniederschlagshöhen aus dem „Hydrografischen Kartenwerk der DDR, Karte der Niederschlagshöhen“ 1:1 000 000 (Basis: ca. 1.400 Messstellen), welches auf der Grundlage der Beobachtungsreihe 1901–1950 erstellt wurde. Eine entsprechende Übersicht auf Grundlage der dreißigjährigen Beobachtungsreihe von 1961 bis 1990 findet sich in LAHMER ET AL. (2000). Signifikante regionale Unterschiede bestehen für die Landesfläche nicht. Der größte Landesteil wird durch die beiden Klassen von 500 mm/a bis 550 mm/a bzw. von 550 mm/a bis 600 mm/a abgedeckt. Des Weiteren treten im östlichen sowie nordöstlichen Bereich des Oderbruchs regionale „Trockeninseln“ in der Klasse von 450 mm/a bis 500 mm/a auf. Im Süden und Norden existieren Gebiete mit Niederschlägen über 600 mm/a, untergeordnet auch über 650 mm/a.

Die Länder Brandenburg und Sachsen-Anhalt verzeichnen deutschlandweit die geringsten Niederschläge. In Brandenburg

zeigen zudem viele Flüsse im Abflussverhalten der letzten Jahre negative Trends (MLUR 2001). Dies wirkt sich im oberflächennahen Grundwasser z.T. in Form rückläufiger Trends der Grundwasserstände aus (SCHMIDT & HÖLZEL 2001). Anhand einer Situationsanalyse im oberen Grundwasserleiter (OSTIN & PREISS 2001) wurde mit den Daten von ca. 1.000 Messstellen Trends berechnet. Die 30-jährige Zeitreihe von 1970 bis 1999 weist einen geringen Rückgang des Grundwasserstands auf (Abb. 2.2).

Die größte Absenkung fand zwischen 1980 und 1990 statt, wofür die Einstellung der Rieselfeldwirtschaft Ende der achtziger Jahre im Umland Berlins von Bedeutung ist. Danach zeigt sich eine Stabilisierung bzw. teilweise Aufhöhung des Grundwasserstands. Der fallende Trend tritt verstärkt im Bereich der Hochflächen auf. In den Niederungsgebieten ist der fallende Trend nur abgeschwächt ausgeprägt und hat sich mit Beginn der 90er Jahre gebietsweise in einen steigenden Trend umgekehrt.

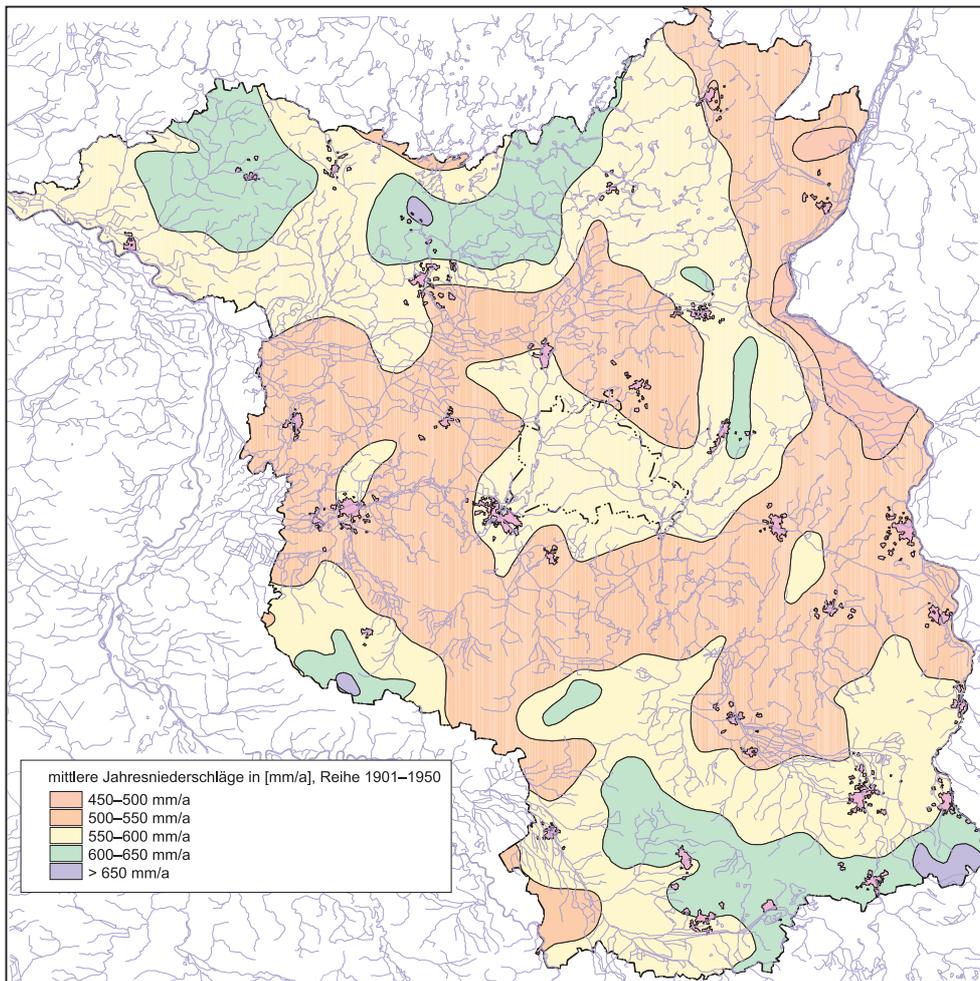


Abb. 2.1:
Regionale Verteilung der
Jahresniederschläge (50-jährige
Reihe von 1901 bis 1950)

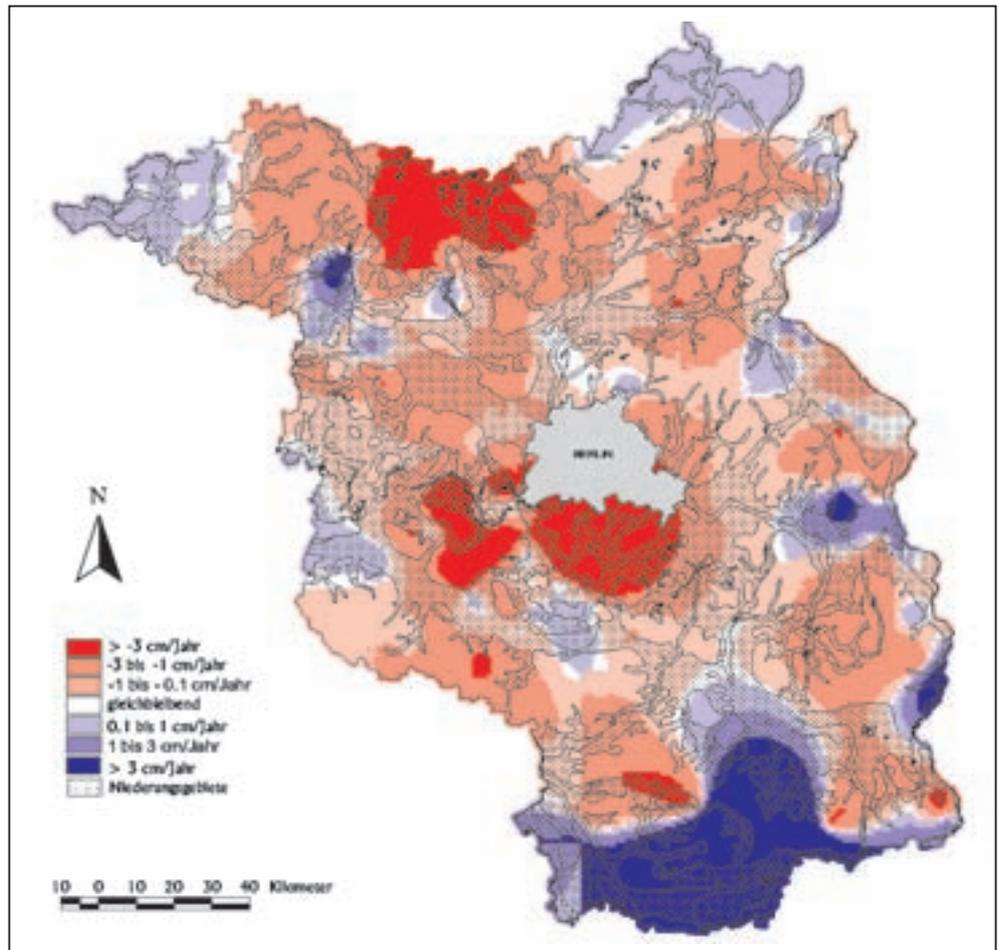


Abb. 2.2:
Interpolierter 30-jähriger Trend
der Grundwasseroberfläche im
oberen Grundwasserleiter
(Basis: 350 Messstellen; OSTIN
& PREISS 2001)

2.3 Flusseinzugsgebiete und hydrogeologische Struktureinheiten

Zur Umsetzung der Anforderungen, die sich aus der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL 2000), insbesondere der Bestandsaufnahme in der „Erstmaligen“ und „Weitergehenden Beschreibung“ ergeben, sind für die Landesfläche Brandenburgs 17 Bearbeitungsgebiete festgelegt worden, die sich an oberirdischen Flusseinzugsgebieten (in der Regel dritter Ordnung) orientieren (Stand: Oktober 2000). Abbildung 2.3 zeigt die Gebiete mit ihren jeweiligen Flächengrößen.

Die Spanne der Flächengrößen reicht von ca. 600 km² (Neiße) bis ca. 3.000 km² (Schwarze Elster) und repräsentiert damit hinreichend genau die von der LAWA vorgegebene Größenordnung von 1.500 km² bis 5.000 km², innerhalb derer die „Erstmalige Beschreibung“ durchgeführt werden soll. Innerhalb dieser Gebiete sind die hydrogeologischen Struktureinheiten jedoch äußerst heterogen verteilt. Das Gebiet der Neiße besteht z.B. fast ausschließlich aus Neubildungsgebieten, während das Ucker-Gebiet überwiegend bedeckte Grundwasserleiter aufweist. Abbildung 2.4 zeigt die relativen Anteile der hydrogeologischen Struktureinheiten innerhalb der Bearbeitungsgebiete Brandenburgs.



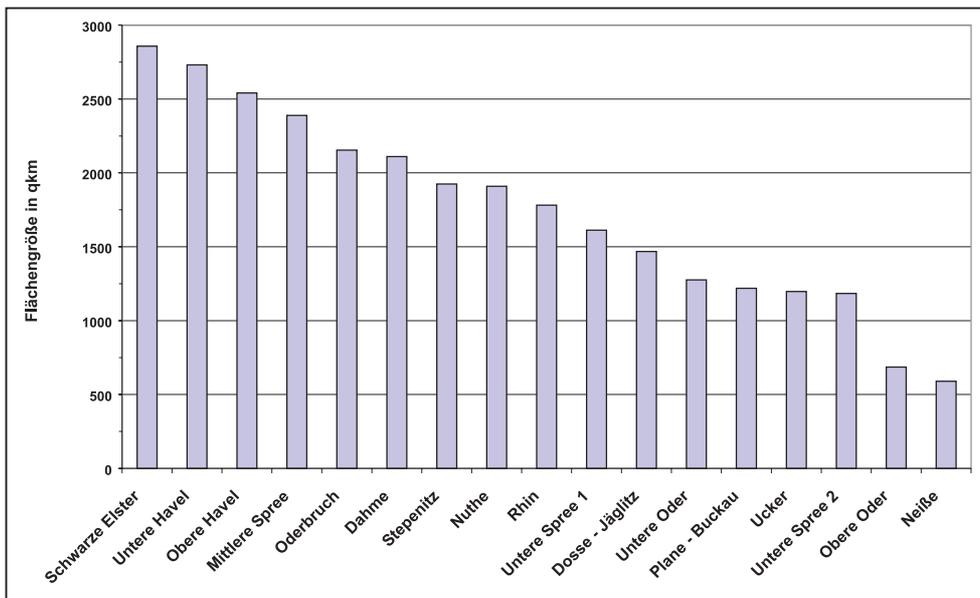


Abb. 2.3:
Größe der Bearbeitungsgebiete
nach EU-WRRL in Brandenburg
(Stand: Oktober 2000)

(Zur Erläuterung: im Zeitraum von 1992 bis 1994 wurde das Messnetz nicht ausschließlich durch Neubaumaßnahmen, sondern auch durch die Integration bestehender Messstellen erweitert; von 1995 bis 1997 wurde das Messnetz ausschließlich durch Neubaumaßnahmen erweitert; seit 1997 erfolgte der Umbau des Messnetzes durch Neubau und durch Aussonderung von Messstellen)

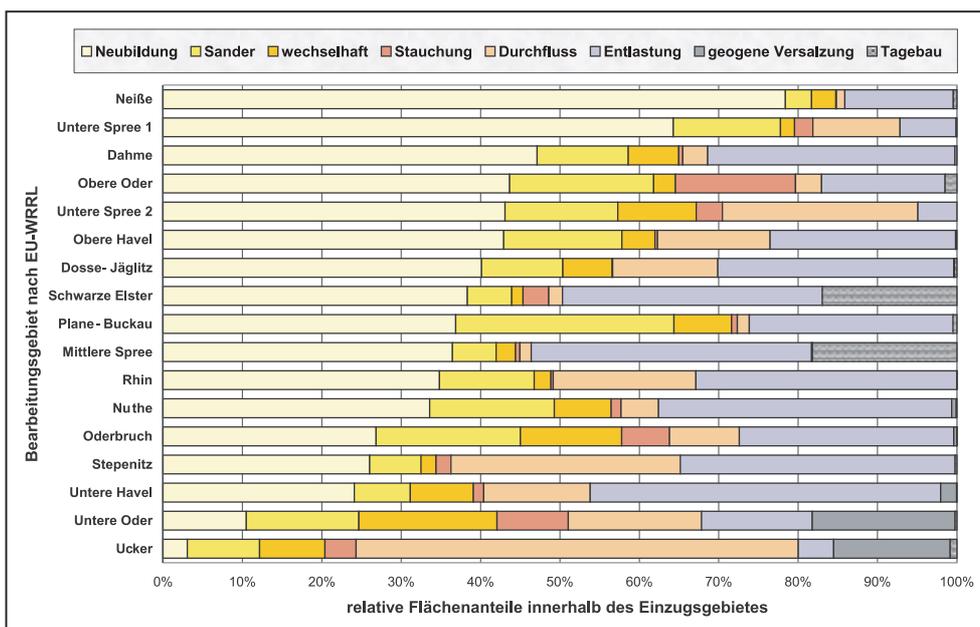


Abb. 2.4:
Flächenanteile der hydrogeologischen
Struktureinheiten
innerhalb der Flusseinzugsgebiete

2.4 Entwicklung des Messstellenbestandes seit 1992

Die Umsetzung der Messnetzkonzeption von 1993 begann bezüglich der Neubaumaßnahmen im Jahre 1995. In Brandenburg umfasste das Messnetz im Herbst 1994 66 Beschaffenheitsmessstellen. Neubaumaßnahmen wurden bis einschließlich 1994 nur in geringem Maße durchgeführt. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag auf der Konsolidierung des Bestandes. In gewissem Umfang wurden bestehende Messstellen in das Messnetz integriert.

Im Jahre 1995 begann in allen drei Regionalreferaten ein systematisches Programm zum Neubau von Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen. Ziel dieses Programms war es, die in der Konzeption von 1993 gebildeten naturräumlichen Rayons mit einer ausreichenden Anzahl an Messstellen zu belegen. Nach erfolgter Bestandsaufnahme, d.h. Zuordnung der vorhandenen Messstellen zu diesen Rayons, wurden in den Folgejahren Neubauvorschläge erarbeitet und die entsprechenden Maßnahmen umgesetzt. Abbildung 2.5 zeigt die hieraus resultierende Messnetzentwicklung von 1992 bis 2000.

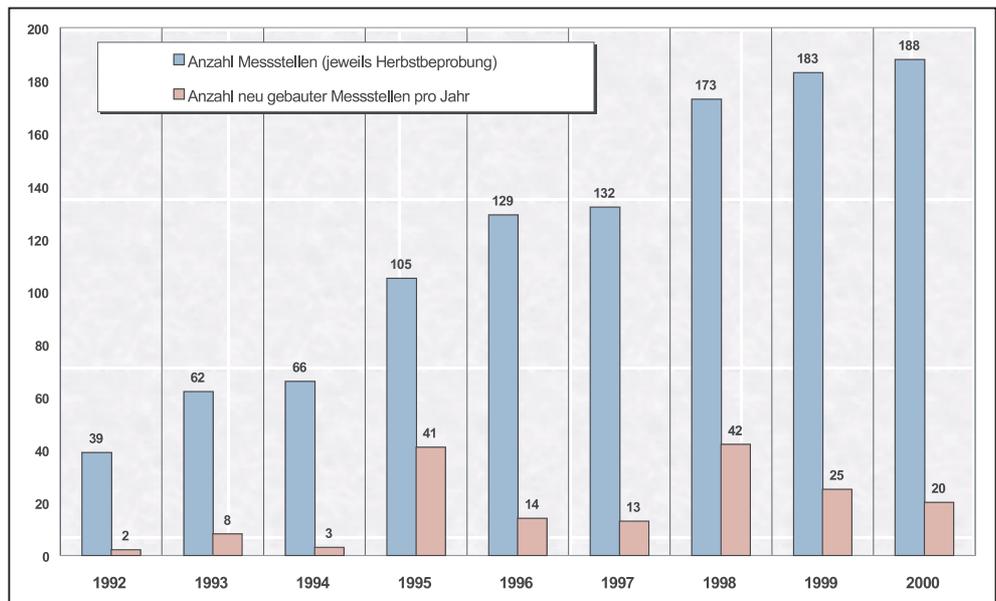


Abb. 2.5:
Entwicklung des Messstellenbestandes des Basismessnetzes im Zeitraum von 1992–2000

Das umfangreichste Neubauprogramm wurde 1995 mit der Errichtung von 41 Messstellen durchgeführt. Hierdurch stieg die Anzahl der Messstellen, die im Herbst 1995 in die hydrochemische Erstbeprobung einbezogen werden konnten, von 66 auf 105 Messstellen. Aus der Differenz der im jeweiligen Jahr neu gebauten Messstellen zu der Differenz zwischen dem aktuellen Bestand und dem Vorjahresbestand an Messstellen geht die Zahl der ausgesonderten Messstellen hervor. Im Jahr 1995 wurden zwei Messstellen wegen technischer Unzulänglichkeiten aus dem Messnetz entfernt.

In den Jahren 1996 und 1997 reduzierte sich die Anzahl der neu gebauten Messstellen im Vergleich zu 1995. In den westlichen Landesteilen werden seit 1998 im Rahmen der regionalen Harmonisierung des Basismessnetzes im Land Brandenburg Messstellen an neuen Standorten gebaut. In den übrigen Landesteilen werden vorrangig Ersatzbaumaßnahmen für ältere, den heutigen technischen Anforderungen nicht mehr genügender Messstellen durchgeführt. Die angestrebte Anzahl von 200 Messstellen ist im Jahr 2001 erreicht worden.

2.5 Regionale Verteilung der Messstellen des Basismessnetzes

Die Übersichtskarte im Anhang 1 zeigt die regionale Verteilung der Messstellen in Brandenburg. Farblich unterschiedlich markiert ist die jeweilige Anzahl der Messstellen, die an einem Standort in vertikal unterschiedlichen Grundwasserleiterkomplexen errichtet wurden. In Ausnahmefällen wurden auch mehrere Messstellen innerhalb eines Grundwasserleiters ausgebaut (z.B. mächtige Aquifere mit Entlastungserscheinungen). Die drei derzeit im Messnetz befindlichen Vierfachmessstellen (rote Punkte im Anhang 1) in Pritzwalk, Belzig-Weitzgrund und Neusorgefeld sind entsprechend den hydrogeologischen Verhältnissen in Brandenburg in tiefen, elsterzeitlichen oder tertiären Stockwerken des süßwasserführenden Lockergesteins im Bereich von 100 m unter Gelände ausgebaut und stellen die Ausnahmen des Messnetzes dar, welches primär das oberflächennahe und wasserwirtschaftlich bedeutsame und genutzte Grundwasser zum Gegenstand hat.

Die neben der ausreichenden Ausstattung der naturräumlichen Rayons auch angestrebte homogene Verteilung innerhalb der Landesfläche kommt im Anhang 1 ebenfalls zum Ausdruck. Lediglich in Ausnahmefällen weist das Messnetz lokal Lücken auf, die entweder mit dem Fehlen von bedeutsamen Grundwasservorkommen (z.B. in den Hochflächenbereichen der Uckermark, des Barnims und in Teilen der Prignitz) oder der Schwierigkeit bei der Errichtung von Messstellen aufgrund nicht verfügbarer Flächen (z.B. Truppenübungsplätze Kyritz-Ruppiner Heide und Lieberose) im Zusammenhang stehen.

Im Anhang 1 sind auch Altmessstellen des Basismessnetzes berücksichtigt worden, die mit Stand 2000 nicht mehr beprobt werden, deren Daten jedoch in die Bewertung einfließen, sowie die aktuellen und ehemaligen Messstellen des Sondermessnetzes Nitrat (s. Kap. 2.7).

2.6 Hydrogeologische Charakterisierung des Messnetzes

Für die Beschreibung der regionalen Grundwasserbeschaffenheit wurden die Beschaffenheitsdaten der aktuellen und ehemaligen Basismessstellen genutzt. Insgesamt wurden **232 Messstellen** einbezogen, von denen 44 (Stand Herbstbeprobung 2000) nicht mehr zum aktuellen Messnetz gehören. Die 188 Messstellen des aktuellen Messnetzes verteilen sich auf 129 Standorte. Davon sind

- **87 Standorte einfach,**
- **28 doppelt,**

- **11 dreifach und**
- **drei Standorte vierfach**

in jeweils unterschiedlichen Tiefenbereichen und Grundwasserleitern ausgebaut.

Abbildung 2.6 zeigt für die Verteilung dieses Messstellenbestandes innerhalb ausgewählter Klassen der Stammdatenparameter „Tiefe“ sowie „hydrogeologische Struktureinheit“.

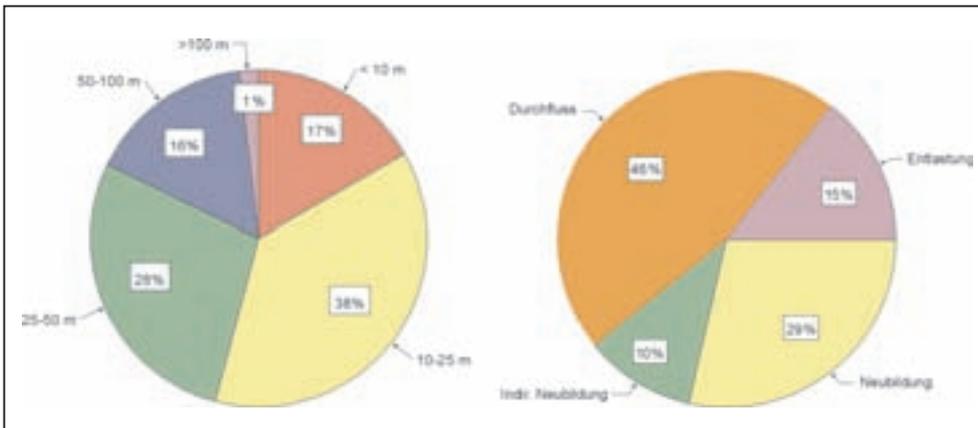


Abb. 2.6: Verteilung des Messstellenbestandes in Bezug auf die Faktoren „Tiefe des Filterausbaus“ (links) und „hydrogeologische Struktureinheit“ (rechts)

Das linke Verteilungsbild lässt deutlich erkennen, dass der Schwerpunkt der Beobachtung beim oberflächennahen Grundwasser liegt. Über die Hälfte der Messstellen sind in einer Tiefe von weniger als 25 m verfiltert („ausgebaut“), während tiefe Messstellen (in mehr als 50 bzw. 100 m Tiefe) lediglich etwa ein Viertel des Messnetzes bilden. Dementsprechend sind auch in den hydrogeologischen Strukturen, in denen unbedeckte oder nur geringfügig bedeckte („indirekte Neubildungsgebiete“) Grundwasserleiter an der Erdoberfläche anstehen, mehr Messstellen ausgebaut (Abb. 2.6, rechts) als in Gebieten mit anstehendem Geschiebemergel („Durchflussgebiete“).

Der Zuordnung der Messstellen des Basismessnetzes zu den Gruppen der Stammdatenparameter wurde große Aufmerksamkeit gewidmet, um die nachfolgenden statistischen Auswertungen auf eine solide Grundlage zu stellen. Dies betrifft insbesondere die Zuordnung zu dem Parameter „hydrogeologische Struktureinheit“, aber auch zu den Kriterien „Stratigrafie“, „Flächennutzung“, „Tiefe des Filterausbaus bzw. des mittleren Wasserspiegels“ und „naturräumlicher Rayon“.

Zusätzlich zu diesen Stammdatenparametern wurden die Messstellen des Basismessnetzes anhand ihrer Ausbauangaben den „hydrostratigrafischen Einheiten“ des Känozoikums Norddeutschlands zugeordnet (MANHENKE ET AL. 2001). Diese

Hydrostratigrafische Einheiten *	Lithologische Ausprägung (überwiegend)	Lithologische / Lithogenetische Einheit	Stratigrafie
H1	Torf, Schluff, Lehm	Hoch-, Niedermoortorf, Anmoor, Auelehm, Klei	Holozän
L1	Sand, Kies, kluftiger Travertin	Auesande, Dünensande, Flugsande, Flussschotter (Niederterrassen), Niederungssande, Schmelzwasserablagerungen, Quellkalk	Holozän, Pleistozän, Weichsel
H2	Geschiebemergel, Löss	Weichsel-Grundmoränen, periglaziäre Ablagerungen	Pleistozän, Weichsel
L2	Sand, Kies	Schmelzwasserablagerungen der Nachschüttphase Saale bis Vorschüttphase Weichsel, einschließlich Quellkalk	Pleistozän, Saale bis Weichsel
H3	Geschiebemergel, Schluff, Ton	Saale-Grundmoränen, Beckenablagerungen	Pleistozän, Saale
L3	Sand, Kies, kluftiger Travertin	Schmelzwasserablagerungen der Nachschüttphase Elster bis Vorschüttphase Saale, Flussschotter (Mittellerrassen), Quellkalk	Pleistozän, Elster bis Saale
H4	Schluff, Ton, Geschiebemergel	Lauenburger Ton, Elster-Grundmoränen, Beckenablagerungen	Pleistozän, Elster
L4.1	Sand, Kies	Schmelzwasserablagerungen, Flussschotter, Hochterrassen, jüngere und ältere Hauptterrassen, Höhenterrassen, Zersatzgrobschotter	Pleistozän, Altpleistozän bis Elster
L4.2	Sand, Kies	Schmelzwasserablagerungen in tiefen Rinnen	Pleistozän, Elster
L4.3	Sand	Kaolinsande, Glimmerfeinsand des Pliozän und Ober-Miozän, Sande der Raunoer Schichten	Tertiär, Pliozän, Miozän
H5	Ton, Schluff, Braunkohle	Oberer Glimmerton, 1. und 2. Lausitzer Flözhorizont, Schluffe der Raunoer Schichten	Tertiär, Miozän
L5	Sand	Obere Braunkohlensande/marine Sande, Sande der Oxdund-Schichten, Untere Briesker Sande	Tertiär, Miozän

Tab. 2.2: In Brandenburg auftretende hydrostratigrafische Einheiten Känozoikum Norddeutschland (verändert nach: MANHENKE ET AL. 2001)

*: „H“ steht für „Hemmer“ (Grundwasserhemmer), „L“ für „Leiter“ (Grundwasserleiter)

überregionalen hydrogeologischen Einheiten sind zwischen den Staatlichen Geologischen Diensten der norddeutschen Bundesländer abgestimmt und wurden zur Erarbeitung der „Hydrogeologischen Übersichtskarte 1:200 000“ (HÜK 200, DÖRHÖFER ET AL. 2001) von Deutschland definiert. Tabelle 2.2 zeigt als Ausschnitt aus der gesamten, neun Leiter und Hemmer umfassenden Gliederung die oberen fünf Einheiten, die im Basismessnetz vertreten sind.

Im Ergebnis der Zuordnung aller 241 im Zeitraum von 1995 bis 2000 je betriebenen Messstellen des Basis- und des Nitratmessnetzes zu diesen Einheiten wurden

- 47 Messstellen dem L 1,
- 117 dem L 2,
- 57 dem L 3 und
- je 10 dem L 4 bzw. dem L 5

zugeordnet. Die Zuordnung erfolgte anhand der Bohrprofil- und Ausbauangaben der Messstellen und wurde zu Zwecken der statistischen Bewertung der Messdaten vorgenommen.

2.7 Technische Organisation des Grundwasser-Monitorings

Die Probenahme und Analytik der Grundwasserproben der Messstellen des Basismessnetzes wird vom Landesumweltamt Brandenburg (LUA) in Eigenregie realisiert. In der Regel werden zwei Beprobungen pro Jahr durchgeführt – die Frühjahrsbeprobung im Zeitraum von März bis Mai und die Herbstbeprobung von September bis November. Das Spektrum der zu bestimmenden Untersuchungsparameter ist gemäß den LAWA-Richtlinien differenziert aufgebaut. Tabelle 2.3 zeigt die Struktur des Messprogramms (Stand: Herbstbeprobung 2000).

Das Messprogramm wird auf der Grundlage der Bewertung der Messwerte von 1995 bis 2000 und mit dem Ziel der Einsparung von Laborkapazität einer kontinuierlichen Überprüfung und Modifizierung unterzogen. Die Messstellen des PSM-Sondermessprogramms (3. Spalte) und die PSM-Wirkstoffe bzw. Metabolite werden jedes Jahr neu ausgewählt. Im Jahr 1999 wurden z. B. bei 123 Messstellen PSM bestimmt (s. Kap. 4.1 bzw. Anhang 4).

Tab. 2.3:
Zusammenstellung der Messgrößen im Basismessnetz Grundwasserbeschaffenheit

Erstbeprobung * (im Herbst des Baujahres)	Bestimmung 2x jährlich (Frühjahr und Herbst)	PSM, 2x jährlich *** (Frühjahr und Herbst)	Jedes 2. bzw. 5. Jahr (Frühjahr und Herbst)
GW-Stand	GW-Stand	p-p'DDT, p-p'DDD, p-p'DDE	jedes 2. Jahr
Trübung	Trübung	Azinphos-methyl	Trichlormethan
Temperatur Luft und Wasser	Temperatur Luft, Wasser	α- und β-Endosulfan	Tetrachlormethan
elektrische Leitfähigkeit	elektrische Leitfähigkeit	α- und γ-HCH (Lindan)	1.1.1-Trichlorethan
Redoxspannung	Redoxspannung	Parathion-methyl	1.1.2-Trichlorethan
pH-Wert	pH-Wert	Parathion-ethyl	cis-1.2-Dichlorethen
Organoleptische Parameter	organoleptische Parameter	Dimethoat	Trichlorethen
Sauerstoff	Sauerstoff	Trifluralin	Tetrachlorethen
m- und p-Wert	m- und p-Wert	2,4-D	Benzen
UV-Extinktion (Hg 254 nm)	UV-Extinktion (Hg 254 nm)	2,4-DB	Toluen
Cl, HCO ₃ , SO ₄	Cl, HCO ₃ , SO ₄	2,4,5-T	Xylen
NO ₂ , NO ₃ , o-PO ₄	NO ₂ , NO ₃ , o-PO ₄	2,4,5-TP	Ethylbenzen
Ca, Mg, Na, K, NH ₄	Ca, Mg, Na, K, NH ₄	Dichlorprop	Cumen
AOX, TOC, MKW	AOX, TOC, MKW	Mecoprop	jedes 5. Jahr
Eisen gesamt	Eisen gesamt	MCPA	Arsen
Aluminium (gelöst und gesamt)	Aluminium (gesamt)	MCPB	Blei
Bor	Bor	Bentazon	Kupfer
MKW	Gesamthärte	Atrazin	Cadmium
LHKW	Fluorid	Desethylatrazin	Quecksilber
Aromaten	SiO ₂ -Si	Desisopropylatrazin	Chrom
	Mangan	Metribuzin	Nickel
	Zink	Simazin	Fluoranthen
		Chlortoluron	Benzo-(b)-Fluoranthen
<u>1. Jahr (Frühjahr/Herbst):</u>		Diuron	Benzo-(k)-Fluoranthen
PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180		Isoproturon	Benzo-(a)-Pyren
PAK **		Metazachlor	Benzo-(ghi)-Perylen
Metalle **		Metolachlor	Indeno-(1,2,3-cd)-Pyren

* auch bei Integration von Messstellen aus dem Messnetz Grundwasserstand

** Sonderprogramm PAK bzw. Metalle (siehe letzte Spalte)

*** siehe Anmerkungen im Text

2.8 Konzeption und Betrieb des Sondermessnetzes Nitrat

Das Sondermessnetz Nitrat wurde im Jahr 2000 neu konzipiert. Ende 2000 umfasst es 11 Messstellen (insgesamt existieren Daten von 18 Messstellen; Lage siehe Anhang 1):

- (1) Lichterfelde (Neubildung; Gewerbegebiet; Werte ab Frühjahr 1994)
- (2) Altglietzen (Neubildung; Siedlung; Filter bei 7,00 m unter Gelände; Herbst 1993)
- (3) Möllen (Neubildung; Acker; 8,30 m; Frühjahr 1992)
- (4) Schenkendorf (indirekte Neubildung; Siedlung; 30,80 m; Frühjahr 1995)
- (5) Liedekahle OP (Neubildung; Acker; 10,72 m; Herbst 1993)
- (6) Stavenow (Neubildung; Acker; 4,50 m; Frühjahr 1999)
- (7) Schönhagen (Neubildung; Acker; 13,00 m; Herbst 1995)
- (8) Lögow (Neubildung; Acker; 7,10 m; Frühjahr 1999)
- (9) Meseberg (indirekte Neubildung; nicht relevant; 15,50 m; Frühjahr 1999)
- (10) Reichenow OP (indirekte Neubildung; Acker; 15,00 m; Frühjahr 1999)
- (11) Kemnitz OP (indirekte Neubildung; Acker; 21,50 m; Frühjahr 1998)

Die aktuelle Messstellenauswahl erfolgte nach den Kriterien:

- Nitratbelastungen im Grundwasser > 25 mg/l,
- Messstelle mit unbedecktem Grundwasserleiter (Neubildung, Entlastung) oder indirekter Neubildung,
- Erfassung des 1. Grundwasserleiters oder von oberflächennahem Grundwasser,

- Einzugsgebiet: möglichst Acker, gegebenenfalls aber auch andere Flächennutzungen,
- Untersuchung nur von LUA-eigenen Messstellen (Vorliegen notwendiger Stammdaten),
- keine Dopplung von Messstellen: Zuordnung zum Basis- oder zum Nitratmessnetz.

Aus dem bisherigen Nitratmessnetz wurden Messstellen übernommen, deren Konzentrationen oberhalb von 25 mg/l Nitrat liegen und den hydrogeologischen Strukturen Neubildung bzw. indirekte Neubildung zuzuordnen sind. Aus dem Messnetz herausgenommen wurden Messstellen, deren Gehalte in den letzten Jahren deutlich unter 25 mg/l NO_3 lagen (Britz, Luckenwalde, Frankenförde, Baruth, Bochow, Markendorf).

Zudem wurden aus dem Basismessnetz sechs Messstellen in das neue Nitratmessnetz übernommen, bei denen wiederholt Konzentrationen über 100 mg/l NO_3 auftraten. Diese Messstellen zeigen somit eine starke anthropogene Belastung und eine Überschreitung der oberen Plausibilitätsgrenze der UBA-Datenbank (s. Kap. 3.2).

Bis Ende 2000 erfolgte die Untersuchung im Herbst jeden 3. Jahres. Bei Werten ≥ 1 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ wurde die Messstelle im Herbst der beiden Folgejahre beprobt. Das Untersuchungsspektrum entspricht mit Ausnahme der Spurenelemente demjenigen des Basismessnetzes. Seit Frühjahr 2001 werden auch PSM-Bestimmungen im gleichen Umfang wie bei den Messstellen des Basismessnetzes durchgeführt.

3 Prüfung der Analyseergebnisse

3.1 Vorbemerkungen

Hydrochemische Analyseergebnisse sind umfangreichen Plausibilitätsprüfungen zu unterziehen. Derartige Plausibilitäts-tests wurden in dreifacher Hinsicht und in folgender Reihenfolge durchgeführt:

- Anwendung von Plausibilitätsgrenzen zur Erkennung von Ausreißern,
- Prüfung der zeitlichen Plausibilität von Einzelwerten sowie
- Prüfung der Plausibilität von gesamten Analysen mittels Ionenbilanzen.

Ziel von Plausibilitätsprüfungen ist das systematische Auffinden sachlicher Fehler, die bei der Eingabe oder der Transformation von Daten entstanden sein können. Derartige Tests sind in Regelwerken beschrieben (z.B. D_{VWK} (1992), D_{VWK} (1999), Zusammenstellung hierzu in UBA 2000). Die jeweils angewandten Tests werden kurz beschrieben und die Ergebnisse sowie Schlussfolgerungen vorgestellt. Durch derartige Plausibilitätstests kann ein Wert als Ausreißer im mathematischen Sinne erkannt werden. Sie liefern jedoch keine Aussagen über die Ursachen und dienen daher nur dazu, solche Werte herauszufiltern. Die endgültige Bewertung ist in jedem Fall dem hydrogeologischen Sachverstand zu überlassen.

3.2 Behandlung von Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze

Für die weitere Verwendung im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchungen wurden zwei Fälle unterschieden:

- lautet das Analyseergebnis „< Bestimmungsgrenze (BG)“ und existiert eine einheitliche numerische Angabe zur Bestimmungsgrenze, wird ein Ersatzwert gebildet mit der Formel: $\text{Ersatzwert} = 0,5 \cdot \text{BG}$,
- lautet das Analyseergebnis „< BG“ und existiert keine einheitliche numerische Angabe zur BG, wird ein Ersatzwert gebildet mit der Formel: $\text{Ersatzwert} = 0,5 \cdot \text{häufigste BG}$.

Im Anhang 4 sind die Anzahl der pro hydrochemischem Parameter im Zeitraum 1995–2000 vorkommenden Einzelwerte, die Anzahl der Messwerte mit dem Analyseergebnis „< BG“ bzw. deren entsprechender prozentualer Anteil sowie numerische Angaben zu den Bestimmungsgrenzen dokumentiert. Die am häufigsten vorkommenden (und behelfsweise zur Bildung der Ersatzwerte verwendeten) Bestimmungsgrenzen sind fett markiert. Enthält die Tabelle im Anhang 4 keine Angaben zu den Bestimmungsgrenzen, waren keine entsprechenden Analyseergebnisse vorhanden.

3.3 Plausibilitätsgrenzen zur Erkennung von Ausreißern

Zur Ableitung von Plausibilitätsgrenzen für die Validierung der Daten wurden die in U_{BA} (2000) enthaltenen Extremwerte (Minimum und Maximum) verwendet. Diese dienen dazu, in einem ersten Testdurchlauf grobe Fehler im Datensatz zu erkennen (z.B. Dimensionen, sogenannte „Kommafehler“), die bei der Eingabe entstanden sein können.

Die Tests wurden nicht nach den dort verwendeten Grundwassereinheiten (in Brandenburg: hydrogeologische Struktureinheiten) differenziert durchgeführt, um dem Charakter dieses Tests als einer ersten, groben Prüfung Rechnung zu tragen.

Es wurden sowohl Überschreitungen der in U_{BA} (2000) angegebenen oberen als auch Unterschreitungen der unteren Plausibilitätsgrenzen festgestellt, wobei Überschreitungen deutlich dominieren (s. Tab. 3.1 mit den Angaben zu den als obere Plausibilitätsgrenze verwendeten Maxima). Unterschreitungen wurden insgesamt nur sechsmal festgestellt (Arsen und Bor).

Die hohe Anzahl an Überschreitungen (n = 379) bei der Messgröße TOC ist mit der Herleitung des Wertes von 6.7 mg/l aus Einheiten des Festgesteins bzw. der Besonderheit des Vorkommens sauerstoffarmer Grundwässer in Brandenburg zu begründen (s. Kap. 5.3).

Bei Überschreitungen der Plausibilitätsgrenzen wurden bei den betroffenen Messstellen die Analyseergebnisse einer vertieften Überprüfung unterzogen. Werte, die im zeitlichen Vergleich hierbei auffällig waren, wurden von der weiteren Bewertung ausgeschlossen (s. Kap. 3.4).

Tab. 3.1: Ergebnisse der Anwendung der Plausibilitätsgrenzen (aus U_{BA} 2000)

Parameter	Einheit	Maximum	Anzahl der Überschreitungen
Temperatur	°C	16,8	-
pH-Wert		10,3	-
Leitfähigkeit	µS/cm	3.210	21
Natrium	mg/l	193	33
Kalium	mg/l	42	47
Magnesium	mg/l	120	-
Kalzium	mg/l	425	1
Aluminium	µg/l	2,1	-
Blei	µg/l	500	-
Arsen	µg/l	500	-
Chrom	µg/l	58	-
Kupfer	µg/l	180	-
Zink	µg/l	500	39
Cadmium	µg/l	59	-
Mangan	mg/l	2.300	60
Eisen-II	mg/l	46	7
Nickel	µg/l	90	-
Bor	mg/l	0,22	49
Nitrat	mg/l	100	47
Nitrit	mg/l	5,4	-
Ammonium	mg/l	9,8	8
o-PO ₄ -P	mg/l	7,8	-
Sauerstoff	mg/l	15,4	-
Sulfat	mg/l	915	-
Chlorid	mg/l	362	23
Säurekapazität	mmol/l	9,8	7
TOC	mg/l	6,7	379

3.4 Plausibilität von Einzelwerten einer Messstelle

Die Plausibilitätsprüfung hydrochemischer Daten unterschiedlicher Zeitpunkte erfolgt auf der Grundlage statistischer Untersuchungen vergleichbarer Datenbestände und ermöglicht eine gute Beurteilung der Plausibilität neuer Messwerte. So konnte im Rahmen der Bewertung von Messergebnissen aus den Monitoring-Messnetzen der neuen Länder in den neunziger Jahren festgestellt werden (U_{BA}1995), dass die Konzentrationen von Stoffen, die mit der Einstellung des Redoxgleichgewichtes in Verbindung stehen (z.B. Eisen), deutlich stärker als die Gehalte redoxpotenzialunabhängiger Stoffe (z.B. Chlorid) schwanken.

Die Kenntnis derartiger Zusammenhänge und das Vorliegen eines Mindestumfangs von Werten einer Messstelle (nach LAWA 1993 z.B. fünf Messwerte aus mindestens drei Jahren) gestattet es, im Sinne eines einfachen Näherungsverfahrens ein *Akzeptanzintervall* zu definieren und zur Überprüfung der Plausibilität zu verwenden.

Ein solches Intervall kann aus dem Mittelwert \bar{x} und der Standardabweichung s der Stichprobe aus mindestens fünf Messwerten berechnet werden (LAWA 1993):

$$\text{Akzeptanzintervall: } \bar{x} \pm 2s$$

(\bar{x} : arithmetischer Mittelwert der Messwerte einer Messstelle;
 s : Standardabweichung)

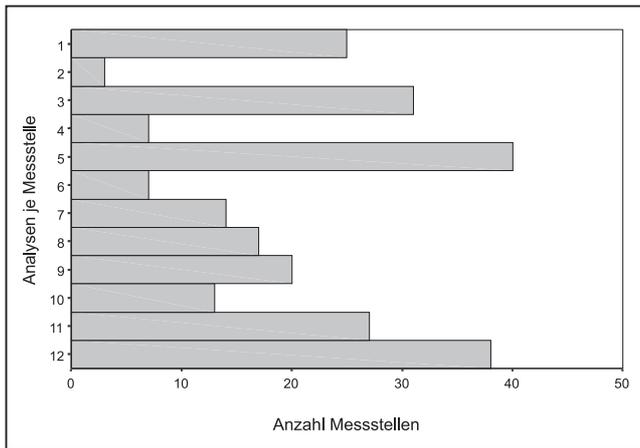


Abb. 3.1: Analysen je Messstelle im Zeitraum von 1995–2000

Diese Art der Plausibilitätsprüfung ist im engeren Sinne nur dann anwendbar, wenn die Messwerte keinen zeitlichen Trend aufweisen, da diese oftmals auf anthropogene Beeinträchtigungen deuten können. Voraussetzung für eine zuverlässige Zeitreihenanalyse ist jedoch das Vorliegen einer Messreihe von 20 bis 30 Jahren Dauer bzw. einer entsprechenden Anzahl von Messwerten (D_{VWK} 1999). Erste Hinweise zur Abschätzung von Trends können Zeitreihenverfahren jedoch bereits bei Datensätzen mit 10 bis 15 Messwerten geben.

Erschwerend kommt im Falle der Messstellen des Basismessnetzes hinzu, dass viele Messstellen im bewerteten Zeitraum „ausgetauscht“ wurden und somit eine „echte“ sechsjährige Reihe von 1995 bis 2000 mit 12 Messwerten nur bei etwa 40 der insgesamt ca. 250 Messstellen vorliegt (s. Abb. 3.1).

Für die zeitliche Plausibilitätsprüfung wurde die Randbedingung des Vorliegens von Messreihen ohne zeitlichen Trend methodisch zunächst vernachlässigt und durch die Einzelfallprüfung bei auffälligen Messwerten ersetzt. Als Kriterium zur Durchführung der Tests wurde bezüglich der Anzahl von Messwerten als Minimum das Vorhandensein von fünf Messwerten genutzt. Dies trifft für 136 Messstellen zu.

Nach LAWA (1993) wurde zunächst die doppelte Standardabweichung als Akzeptanzintervall angesetzt. Die Intervallgrenzen wurden bei 39,4 % der Messwerte (1.092 Fälle, s. letzte Zeile Tab. 3.2) überschritten. Aufgrund dieses hohen Anteils von Überschreitungen wurde anschließend (nach U_{BA} 2000) die dreifache Standardabweichung als Akzeptanzintervall berechnet. Diese wurde von 1,3 % der Messwerte (39 Fälle) überschritten.

Tab. 3.2: Ergebnisse der zeitlichen Plausibilitätsprüfung: Doppelte bzw. dreifache Überschreitung der messstellenspezifischen Standardabweichung

Parameter	Doppelt	Dreifach
pH-Wert	49	-
Elektrische Leitfähigkeit	55	1
Redoxspannung	39	-
Gelöster Sauerstoff	89	11
Sulfat	52	1
Hydrogencarbonat	49	-
Chlorid	51	1
Ortho-Phosphat	39	3
Natrium	65	3
Kalium	45	4
Magnesium	53	1
Kalzium	61	-
Mangan	35	-
Eisen-II	66	2
Aluminium	36	-
Zink	2	-
Bor	57	-
Nitrat	69	9
Nitrit	55	2
Ammonium	56	-
TOC	69	1
Summe der Überschreitungen	1.092	39

Parameter	Doppelt	Dreifach
pH-Wert	49	-
Elektrische Leitfähigkeit	55	1
Redoxspannung	39	-
Gelöster Sauerstoff	89	11
Sulfat	52	1
Hydrogencarbonat	49	-
Chlorid	51	1
Ortho-Phosphat	39	3
Natrium	65	3
Kalium	45	4
Magnesium	53	1
Kalzium	61	-
Mangan	35	-
Eisen-II	66	2
Aluminium	36	-
Zink	2	-
Bor	57	-
Nitrat	69	9
Nitrit	55	2
Ammonium	56	-
TOC	69	1
Σ Überschreitungen	1.092	39

Tabelle 3.2 zeigt die Ergebnisse der durchgeführten zeitlichen Plausibilitätsprüfung in Hinblick auf das Auftreten von Überschreitungen der doppelten bzw. dreifachen Standardabweichung vom jeweiligen Mittelwert einer Messstelle. Messwerte mit einer dreifachen Überschreitung der Standardabweichung vom Mittelwert der Messstelle wurden markiert und als Einzelfälle im Verhältnis zu vorhergehenden bzw. nachfolgenden Werten der gleichen Messstelle geprüft. Diese Einzelfallprüfung ist unbedingt notwendig, da pro Parameter und Messstelle jeweils Besonderheiten auftreten können, bei denen es nicht gerechtfertigt ist, pauschal alle Messwerte eines bestimmten Überschreitungsintervalls (doppelt oder dreifach) aus dem Datensatz zu entfernen.

So entsteht z.B. die elfmalige Überschreitung der dreifachen Standardabweichung des Parameters „gelöster Sauerstoff“ dadurch, dass bei den entsprechenden Messstellen die Mehrheit der Werte unter der Bestimmungsgrenze liegen und durch die halbe BG ersetzt werden. Dabei entsteht eine kleine Standardabweichung, so dass ein „positiver“ Messwert außerhalb des Plausibilitätsbereichs liegt. Solche Werte wurden nicht aus dem Datensatz entfernt.

Die Ergebnisse der wertepaarbezogenen Plausibilitätsprüfung nach DVWK (1992) zeigt Tabelle 3.3. Bei den Wertepaaren handelt es sich vorwiegend um Parameter, deren Konzentrationen dominant von den Redoxbedingungen im Grundwasser gesteuert werden.

Sauerstoffkonzentrationen über 5 mg/l (1. Prüfung) treten in den brandenburgischen Grundwässern nur selten auf. Am häufigsten sind noch Nitratwerte oberhalb von 2 mg/l bei gleichzeitigen Konzentrationen von Eisen oder Mangan über 0,2 mg/l vorzufinden. Bei diesen reduzierten Wässern kann eine anthropogene Beeinträchtigung nicht ausgeschlossen werden. Dies ist jedoch im Einzelfall zu überprüfen.

Die entsprechenden Einzelmesswerte wurden in der Datenbank als unplausibel markiert und von der weiteren Bewertung ausgeschlossen.

Tab. 3.3: Plausibilitätsprüfung von Wertepaaren

Unplausibel, wenn	und wenn	Anzahl
O ₂ > 5 mg/l	Fe ²⁺ > 0,05 mg/l	29
	Mn ²⁺ > 0,05 mg/l	15
	NO ₂ > 0,05 mg/l	5
	NH ₄ > 0,1 mg/l	18
Fe ²⁺ > 0,2 mg/l	NO ₃ > 2,0 mg/l	77
Mn ²⁺ > 0,2 mg/l	NO ₃ > 2,0 mg/l	51
pH < 5,5	Ca + Mg > 1,0 mmol/l	3

3.5 Plausibilität von Grundwasseranalysen (Ionenbilanz)

Die Berechnung der Ionenbilanz bzw. des Ionenbilanzfehlers ist die wichtigste Plausibilitätsprüfung für Grundwasserdaten. Die Ionenbilanz wird nach folgender Formel anhand der molekularen Äquivalentgehalte aller Kationen (Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, NH₄) und Anionen (Cl, SO₄, Säurekapazität (SK) bzw. HCO₃, NO₃, NO₂, PO₄) berechnet:

$$\text{Ionenbilanzfehler (\%)} = \frac{\sum \text{Kationen (c,eq+)} - \sum \text{Anionen (c,eq-)}}{0,5 \cdot [\sum \text{Kationen (c,eq+)} + \sum \text{Anionen (c,eq-)}]} \cdot 100$$

Die Ionenbilanz ist idealerweise gleich „0“, d.h. die Ladungen der positiven und negativen Ionen gleichen sich aus. Die Lösung ist neutral. Rechnerische Abweichungen von der Neutralität, d.h. positive oder negative Ladungsüberschüsse, weisen auf Analysefehler hin.

Die Ergebnisse der Ionenbilanzrechnungen werden in Abhängigkeit von der Mineralisation der Grundwässer bewertet. Nach DVWK (1992) liegt eine Analyse dann im plausiblen Vertrauensbereich, wenn der Ionensummenfehler folgende Bereiche nicht übersteigt:

- 2 % bei Grundwässern mit einer Ionensumme > 2 mmol/l (eq) bzw.
- 5 % bei Grundwässern mit einer Ionensumme < 2 mmol/l (eq).

Theoretisch können eine Reihe von Gründen auftreten, die eine höhere Abweichung der berechneten Ionenbilanz verursachen, z.B. durch

- eine Berechnung mit falsch angenommenen Wertigkeiten der Ionen,
- die fehlende Berücksichtigung von Komplexen (z.B. metallorganische Komplexe),
- das Auftreten hoher organischer Anteile im Grundwasserleiter (Carbonsäureanionen und Succinate werden im Grundwasser in der Regel nicht bestimmt).

Im Einzelfall ist zu untersuchen, ob eine oder mehrere dieser Ursachen auftreten.

In LAWA (1993) werden für die Bewertung folgende Grenzen der Ionenbilanzen angegeben:

- 5 % bei Grundwässern mit einer Ionensumme > 5 mmol/l (eq) bzw.
- 10 % bei Grundwässern mit einer Ionensumme < 5 mmol/l (eq).

Die strikte Einhaltung dieser Grenzen der Ionenbilanzabweichung wird in der Praxis nicht umgesetzt. Für die Auswertung eines sehr umfangreichen Rohwasserdatensatzes eliminierten SCHLEYER & KERNDORFF (1992) Analysen erst bei einer Abweichung von > 25 %, in UBA (1995) wurden 20 % Abweichung als „harte“ Grenze verwendet.

Für den bundesweiten Datensatz, der von den Ländern in die Grundwasserdatenbank des Umweltbundesamtes eingespeist wird, sind in UBA (2000) mit der Einschränkung, dass z.T. nicht alle Nebeninhaltsstoffe analysiert wurden, folgende Grenzen benannt:

- 10 % Abweichung bei Grundwässern mit einer Ionensumme > 2 mmol/l (eq/l),
- 15 % Abweichung bei Grundwässern mit einer Ionensumme < 2 mmol/l (eq),

Die Grenze von **10 % Abweichung** wurde für die weitere Behandlung des Datensatzes herangezogen. Analysen mit Ionensummen unter 2 mmol/l (eq) treten in den brandenburgischen Grundwässern nicht auf.

Ergebnisse der Ionenbilanzrechnungen auf der Basis derjenigen Analysen, bei denen alle Hauptinhaltsstoffe untersucht wurden, zeigt die folgende Tabelle.

Messkampagne	Anzahl Analysen	Anzahl < 2%	Anteil < 2%	Anzahl < 5%	Anteil < 5%	Anzahl < 10%	Anteil < 10%	Anzahl < 25%	Anteil < 25%	Anzahl < 50%	Anteil < 50%
Frühjahr 95	71	14	20 %	40	56 %	60	85 %	71	100 %	71	100 %
Herbst 95	98	30	31 %	64	65 %	88	90 %	98	100 %	98	100 %
Frühjahr 96	86	30	35 %	61	71 %	78	91 %	85	99 %	86	100 %
Herbst 96	125	24	19 %	47	38 %	79	63 %	104	83 %	122	98 %
Frühjahr 97	124	16	13 %	38	31 %	87	70 %	116	94 %	124	100 %
Herbst 97	134	37	28 %	72	54 %	110	82 %	133	99 %	134	100 %
Frühjahr 98	129	47	36 %	87	67 %	118	91 %	129	100 %	129	100 %
Herbst 98	173	36	21 %	105	61 %	158	91 %	171	99 %	173	100 %
Frühjahr 99	172	60	35 %	118	69 %	158	92 %	170	99 %	171	99 %
Herbst 99	175	54	31 %	127	73 %	162	93 %	175	100 %	175	100 %
Frühjahr 00	171	45	26 %	93	54 %	132	77 %	152	89 %	165	96 %
Herbst 00	197	73	37 %	126	64 %	159	81 %	186	94 %	193	98 %
Gesamt	1.655	466	28 %	978	59 %	1.389	84 %	1.590	96 %	1.641	99 %

Tab. 3.4:
Ergebnisse der Ionenbilanzrechnungen für den Zeitraum von 1995 bis 2000

Insgesamt standen für die Berechnungen 1655 Analysen aus dem Zeitraum von 1995 bis 2000 zur Verfügung (siehe letzte Zeile, Spalte „Anzahl Analysen“). Davon genügen 466 Analysen (= 28 %) dem (strengen) Kriterium einer Ionenbilanzabweichung von 2 %. Eine Abweichung innerhalb der Spanne von 2 bis 5 % tritt bei 978 Analysen (59 %) auf.

Das Kriterium einer tolerierten Ionenbilanzabweichung von 10 % erfüllen insgesamt 84 % aller Analysen, d. h. 16 % der Messwerte wurden von der weiteren statistischen Bewertung ausgeschlossen. Im zeitlichen Verlauf treten große Unterschiede in den prozentualen Abweichungen auf: Auffällig ist insbesondere die Herbstbeprobung 1996, bei der nur 63 % der Analysen einen Ionenbilanzfehler unter 10 % aufweisen (lediglich 38 % der Analysen mit < 5 % Abweichung). Auch die Frühjahrsbeprobung 2000 weist mit lediglich 77 % der Analysen mit einem Fehler < 10 % kein gutes Ergebnis auf. Abbildung 3.2

zeigt für drei ausgewählte Beprobungskampagnen die Ergebnisse der Ionenbilanzberechnungen in Form von Histogrammen.

Die Histogramme zeigen einheitlich den Bereich einer Abweichung (Kationen- bzw. Anionenüberschuss) von ± 30 %. Die Anzahl der Fälle, die innerhalb dieses Bereichs liegen, sind in den Bildern jeweils dargestellt. Punktiert zeigen die Histogramme die Bereiche bis 10 % Abweichung, die für die weitere Bewertung der Daten akzeptiert wurden.

Auffällig ist bei allen dargestellten Beispielen, dass die Anionenüberschüsse in der Regel höher als die Kationenüberschüsse sind. Im Frühjahr 1997 hatten besonders viele Analysen Anionenüberschüsse von mehr als 20 %. Im Frühjahr 2000 besaßen sogar 14 der 171 Analysen einen Anionenüberschuss von über 30 %.

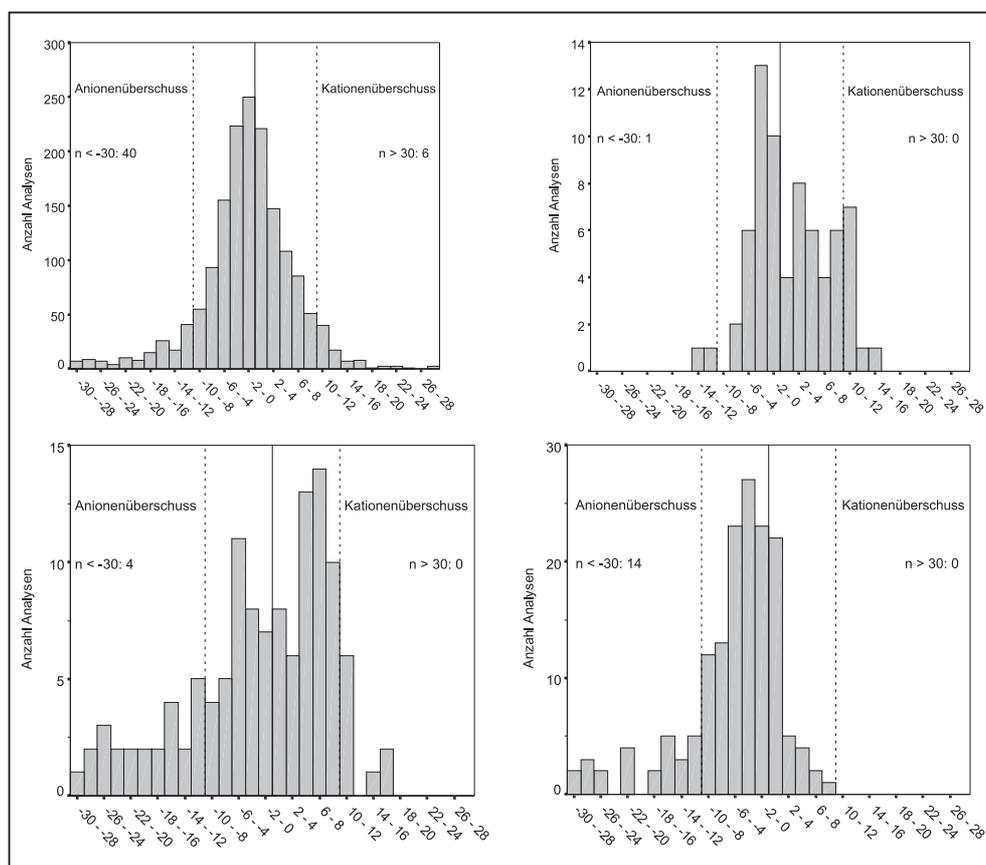


Abb. 3.2:
Häufigkeitsverteilungen der Ionenbilanzabweichungen zu verschiedenen Zeitpunkten

(oben links: alle Analysen 1995 bis 2000, oben rechts: Frühjahr 1995, unten links: Frühjahr 1997, unten rechts: Frühjahr 2000)

4 Bewertung der Analyseergebnisse

4.1 Statistische Maßzahlen der hydrochemischen Messgrößen

4.1.1 Basismessnetz

Die statistischen Kennwerte

- Minimum, Maximum und arithmetischer Mittelwert sowie
- das 10-, 25-, 50- (Median), 75- und 90-Perzentil

der hydrochemischen Milieuparameter sowie der Hauptinhaltsstoffe für das Basismessnetz sind in Anhang 5 tabellarisch zusammengestellt. Sie basieren auf Analysen mit vollständig analysierten Hauptinhaltsstoffen (Cl, SO₄, HCO₃, Ca, Mg, Na, K) sowie einem Ionenbilanzfehler < 10 %, also denjenigen Werten, die für die weitergehende statistische und hydrogeochemische Bewertung berücksichtigt werden konnten.

Dementsprechend weichen die Angaben in der Spalte „Anzahl Werte“ (d.h. Anzahl Messwerte) von denjenigen in Tabelle 3.1 z.T. nach unten ab. Der prozentuale Anteil der für die Statistik berücksichtigten Werte im Verhältnis zu der Gesamtzahl der gemessenen Werte ist in der Spalte „Anteil“ aufgeführt. Zusätzlich beinhaltet der Anhang 5 Angaben zur Häufigkeit (Spalte „Anzahl < BG“) bzw. zum prozentualen Anteil (Spalte „Anteil < BG“) der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze beim jeweiligen Parameter.

Die Perzentile zeigen die (z.T. gerundeten) rangstatistischen Angaben pro Parameter. Das 90-Perzentil von Kalzium (164 mg/l) gibt z.B. an, dass 90 % der Messwerte unterhalb sowie 10 % oberhalb dieser Konzentration liegen. Enthalten die Spalten mit den Perzentilen die Angabe „< BG“ (siehe organische Inhaltsstoffe im Anhang 5), geht daraus hervor, dass weniger als 10 % aller analysierten Messwerte über der jeweiligen Bestimmungsgrenze lagen und die Angabe eines Perzentilwertes somit statistisch nicht signifikant ist.

Die zweite Tabelle im Anhang 5 zeigt im oberen Bereich die entsprechenden Kennwerte der anorganischen Spurenelemente (Schwermetalle). Hierfür wurden unabhängig vom Grad der Vollständigkeit der Analyse und dem Ionenbilanzfehler jeweils alle Analysen des Basismessnetzes herangezogen. Abweichungen zur Anzahl der Einzelmesswerte im Anhang 4 resul-

tieren aus der dortigen Einbeziehung der Messwerte aus dem Nitratmessnetz.

Die letzten vier Zeilen im unteren Bereich der zweiten Tabelle im Anhang 5 beinhalten Angaben zu organischen Parametern, die rechnerisch in die ausgewiesenen Summengrößen (Parametergruppen) eingehen. Bei der Berechnung dieser Kennwerte wurden Angaben zu Messwerten „< BG“ gleich Null gesetzt, um eine (analytisch nicht gegebene) statistische Aufsummierung von Ersatzwerten (unter Nutzung der halben Bestimmungsgrenzen) zu vermeiden.

Die Kennwerte beziehen sich hier auf die untersuchten Einzelinhaltsstoffe. Von den 1.111 Angaben zu Messwerten eines Parameters aus der Stoffgruppe der LHKW z.B. (3. Zeile von unten) liegen also 1.049 Messwerte unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze der Einzelstoffe, während der maximal analysierte Einzelwert (hier: Trichlorethen) 3 µg/l beträgt.

4.1.2 Sondermessnetz Nitrat

Die statistischen Kennwerte des Nitratmessnetzes (dritte Tabelle in Anhang 5) wurden wie beim Basismessnetz für Analysen mit einem Ionenbilanzfehler von unter 10 % und vollständig analysierten Hauptinhaltsstoffen (Cl, SO₄, HCO₃, Ca, Mg, Na, K) berechnet.

Die Messstellen des Nitratmessnetzes werden auf die Milieuparameter und die Hauptinhaltsstoffe untersucht (s. Kap. 2.8), so dass Angaben zu statistischen Kennwerten von Spurenelementen sowie organischen Einzelkomponenten im Gegensatz zu den Werten der Messstellen des Basismessnetzes nicht möglich sind (Ausnahmen: AOX, Fluorid, Bor).

Die Werte der Tabelle des Nitratmessnetzes unterscheiden sich von denjenigen des Basismessnetzes bei vielen hydrochemischen Parametern durch höhere statistische Kennwerte. So liegt z.B. der Mittelwert von Kalium, das durch Düngemittel ins Grundwasser eingetragen werden kann, für das Nitratmessnetz bei 13 mg/l, für das Basismessnetz dagegen bei 6 mg/l. Das Verhältnis der Nitratmittelwerte beider Messnetze beträgt sogar 108 mg/l zu 5 mg/l.

4.2 Häufigkeitsverteilungen und Spannweiten ausgewählter Messgrößen

Die Abbildungen 4.1a bis 4.1c sowie 4.2a und 4.2b zeigen für ausgewählte Messgrößen die Konzentrationsverteilungen aller Messwerte des Basismessnetzes in grafischer Form als Histogramme bzw. als Boxplots, in denen die Klassen von jeweils zwei Stammdatenparametern (Tiefe, Stratigrafie bzw. hydrogeologische Struktureinheit) als erklärende Variablen dargestellt sind (zur Erläuterung der grafischen Elemente innerhalb der Boxplots s. LFU 2001, Bild auf S. 5). Auf folgende hydrochemische Besonderheiten sei hingewiesen:

Ionensumme

Die Ionensumme erreicht ihr Verteilungsmaximum im Bereich von 6 bis 8 mmol/l (eq) und nimmt dann gleichmäßig ab.

Ionenkonzentrationen größer 30 mmol/l (eq) treten nur vereinzelt und kleiner 2 mmol/l (eq) gar nicht auf.

Redoxpotenzial (s. Fußnote Anhang 5)

Das Redoxpotenzial liegt überwiegend im positiven Bereich mit einem Verteilungsmaximum bei 25 bis 100 mV. Gebiete mit indirekter Neubildung weisen die höchsten Redoxpotenziale auf, was auf einen schnellen Stoffeintrag mit geringem biologischen Umsatz in Störungszonen hinweist.

Gelöster Sauerstoff

Bei 55 % der Analysen liegt der Sauerstoffgehalt unterhalb der Bestimmungsgrenze, was in einem Konzentrations-

maximum zwischen Null und der Bestimmungsgrenze von 0,1 mg/l sichtbar wird. Die gemessenen Gehalte liegen meist unter 1 mg/l (Median = 0,5 mg/l).

Elektrische Leitfähigkeit

Der überwiegenden Teil der untersuchten Grundwasserproben weist Leitfähigkeiten zwischen 300 und 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Die maximalen Leitfähigkeiten von 4.000 bis 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ treten an den von geogener Versalzung betroffenen Messstellen Paulinenaue und Retzow auf. Im Boxplot-Diagramm wird deutlich, dass die Leitfähigkeit in den weichselzeitlichen Grundwasserleitern sowohl in Neubildungs- als auch in Durchflussgebieten am höchsten ist. Altpleistozäne und tertiäre Grundwasserleiter in Durchflussgebieten weisen hingegen meist nur geringe Leitfähigkeiten auf.

TOC (Total Organic Carbon)

Dieser Parameter ist ein Indikator für den Gesamt-Kohlenstoff-Gehalt im Grundwasser. Die Konzentrationen liegen meist im Bereich von 1 bis 3 mg/l. Durch die stark rechtsschiefe Verteilung beträgt jedoch der Mittelwert 5 mg/l. In bedeckten Grundwasserleitern liegen die Werte zumeist unter 3 mg/l (Abb. 4.2), während oberflächennah die Medianwerte häufig zwischen 5 und 10 mg/l betragen. Dies kann ein Hinweis auf anthropogen bedingten Eintrag sein.

pH-Wert

Das Verteilungsmaximum der pH-Werte liegt zwischen 7,25 und 7,75. Die Verteilungskurve fällt zu den hohen pH-Werten bis 9 steil ab, während sie zu den geringen pH-Werten bis 4 deutlich flacher ausläuft. Niedrige pH-Werte treten in den geringeren Teufen und in elster- bis saalekaltzeitlichen

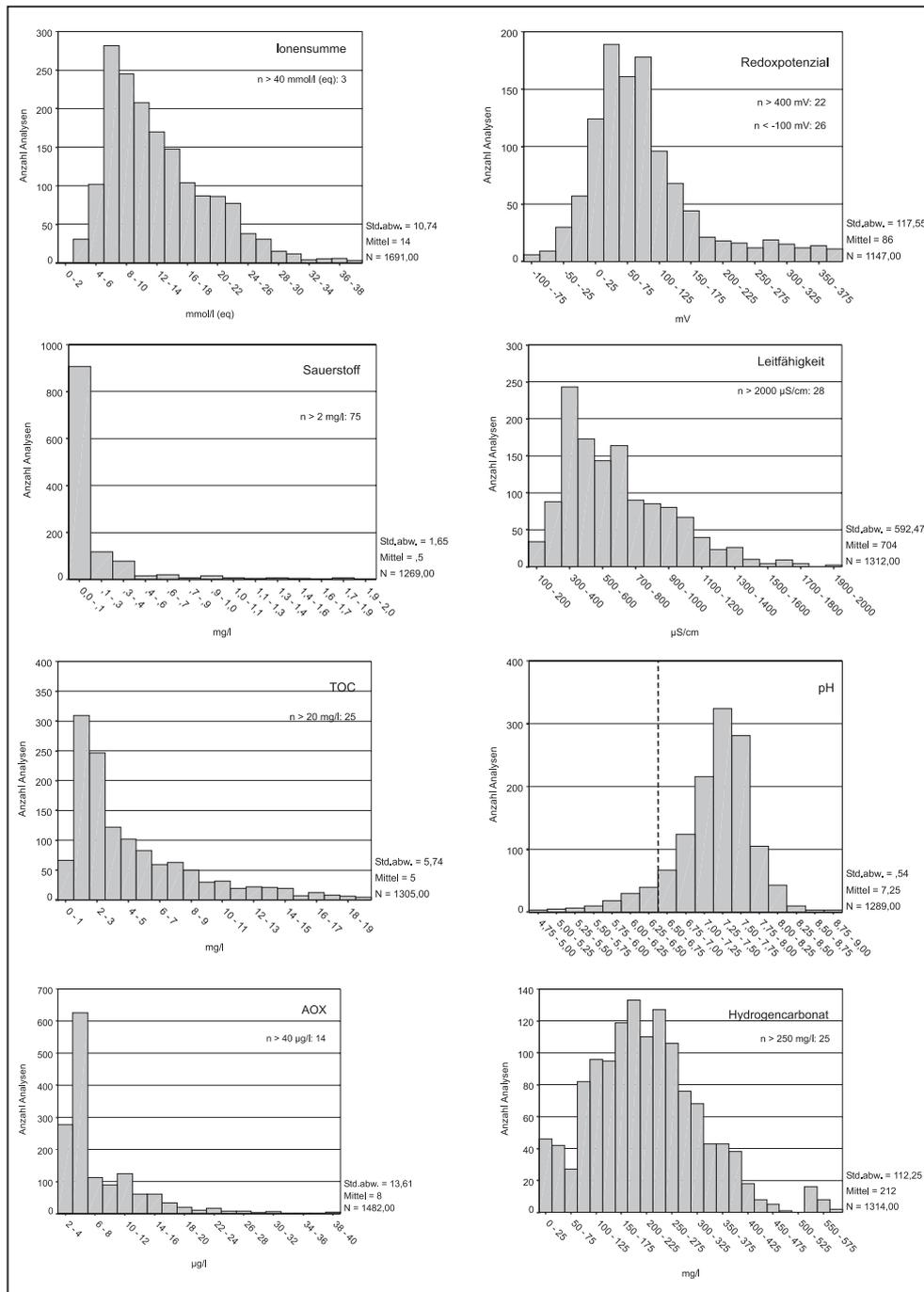


Abb. 4.1a:
Häufigkeitsverteilungen ausgewählter Parameter des Basis-messnetzes

(Zur Erläuterung: Bei den statistischen Angaben in den jeweiligen Legenden bedeuten: „Std.abw.“: Standardabweichung des Mittelwertes; „Mittel“: arithmetischer Mittelwert; „N“: Anzahl der Analysen; Die vertikal gestrichelten Linien markieren den jeweiligen Grenzwert der TrinkwV, z.B. bei pH-Wert 6,5)

Grundwasserleitern verstärkt auf, was auf Versauerungstendenzen durch atmosphärischen Stoffeintrag deutet, der in kalkärmeren älteren Grundwasserleitern schlechter als in kalkreicheren jüngeren gepuffert werden kann (Abb. 4.2a).

AOX

Bei 56 % der Analysen liegt die AOX-Konzentration unter der Bestimmungsgrenze von 5 bzw. 10 µg/l. Durch die Nutzung der halben BG als statistischen Ersatz für das Messergebnis „< BG“ zeigt sich in der Häufigkeitsverteilung ein künstlich erzeugtes Maximum in der Klasse von 4 bis 6 µg/l. Dieses entspricht nicht den realen Messwerten, sondern ist damit zu begründen, dass die am häufigsten verwendete BG von 10 µg/l durch den halben Wert (5 µg/l) ersetzt wird.

Hydrogencarbonat

Die Hydrogencarbonatkonzentrationen zeigen annähernd eine Normalverteilung mit einem Maximum um 200 mg/l und einem Nebenmaximum um 550 mg/l. Die hohen Konzentrationen treten zumeist an Messstellen hoher Gesamtmineralisation auf. Eine Besonderheit ist die Messstelle in Pritzwalk (Unterpegel), wo ein altquartärer Grundwasserleiter in einer elsterzeitlichen Rinne und einer Teufe von 198 m in einem fast vollständig reduzierten Natriumhydrogencarbonatwasser ausgebaut ist und sehr hohe Konzentrationen von Hydrogencarbonat aufweist.

Chlorid

Chlorid (Abb. 4.1b) zeigt eine deutlich linksschiefe Verteilung mit einem Median bei 21 mg/l und einem arithmetischen Mittel bei 54 mg/l. Erhöhte Chloridkonzentrationen können sowohl durch anthropogene Einträge als auch infolge geogener Beein-

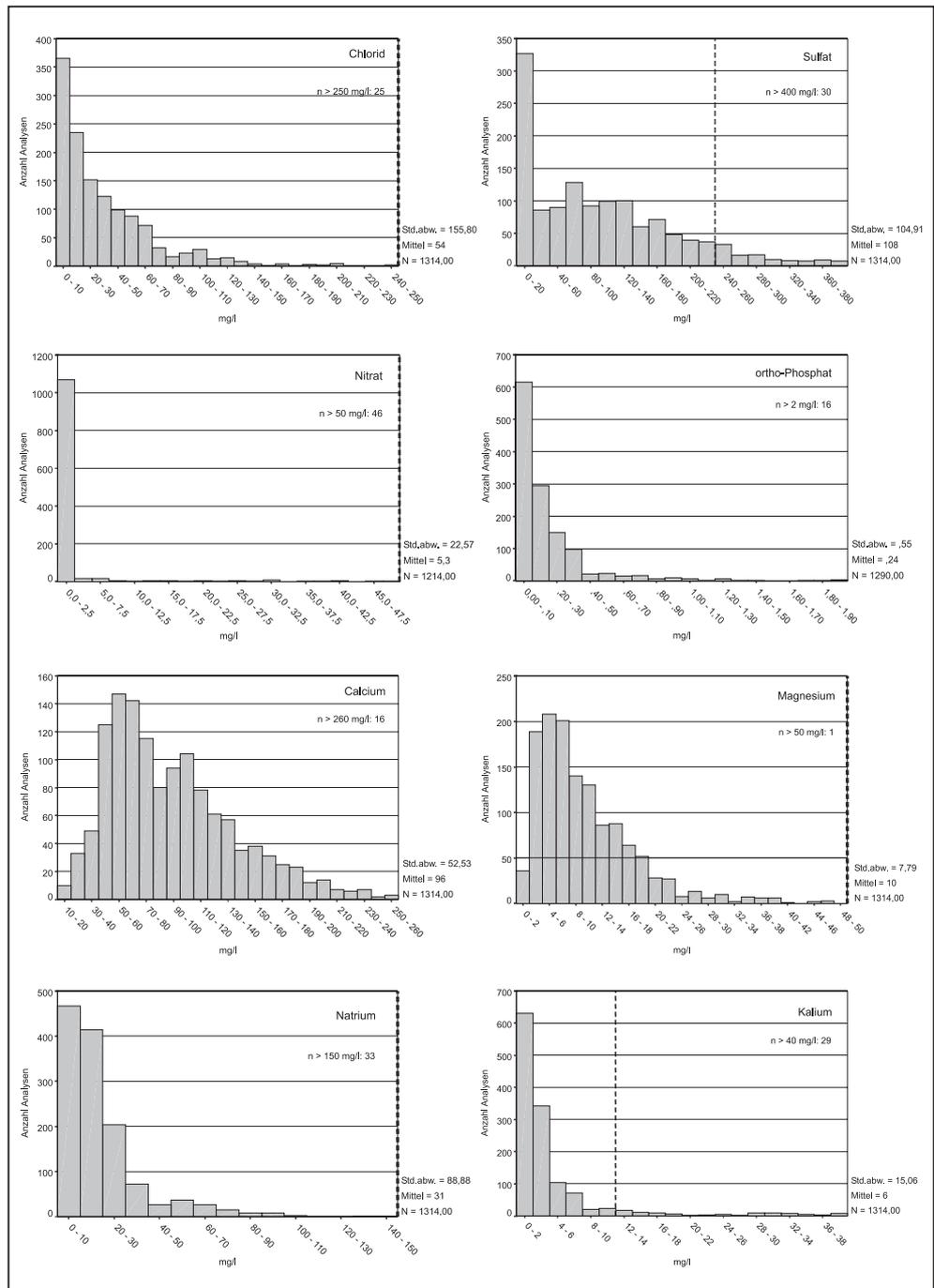


Abb. 4.1b: Häufigkeitsverteilungen von Hauptinhaltsstoffen des Basis-messnetzes

(Zur Erläuterung: Bei den statistischen Angaben in den jeweiligen Legenden bedeuten: „Std.abw.“: Standardabweichung des Mittelwertes; „Mittel“: arithmetischer Mittelwert; „N“: Anzahl der Analysen; Die vertikal gestrichelten Linien markieren den jeweiligen Grenzwert der TrinkwV, z. B. bei Kalium 12 mg/l.)

flussung auftreten. Die Boxplots (Abb. 4.2a) zeigen dementsprechend hohe Konzentrationen sowohl im oberflächennahen Bereich (mit Medianen von teilweise über 50 mg/l z.B. in den jungpleistozänen Bildungen des „L 1“ oder den altsaalezeitlichen Bildungen des „L 3“) als auch in tieferen Bereichen (> 100 m im „L 4“ / „L 5“). In letztgenannten bleiben jedoch aufgrund des weitgehenden Fehlens von Messstellen, die in eindeutig versalzene Grundwasserleitern ausgebaut sind, die Gehalte unterhalb jenen des oberflächennahen Bereichs.

Sulfat

Die mittleren Sulfatgehalte im brandenburgischen Grundwasser liegen bei 108 mg/l, der Medianwert beträgt 85 mg/l. Sulfat zeigt eine deutlich ausgeprägte Tiefenzonierung in allen hydrogeologischen Struktureinheiten außer den Entlastungsgebieten (Abb. 4.2b). Oberflächennah liegen die Konzentrationen oftmals im Bereich von 200 mg/l oder höher.

Nitrat

Die Nitratwerte des Basismessnetzes haben zumeist Gehalte nahe der Bestimmungsgrenze (Median: 0,1 mg/l, Mittelwert 5,3 mg/l). Messstellen mit höheren Werten befinden sich im Nitratmessnetz.

ortho-Phosphat

Gleiches trifft auch auf die ortho-Phosphatwerte zu, deren Median bei 0,1 mg/l liegt. In Neubildungsgeprägten oberflächennahen Grundwässern (Abb. 4.2b) treten auch erhöhte Konzentrationen bis 0,5 mg/l auf, während in bedeckten Grundwässern mit zunehmender Tiefe ein leichter Anstieg geogener Phosphatgehalte zu beobachten ist.

Kalzium

Kalzium ist das wichtigste Kation im Grundwasser und zeigt von allen Stoffen am ehesten eine annähernde Normalverteilung der Konzentrationen mit einem Medianwert von 84 mg/l.

Magnesium

Die Verteilung des mit Kalzium im Grundwasser härtebildend wirksamen Magnesiums ähnelt jener von Kalzium. Mittelwert und Median liegen mit 10 bzw. 8,3 mg/l dicht zusammen.

Natrium

Natrium ist insbesondere in versalzene Grundwässern stark konzentrationserhöht. Da diese im Basismessnetz jedoch kaum vertreten sind, liegen die Mittelwerte mit 31 mg/l (Median 13 mg/l) im unauffälligen Bereich.

Kalium

Kalium ist ein Inhaltsstoff, der sowohl anthropogen (z.B. durch Düngung) als auch geogen (z.B. Versalzung) in erhöhten Konzentrationen im brandenburgischen Grundwasser vorkommen kann. Insbesondere erstgenannte Wässer sind an den erhöhten Werten in oberflächennahen unbedeckten Grundwasserleitern zu erkennen (Abb. 4.2b).

Ammonium

In den reduzierten Grundwässern Brandenburgs kommt Ammonium oftmals mit erhöhten Gehalten vor. Bereits der Mittelwert liegt mit 0,78 mg/l über dem Grenzwert der TrinkwV. In Entlastungsgebieten sind im Tiefenbereich bis 20 m sogar die Medianwerte größer als 0,5 mg/l. In tertiären Grundwasserleitern (L 5) kann Ammonium geogen bedingt durch den Kontakt mit braunkohleführenden Schichten höhere Gehalte aufweisen (Abb. 4.2b sowie LUA 1996b).

Bor

Aufgrund des Auftretens in Siedlungsabwässern mit Werten über 0,08 mg/l ist Bor ein wichtiger Leitparameter zur Erkennung anthropogener Einflüsse im Grundwasser (s. Kap. 4,4 und SCHLEYER & KERNDORFF 1992). Durch das Histogramm wird jedoch ersichtlich, dass der überwiegende Teil der ermittelten Konzentrationen kleiner als dieser Wert ist.

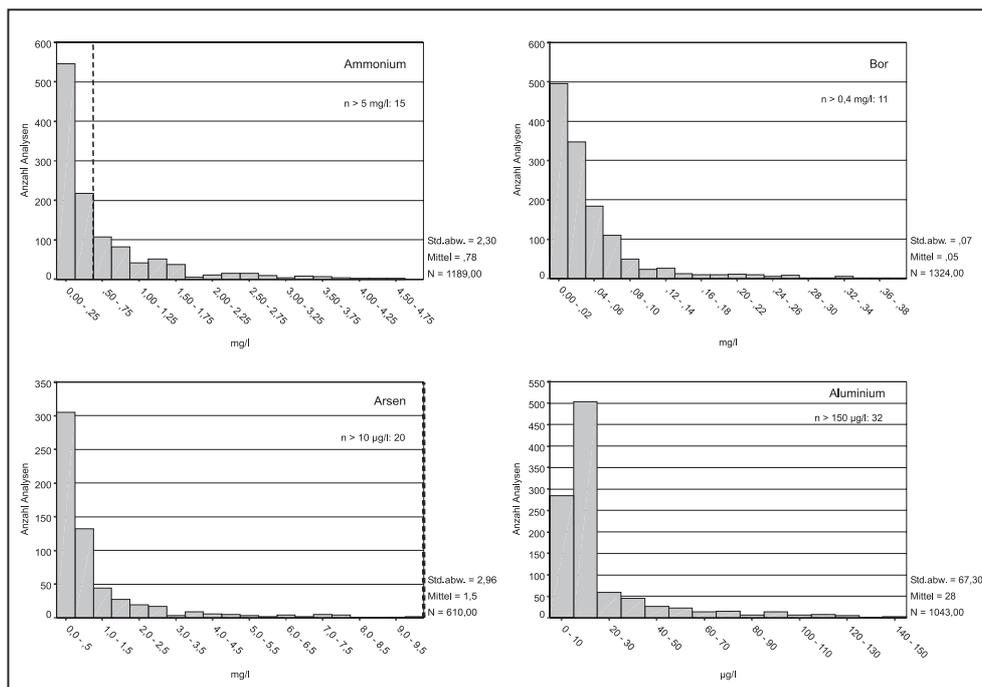


Abb 4.1c:
Häufigkeitsverteilungen von
Nebeninhaltsstoffen des Basis-
messnetzes

(Zur Erläuterung: Bei den statistischen Angaben in den jeweiligen Legenden bedeuten: „Std.abw.“: Standardabweichung des Mittelwertes; „Mittel“: arithmetischer Mittelwert; „N“: Anzahl der Analysen)

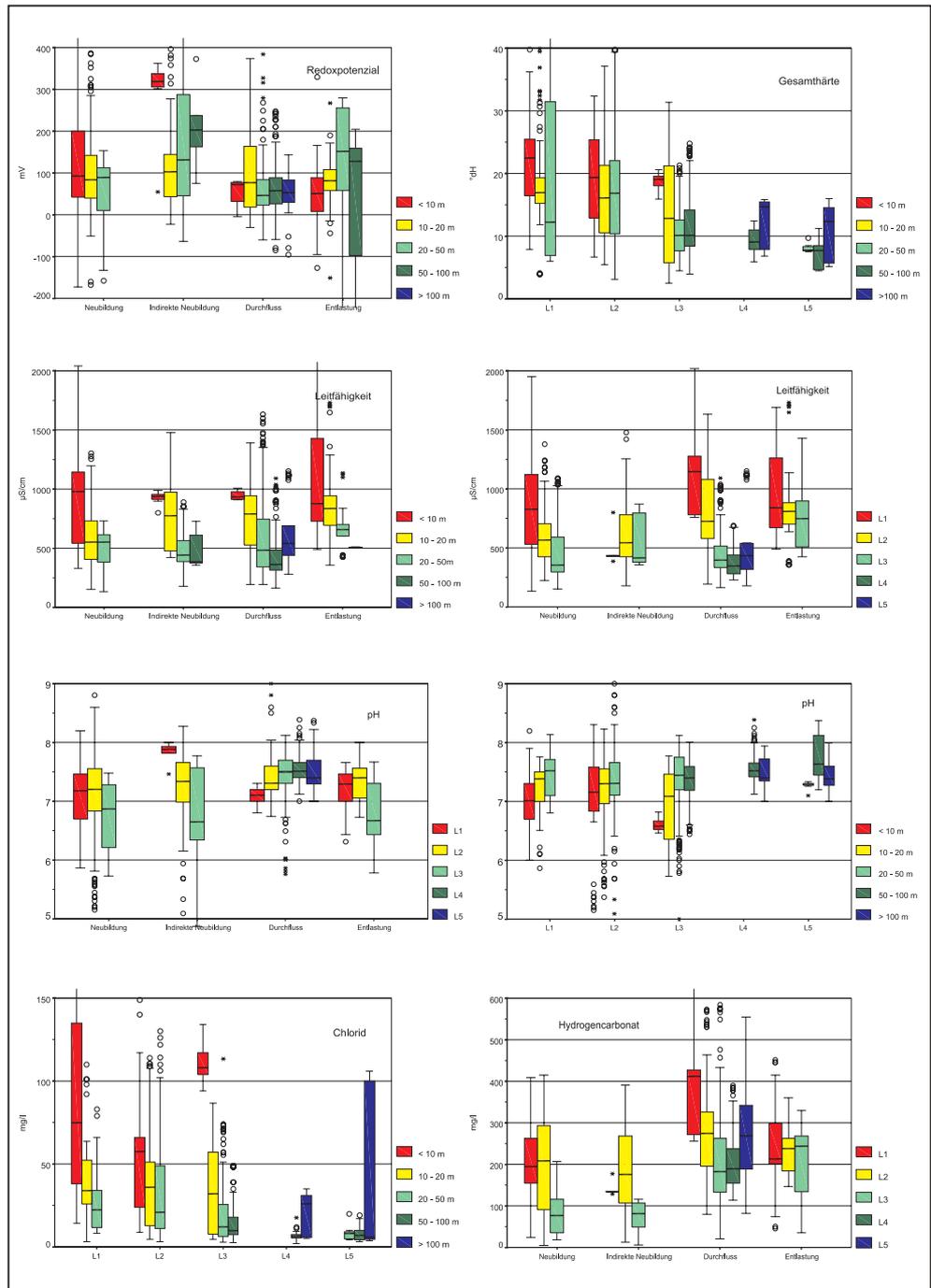


Abb. 4.2a: Boxplotdarstellungen der Konzentrationen ausgewählter Messgrößen innerhalb der hydrogeologischen Struktureinheiten bzw. hydrostratigraphischen Einheiten sowie der Tiefenlagen der ausgebauten Messstellen

(Kreise und Sterne markieren Ausreißer bzw. Extremwerte in den Verteilungen)

Aluminium

Dieses Halbmetall kann insbesondere in versauerten Grundwässern in erhöhten Konzentrationen (über 100 µg/l, ZIEGLER ET AL. 1992; Grenzwert der TrinkwV: 200 µg/l) auftreten. Die überwiegende Anzahl der brandenburgischen Grundwässer ist davon nicht betroffen, was durch den Median- bzw. Mittelwert von 10 µg/l bzw. 28 µg/l zum Ausdruck kommt.

Arsen

Geogen tritt Arsen im Grundwasser Brandenburgs nicht auf. Die Häufigkeitsverteilung zeigt hauptsächlich Gehalte unterhalb der am häufigsten verwendeten Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l. Der arithmetische Mittelwert liegt bei 1,5 µg/l. Er ist durch Extremwerte über 10 µg/l erhöht, die auf anthropogene Einflüsse hinweisen.

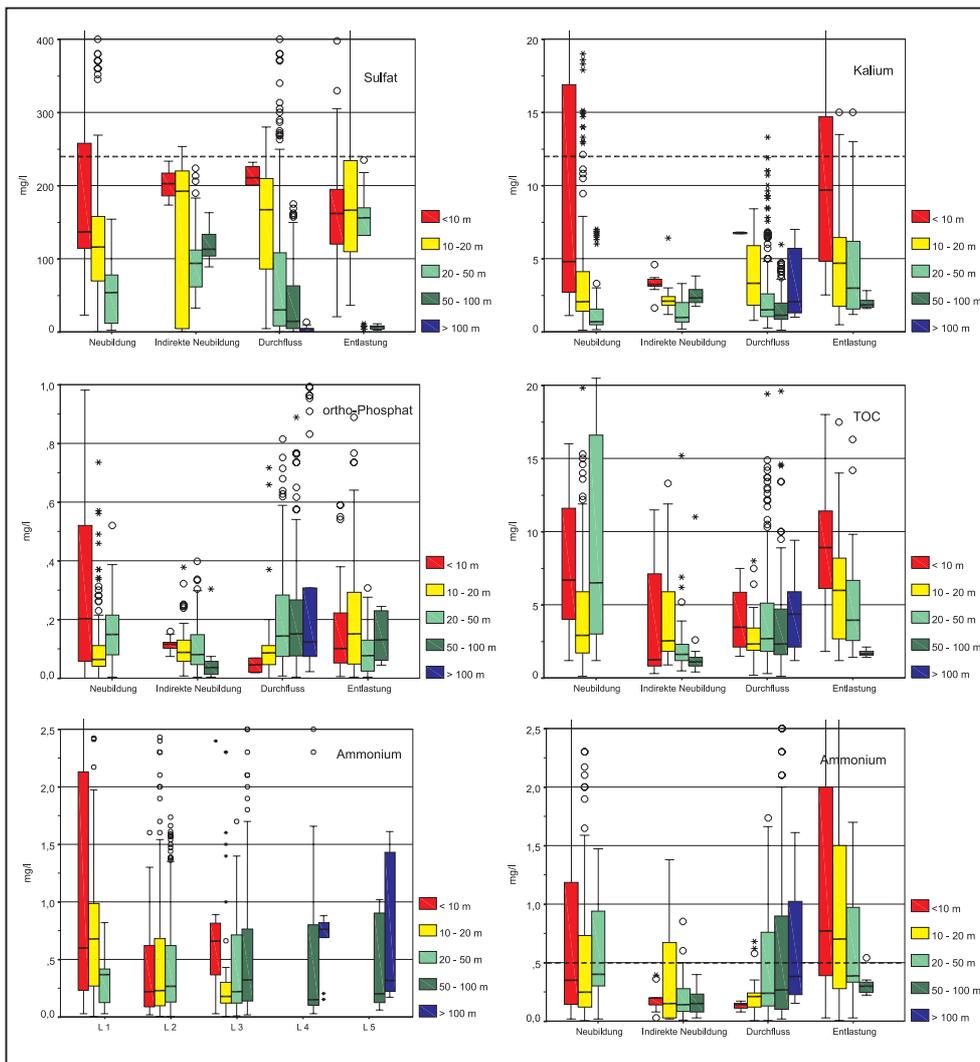


Abb. 4.2b: Boxplotdarstellungen der Konzentrationen ausgewählter Messgrößen innerhalb der hydrogeologischen Struktureinheiten bzw. hydrostratigraphischen Einheiten sowie der Tiefenlagen der ausgebauten Messstellen

(Zur Erläuterung: Kreise und Sterne markieren Ausreißer bzw. Extremwerte in den Verteilungen; gestrichelte Linien markieren den jeweiligen Grenzwert der TrinkwV)

4.3 Hydrochemische Charakterisierung ausgewählter brandenburgischer Grundwässer

Anhand einiger in den letzten Jahren neu gebauter Messstellen werden im Folgenden typische brandenburgische Grundwässer innerhalb verschiedener hydrogeologischer Struktureinheiten und Tiefenklassen anhand der Darstellung der äquivalenten Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe hydrochemisch charakterisiert:

In **Ullersdorf** (NW Lieberose, Reicherskreuzer Sander) ist die Messstelle in einem mächtigen Grundwasserleiter mit etwa 4 m Flurabstand doppelt ausgebaut (Abb. 4.3). Der **Oberpegel** befindet sich in einer Tiefe von 6 bis 7 m unter Gelände. Das Grundwasser zeigt bei pH-Werten unterhalb von 6 deutlich neubildungsgeprägte hydrochemische Eigenschaften mit dem fast ausschließlichen Auftreten von Sulfat im Anionenkomplex und einer geogenen Mineralisation von etwa 6 mmol/l (eq).

Der **Unterpegel** ist in einer Tiefe von fast 50 m an der Sohle des kalkfreien Grundwasserleiters ausgebaut. Er zeigt, obwohl im Hangenden fast ausschließlich Sande liegen und die Messstelle der „indirekten Neubildung“ zugeordnet wird, bereits deutliche Anzeichen eines älteren Grundwassers in einem Durchflussgebiet mit der Dominanz von Hydrogencarbonat gegenüber dem fast vollständig reduzierten Sulfat. Die Mineralisation hat sich gegenüber dem Wasser des

Oberpegels mit nunmehr 7 mmol/l (eq) aufgrund des in dem sandigen Substrat nicht vorhandenen Angebots an löslichen Komponenten nur geringfügig geändert. Beide Messstellen führen Wasser mit beginnenden Versauerungsanzeichen (s. Kap. 4.4).

Die Messstelle in **Fürstenberg** liegt im nordbrandenburgischen Hügelland innerhalb eines großräumigen Grundwasser-Neubildungsgebietes. Der Filter der Messstelle befindet sich in einem mächtigen Grundwasserleiter. Der Flurabstand beträgt knapp 8 m. Der Grundwasserleiter ist durch eine geringmächtige schluffige Zwischenschicht unterteilt (Abb. 4.4). Die unter dieser Zwischenschicht in 24 m Tiefe ausgebaute Messstelle repräsentiert ein „Indirektes Neubildungsgebiet“. Das hier versickernde Niederschlagswasser strömt nicht auf direktem Weg dem Grundwasserleiter zu.

Das Wasser zeigt hinsichtlich der Anteile seiner Lösungskomponenten mit dem quantitativ etwa gleichen Auftreten von Hydrogencarbonat und Sulfat Anzeichen einer solchen indirekten (oder älteren) Neubildung. Die Mineralisation von etwa 9 mmol/l (eq) bestätigt dieses Erscheinungsbild ebenfalls. Sie liegt jedoch aufgrund des jungpleistozänen Substrates des Grundwasserleiters etwas höher als in Ullersdorf, wo das

Abb. 4.3:
Doppelt ausgebaute Messstelle
Ullersdorf (links) mit hydro-
chemischer Charakteristik
(rechts)

(Zur Erläuterung: Kürzel der
Schichtbeschreibung entsprechen
Kürzeln der DIN 4049, z. B. „G:Mg“:
Geschiebemergel, „fs1“: sehr schwach
feinsandig, „mS4“: stark mittelsandig,
„gS3“: Grobsand, „u2“: schwach
schluffig, „k1“: sehr schwach kalk-
haltig)

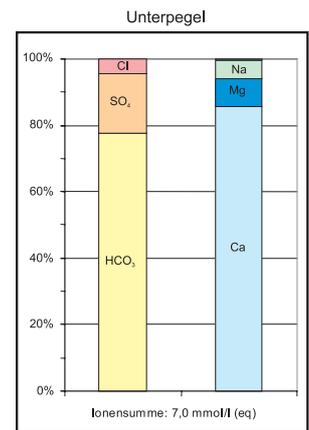
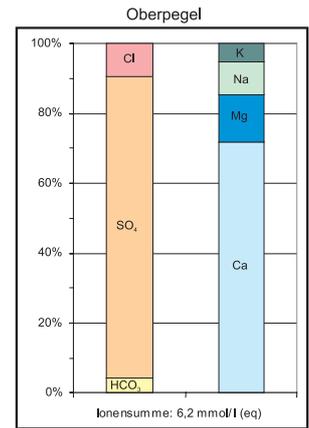
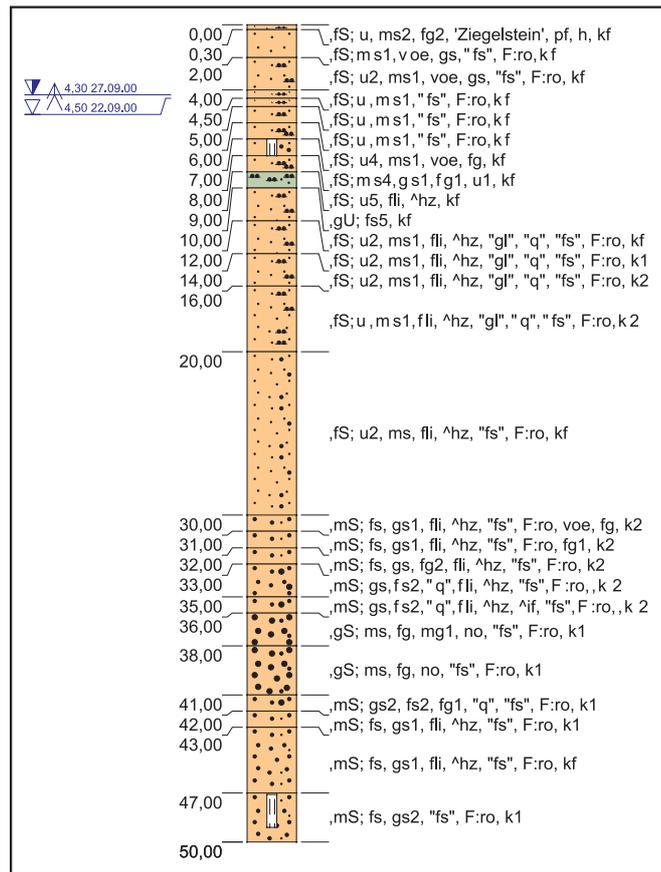
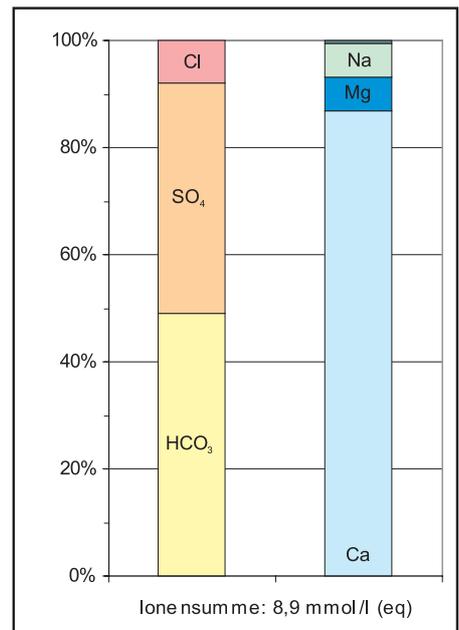
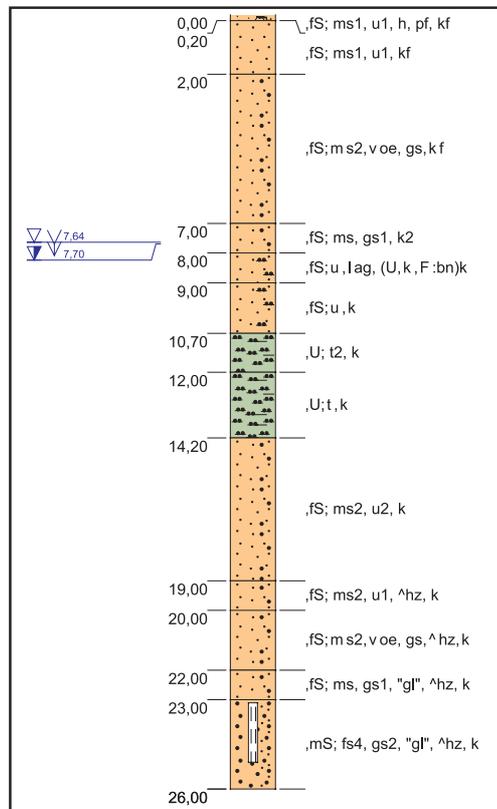


Abb. 4.4:
Messstelle Fürstenberg (Indi-
rekte Neubildung) mit Ausbau
und hydrochemischer Charak-
teristik

(Kürzel der Schichtbeschreibung
entsprechen den in der DIN vorge-
gebenen Kürzeln, s. Abb. 4.3)



altpleistozäne Substrat bereits stärker ausgewaschen bzw. verwittert ist.

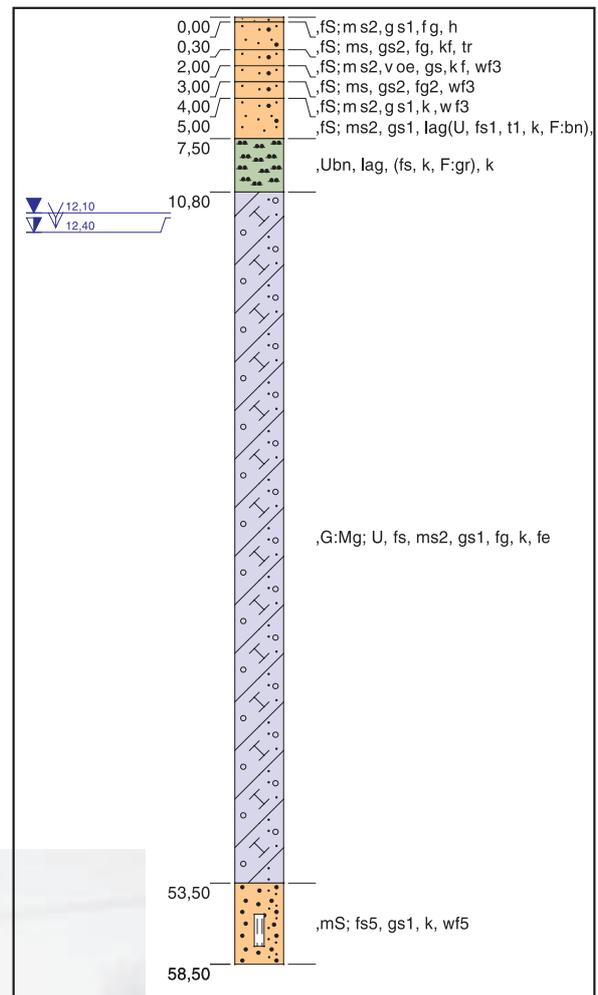
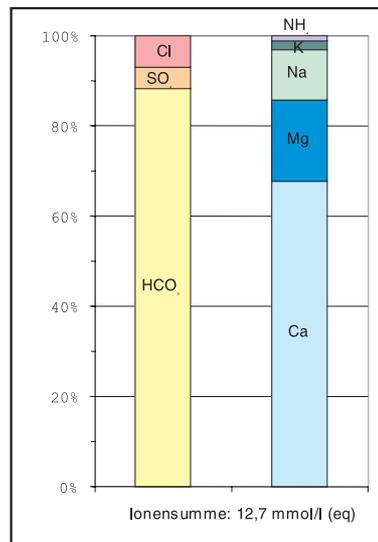
Die Messstelle **Hessenhagen** (Abb. 4.5) in der Uckermark ist in einem tiefliegenden, bedeckten und gespannten Grundwasserleiter in etwa 56 m Tiefe unter einem ca. 43 m mächtigen Geschiebemergel ausgebaut. Der Grundwasserleiter befindet sich in einem typischen „Durchflussgebiet“, in dem die laterale Komponente der Grundwasserströmung gegenüber der vertikalen Komponente deutlich überwiegt.

Das Grundwasser ist aufgrund der größeren Tiefenlage mit etwa 13 mmol/l (eq) höher mineralisiert und wird im Anionenkomplex klar vom Hydrogencarbonat beherrscht.

In **Schleipzig**, in dem als Entlastungsgebiet wirkenden Unterspreewald (Abb. 4.6, links), ist die Messstelle in 6 bis 8 m Tiefe ausgebaut. Aufgrund der Mineralisation von ca. 14 mmol/l (eq) deutet sich eine Beeinflussung des Wassers an, die durch den hydraulischen Kontakt mit älteren tieferliegenden Grundwässern bedingt sein kann. Die Messstelle in **Paulinenaue** (Unterpegel; s. Abb. 4.6, rechts) repräsentiert eine der wenigen im Basismessnetz vorhandenen Messstellen mit eindeutigen Versalzungserscheinungen. Zu erkennen ist dies anhand der Mineralisation von 81 mmol/l (eq) und der klaren Dominanz von Chlorid und Natrium. Die absoluten Chloridkonzentrationen liegen bei ca. 1.200 mg/l. Der am Standort befindliche Oberpegel ist in ca. 8 m Tiefe oberhalb des Geschiebemergels ausgebaut. Der Oberpegel weist ebenfalls (abgeschwächte) Versalzungserscheinungen auf, die durch die Lage in der Randsenke eines mesozoischen Salzdiapirs verursacht sind.

Abb. 4.5:
Messstelle Hessenhagen
(Durchfluss) mit Filterausbau
und hydrochemischer Charakteristik

(Kürzel der Schichtbeschreibung entsprechen den in der DIN vorgegebenen Kürzeln, s. Abb. 4.3)



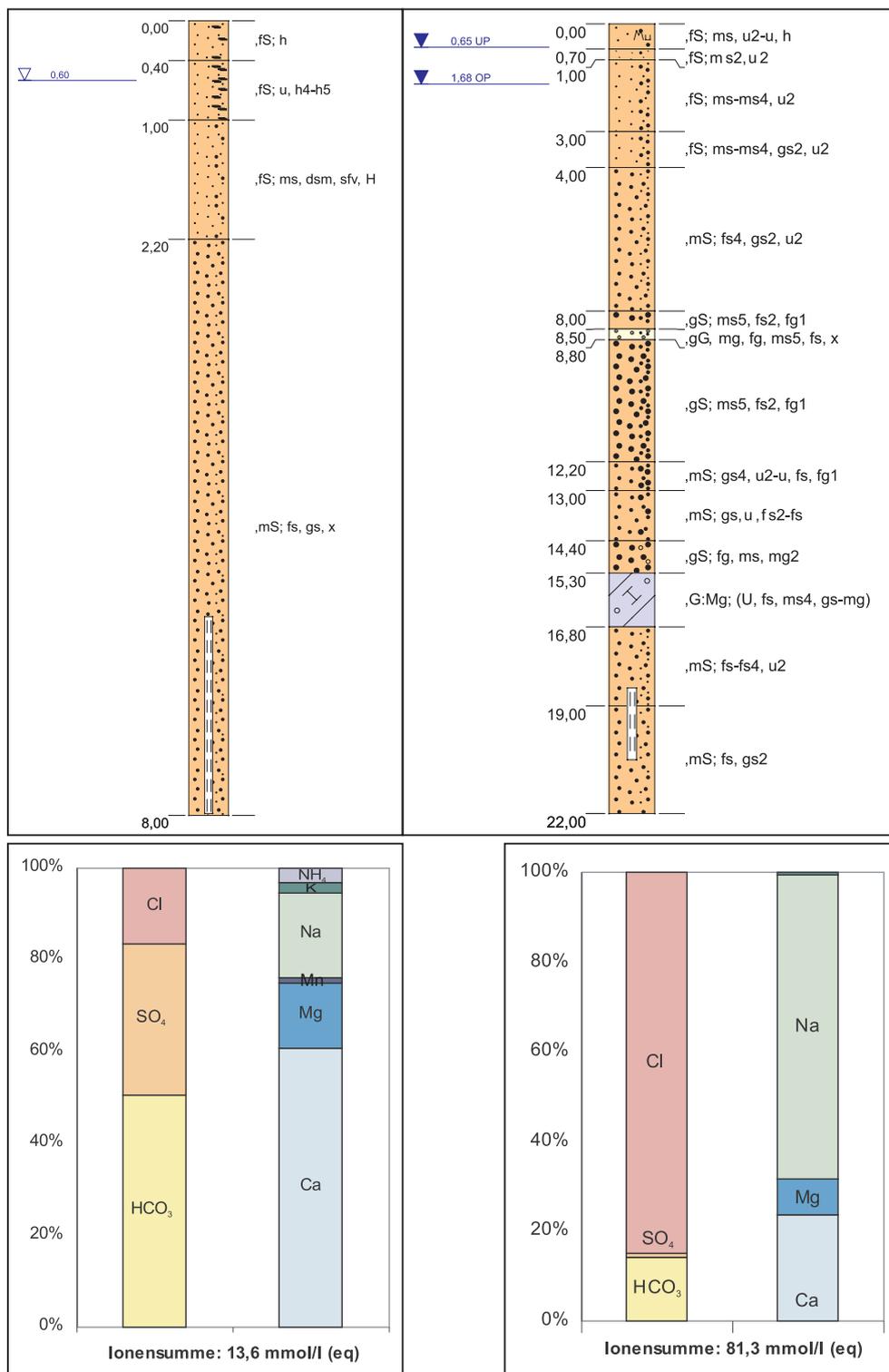


Abb. 4.6:
Messstelle Schlepzig (Entlastung, links) und Paulinenaue (Versalzung, rechts)

(Kürzel der Schichtbeschreibung entsprechen den in der DIN vorgegebenen Kürzeln, s. Abb. 4.3)

4.4 Überschreitung von Grenzwerten nach Trinkwasserverordnung

4.4.1 Basismessnetz

Tabelle 4.1 dokumentiert Angaben zu Überschreitungen der Grenzwerte der TrinkwV (1990) bei den Analysen des Basismessnetzes. Diesen Angaben liegen wie bei der Berechnung der statistischen Kennwerte Analysen mit einem Ionenbilanzfehler unter 10 % zu Grunde.

Die Spalte „Anzahl > GW TrinkwV“ enthält Angaben zur Häufigkeit der Messwerte, die über bzw. beim pH-Wert unter dem jeweiligen Grenzwert der TrinkwV (Spalte „Grenzwert“) liegen. Die Spalte „Anteil > GW TrinkwV“ enthält prozentuale Angaben der Überschreitungen im Verhältnis zur Gesamtzahl der bewerteten Analysen. Im Folgenden wird exemplarisch bei einigen Parametern auf Überschreitungen hingewiesen.

Parameter	Grenzwert	Anzahl > GW TrinkwV	Anteil > GW TrinkwV
pH-Wert	< 6,5 / > 9,5	113 / -	9%
Leitfähigkeit	2.000 µS/cm	28	2%
Chlorid	250 mg/l	25	2%
Sulfat	240 mg/l	129	10%
Kalzium	400 mg/l	1	-
Magnesium	50 mg/l	1	-
Mangan	0,05 mg/l	1.011	91%
Natrium	150 mg/l	33	3%
Kalium	12 mg/l	120	9%
Eisen	0,2 mg/l	1.096	90%
Ammonium	0,5 mg/l	422	35%
Nitrat	50 mg/l	46	4%
Nitrit	0,1 mg/l	25	2%
Arsen	10 µg/l	20	3%
Blei	40 µg/l	-	-
Cadmium	5 µg/l	-	-
Chrom	50 µg/l	0	-
Nickel	50 µg/l	1	-
Quecksilber	1 µg/l	-	-
Aluminium	200 µg/l	19	2%
Bor	1 mg/l	-	-
Kupfer	3.000 µg/l	-	-
Zink	5.000 µg/l	2	-
Fluorid	1,5 mg/l	-	-
Σ Einzelstoffe LHKW*	10 µg/l	-	-
Σ Einzelstoffe PAK*	0,2 µg/l	8	1,1%
Σ Einzelstoffe PCB*	0,5 µg/l	-	-
Σ Einzelstoffe PSM*	0,5 µg/l	4	0,3%

Tab. 4.1:
Anzahl und Anteile von
Überschreitungen der Grenzwerte (GW) nach TrinkwV (Basismessnetz)

* Angaben zu den organischen Messgrößen wurden jeweils auf die Summe der Einzelstoffe bezogen

Wie bereits in den Jahren 1992 bis 1995 liegt etwa ein Drittel der **Ammonium**werte oberhalb des Grenzwertes der TrinkwV (89 von 222 Messstellen). Bei den Parametern **Sulfat** und **Kalium** überschreiten 10 bzw. 9 % der Analysen den Grenzwert, wovon 27 bzw. 31 Messstellen betroffen sind. Bei 12 Messstellen liegt sowohl der Kalium- als auch der Sulfatgehalt über dem Grenzwert der TrinkwV.

Von den Grenzwertüberschreitungen bei **Chlorid** entfallen 21 von 25 Analysen auf die geogen salinar geprägten Messstellen in Paulinenaue, die restlichen auf die im Oderbruch gelegenen und oberflächennah ausgebauten Messstellen Neureetz und Sophienthal. Auch bei den Ammoniumwerten dieser Messstellen wird erkennbar, dass die Bewertung von Analysen nicht allein durch den Abgleich mit Grenzwerten vorgenommen werden darf. Vielmehr ist die Grundwasserbeschaffenheit unter Einbeziehung aller naturräumlicher Faktoren zu betrachten (s. Kap. 4.5).

Abbildung 4.7 zeigt in grafischer Form den Vergleich der Messwerte des Basismessnetzes ausgewählter Parameter bzw.

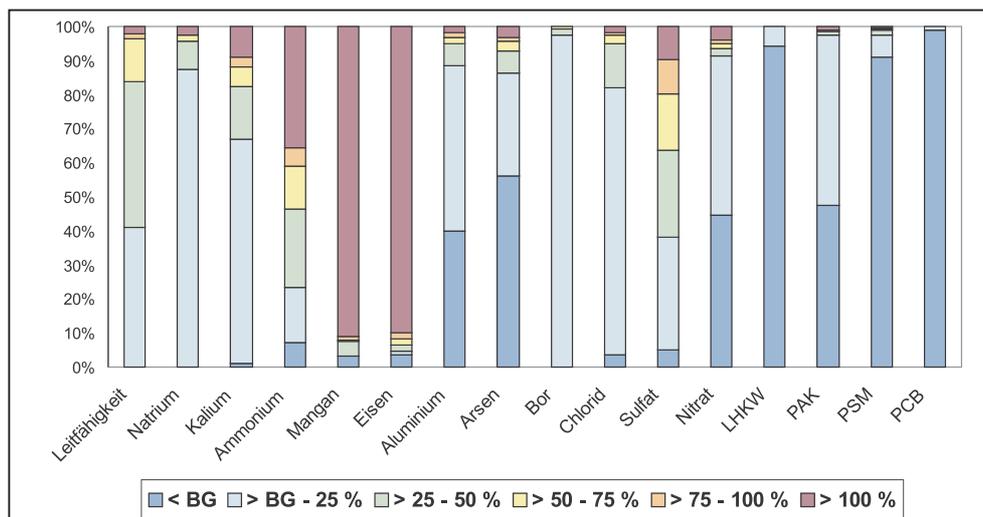
Parametergruppen mit den Grenzwerten der TrinkwV. Farblich unterschieden werden anteilige Überschreitungen des parameterbezogenen Grenzwertes:

Bei den **Hauptinhaltsstoffen** ist Ammonium bei weitem am häufigsten von Überschreitungen des Grenzwertes bzw. von der Belegung höherer prozentualer Anteile des Grenzwertes betroffen. So liegt z.B. mehr als die Hälfte aller Messwerte über dem halben Wert des Grenzwertes von 0,5 mg/l. Sulfat und Kalium sind weitere Hauptinhaltsstoffe, deren Messwerte häufiger in der Nähe oder oberhalb des jeweiligen Grenzwertes liegen. Dagegen treten bei Nitrat und Chlorid in über 90 % der Fälle Gehalte unter dem jeweils halben Grenzwert auf.

Bei den **Metallen** Arsen und Aluminium wurden bei etwa der Hälfte der Analysen Werte über der Bestimmungsgrenze festgestellt. Grenzwertüberschreitungen treten bei etwa jeder 33. Arsen- bzw. 50. Aluminiumanalyse auf, spielen aber bei den übrigen Metallen außer bei Mangan und Eisen (geogen bedingte hohe Konzentrationen) keine Rolle (Tab. 4.1).

Abb. 4.7:
Messwertverteilung im Verhältnis zum Grenzwert der TrinkwV (Basismessnetz)

BG: Bestimmungsgrenze



Tab. 4.2:
Überschreitungen des Grenzwertes der TrinkwV für PSM als Einzelstoff im Basismessnetz, sortiert nach der relativen Häufigkeit der messstellenbezogenen Überschreitungen

Parameter (PSM-Wirkstoff)	Anzahl	Werte <BG	Werte >BG	Anteil >BG [%]	Werte >GW	Anteil >GW [%]	Messst. >GW	Messst. ges.	Messst. >GW [%]
Mecoprop	662	636	26	3,9	17	2,6	15	195	7,7
Metazachlor	451	442	9	2,0	5	1,1	4	186	2,2
2,4,5-TP	625	618	7	1,1	4	0,6	4	194	2,1
D-Säure, 2,4-	625	619	6	1,0	4	0,6	4	195	2,1
2,4-DB	476	459	17	3,6	4	0,8	3	189	1,6
MCPA	645	633	12	1,9	3	0,5	3	192	1,6
Desisopropylatrazin	451	443	8	1,8	2	0,4	2	186	1,1
2,4,5-T-Säure	666	662	4	0,6	2	0,3	2	195	1,0
Desethylatrazin	451	445	6	1,3	1	0,2	1	186	0,5
Atrazin	451	446	5	1,1	2	0,4	1	186	0,5
Dichlorprop	580	578	2	0,3	1	0,2	1	195	0,5
Simazin	451	450	1	0,2	1	0,2	1	186	0,5
Lindan	1.240	1.208	32	2,6	-	-	-	-	-
HCH, alpha	1.105	1.094	11	1,0	-	-	-	-	-
Parathion-ethyl	962	953	9	0,9	-	-	-	-	-
DDT, p,p'	1.240	1.236	4	0,3	-	-	-	-	-
MCPB	740	738	2	0,3	-	-	-	-	-
Bentazon	726	724	2	0,3	-	-	-	-	-
Parathion-methyl	965	963	2	0,2	-	-	-	-	-
Metolachlor	451	450	1	0,2	-	-	-	-	-
DDD, p,p'	1.241	1.240	1	0,1	-	-	-	-	-
Endosulfan, beta	903	902	1	0,1	-	-	-	-	-

(Zur Erläuterung:
GW: Grenzwert
BG: Bestimmungsgrenze
Nur PSM mit Werten über der Bestimmungsgrenze wurden in der Tabelle berücksichtigt.)

Bei den **organischen Einzelparametern** aus den Parametergruppen der in Tabelle 4.1 und Abbildung 4.7 zusammenfassend dargestellten LHKW, PAK, PSM und PCB sind insbesondere die PAK auffällig. Bei etwa jeder zweiten Analyse wurde ein Wert über der Bestimmungsgrenze festgestellt. Dies hängt mit den sehr niedrigen BG von 3–7 ng/l bei den Einzelparametern (s. Anhang 4) in Verbindung mit dem Grenzwert von 200 ng/l in der TrinkwV zusammen und ist nicht als Anzeichen einer ubiquitären PAK-Belastung zu interpretieren.

Tabelle 4.2 dokumentiert Angaben zu der Häufigkeit bzw. den prozentualen Anteilen von Überschreitungen der Messwerte von PSM in Bezug auf den Grenzwert für den Einzelstoff in der TrinkwV. Ausgewertet wurden alle Werte des Basismessnetzes. Eine Messstelle erscheint in der Spalte „Messst. > GW“, wenn mindestens eine Analyse den Grenzwert überschreitet.

Mecoprop ist das am häufigsten quantifizierte PSM. Es wurde in 26 von 662 Analysen mit Werten über der Bestimmungsgrenze erfasst (entspricht ca. 4 %). 17 dieser 26 Messwerte liegen über dem Grenzwert der TrinkwV (2,6 %). Hiervon betroffen sind 15 der 195 Messstellen, deren Proben auf diesen Stoff untersucht wurden (ca. 8 %). Alle übrigen PSM wurden bei jeweils deutlich weniger als 2 % der Messstellen in Konzentrationen oberhalb des Grenzwertes der TrinkwV quantifiziert.

Werte der Messstellen, die von PSM-Befunden betroffen sind, werden einer gesonderten Betrachtung unterzogen. Trotz der vorliegenden Einzelbefunde kann zu den in Tabelle 4.2 dokumentierten Ergebnissen eingeschätzt werden, dass die Grundwasserbeschaffenheit im Land Brandenburg bezüglich des Vorhandenseins von PSM bei den Messstellen des Basismessnetzes im Vergleich zu anderen Bundesländern nicht als

problematisch zu bewerten ist. Durch eine gezielte PSM-Überwachung ist auch zukünftig der Belastungszustand des Grundwassers, insbesondere bei landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten zu erfassen.

4.4.2 Sondermessnetz Nitrat

Tabelle 4.3 dokumentiert die Grenzwertüberschreitungen der Analysen des Nitratmessnetzes. Der prozentuale Anteil der Messwerte, die über dem Grenzwert der TrinkwV von Nitrat liegen, ist im Vergleich zu den Überschreitungen im Basismessnetz (Tab. 4.1) entsprechend der Messnetzausrichtung deutlich höher (67 % zu 4 %).



Interessant sind Vergleiche mit Werten von weiteren Parametern des Basismessnetzes. Kalium und Nitrit liegen bei den Messstellen des Nitratmessnetzes in deutlich höheren Konzentrationen als im Basismessnetz vor. Bei Ammonium, Eisen und Mangan hingegen treten Überschreitungen der Grenzwerte seltener als im Basismessnetz auf. Dies ist mit dem hydrochemischen Verhalten der Stoffe unter bestimmten Redoxbedingungen zu erklären.

Die Grundwässer des Sondermessnetzes haben durchgängig erhöhte Nitratwerte. Es liegt ein oxidiertes Milieu vor, wo gelöste reduzierte Stoffe (Fe-II, Mn) zumeist nur in geringen Konzentrationen enthalten sind. Sulfat weist zwar durchgängig Konzentrationen unter dem Grenzwert von 240 mg/l auf. Jedoch ist die Mehrzahl der Werte gegenüber denen des Basismessnetzes ebenfalls erhöht (z. B. 50-Perzentil: 131 mg/l Sulfat gegenüber 85 mg/l).

Tab. 4.3: Anzahl und Anteile von Überschreitungen der Grenzwerte (GW) nach TrinkwV (Nitratmessnetz)

Messgröße	Grenzwert TrinkwV	Anzahl >GWTrinkwV	Anteil >GWTrinkwV [%]
Leitfähigkeit	2.000 µS/cm	0	0
pH-Wert	< 6,5 / > 9,5	16 / 0	21
Chlorid	250 mg/l	0	0
Sulfat	240 mg/l	0	0
Kalzium	400 mg/l	0	0
Magnesium	50 mg/l	0	0
Mangan	0,05 mg/l	26	53
Natrium	150 mg/l	0	0
Kalium	12 mg/l	19	25
Eisen	0,2 mg/l	14	25
Ammonium	0,5 mg/l	3	5
Nitrat	50 mg/l	40	67
Nitrit	0,1 mg/l	15	26
Fluorid	1,5 mg/l	0	0
Bor	1 mg/l	0	0

4.5 Beeinflussungstypen der Grundwasserbeschaffenheit

Die im Jahr 2000 betriebenen Messstellen des Basismessnetzes wurden anhand ihrer Beschaffenheitsdaten bezüglich potenzieller anthropogener Beeinflussungen bewertet. Die Datengrundlage hierfür war aufgrund der zeitlich unterschiedlichen Inbetriebnahme der Messstellen seit 1995 sehr verschieden. Bewertet wurden nur Messstellen, bei denen Ergebnisse von mindestens drei aufeinander folgenden Messungen vorlagen, d.h. die spätestens 1998 errichtet wurden. Dies betrifft 166 Messstellen.

Die Beeinflussungstypen sind ein Maß für die Einordnung einer Messstelle in das Basismessnetz. Die natürliche chemische Beschaffenheit von Umweltmedien wird in der deutschsprachigen Fachliteratur als Background-, überwiegend jedoch als Hintergrundkonzentrationen angesehen (HELLMANN 2001). Diese kann z.B. als ausschließliche gesteins- bzw. mineralbürtige Konzentration vorliegen. Häufig wird jedoch auch die ubiquitäre

Belastung einbezogen, der das oberflächennahe Grundwasser heute flächendeckend ausgesetzt ist.

Andere Autoren schlagen ein rangstatistisches Verfahren vor, mit dem die Hintergrundkonzentration, der Schwellenbereich der diffusen oder ubiquitären Vorbelastung sowie der Bereich der eindeutig anthropogenen Belastung ausgewiesen werden können. Als Grenzen der jeweiligen Bereiche definieren sie das 84,1- bzw. 95-Perzentil. Ersterer Wert entspricht im Falle einer Normalverteilung der Summe aus Mittelwert und einfacher Standardabweichung. Letzterer stellt einen Kompromiss zwischen rein statistischen Aspekten und Merkmalen des von den Autoren bewerteten Datensatzes dar (SCHLEYER & KERNDORFF 1992).

Ein darauf aufbauendes, ebenfalls rangstatistisches Verfahren wurde anhand der Bewertung der brandenburgischen Altdaten

aus hydrogeologischen Erkundungsarbeiten entwickelt (LUA 1996b) und in LUA (1996c) modifiziert. Dieses Verfahren definiert „Typen der Grundwasserbeeinflussung“, die anthropogen (z.B. „kommunale Abwässer“), geogen (z.B. „salinare Beeinflussung“) oder nicht eindeutig (z.B. „diffus beeinflusst“) überprägt sind.

Den ausgewiesenen Typen der Grundwasserbeeinflussung liegen jeweils Schwellenwerte (LUA 1996b) zu Grunde, die in einer definierten Reihenfolge der Zuordnung angewendet werden. Für die Zuordnung der Messstellen des Basismessnetzes wurde folgende zweistufige Herangehensweise gewählt:

- Zunächst wurden sämtliche Einzelanalysen anhand des Algorithmus und der Schwellenwerte einem Typ der Beeinflussung zugeordnet.
- Anschließend wurde bei unterschiedlichen Zuordnungsergebnissen pro Messstelle nach fachlichen Kriterien (z.B. Tiefe des Filterausbaus, Mächtigkeit überlagernder grundwasserhemmender Deckschichten) eine Bewertung durchgeführt, in deren Ergebnis ein Typ ausgewählt wurde, der als dominant für die Messstelle angesehen wird.

Diese individuelle Herangehensweise hat sich als erforderlich erwiesen, da eine schematische Zuordnung von Schwellenwerten zu einer Messstelle oft unterschiedliche Ergebnisse pro Analyse lieferte. Dies trifft insbesondere auf Typen zu, die anhand der Werte von Leitparametern organischer Verbindungen anthropogenen Ursprungs ausgewiesen wurden. Acht Typen der Beeinflussung wurden definiert. Sie werden im Folgenden benannt, wobei zugleich auf Modifikationen bei der Zuordnung der Messstellen zu den Beeinflussungstypen im Vergleich zu der Vorgehensweise in LUA (1996c) hingewiesen wird:

- (1) **Industrielle Beeinflussung:** wiederholte Grenzwertüberschreitung bei organischen Verbindungen anthropogenen Ursprungs (LHKW, PAK, PSM bei gleichzeitig nicht auffällig erhöhten Nährstoffgehalten) oder von Metallen,
- (2) **Kommunale Abwässer:** wiederholte Bestimmung von Bor in Konzentrationen über 0,08 mg/l (SCHLEYER & KERNDORFF 1992),
- (3) **Versauerung:** überwiegende Unterschreitung des Grenzwertes von pH 6,5, der als „Initialstadium der Grundwasserversauerung im Lockergestein“ postuliert wird,
- (4) **Pestizide:** wiederholte Grenzwertüberschreitung bei PSM in Verbindung mit erhöhten Nährstoffgehalten; PSM-Eintrag kann sowohl landwirtschaftlich bedingt sein als auch in räumlicher Nähe zu Siedlungsgebieten vorkommen,
- (5) **Nährstoffe:** Überwiegen von Nährstoffgehalten (N, P, K) oberhalb der Schwellenwerte (LUA 1996b,c); dieser Typ kann nicht eindeutig der landwirtschaftlichen Produktion zugeordnet werden,
- (6) **diffus beeinflusst:** Dominanz der Konzentrationen über dem jeweiligen Schwellenwert bei den Leitparametern Nitrat, Ammonium, Chlorid, Sulfat, Kalium, Natrium, Gesamthärte und elektrische Leitfähigkeit (LUA 1996b, c); nach SCHLEYER & KERNDORFF (1992) liegen Grundwässer im Übergangsbereich zwischen geogenem Hintergrund und anthropogener Beeinflussung,
- (7) **salinar beeinflusst:** Nachweis geogener Versalzung mit Chlorid-Werten über 140 mg/l (entspricht 95-Perzentil bei hydrochemischen Altdaten, LUA 1996b),

(8) **Natrium-Hydrogencarbonat-Typ:** bei nachgewiesenem geogenen Ionenaustausch, d.h. höheren (äquivalenten) Hydrogencarbonat- als Erdalkali- (Ca+Mg) Konzentrationen.

Abbildung 4.8 zeigt die Anteile der Typen in Bezug auf die 166 bewerteten Messstellen. Die Ionenaustauschwässer sind zusammen mit den „unbeeinflussten“ Wässern dargestellt. Im Vergleich zu der in LUA (1996c) dokumentierten Verteilung fallen ein niedrigerer Anteil der „unbeeinflussten“ (44 % zu 59 %) sowie höhere Anteile der „diffus beeinflussten“ (24 % zu 13 %) und der Wässer des Nährstoff-Typs (13 % zu 7 %) auf.

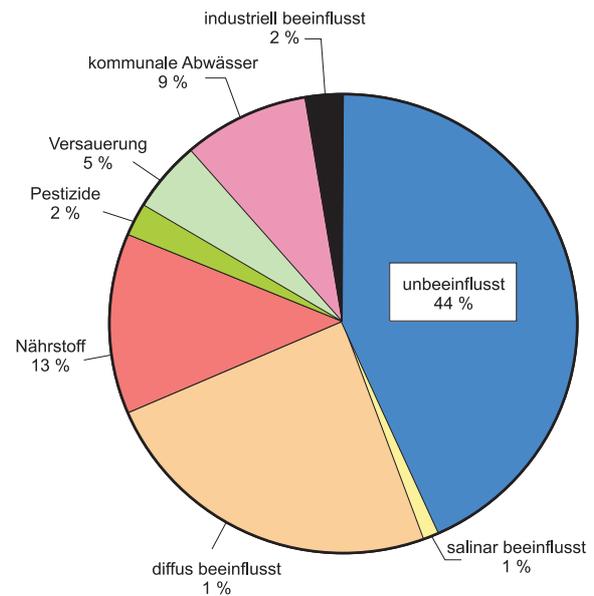


Abb. 4.8: Anteile der Beeinflussungstypen pro Messstelle

Somit zeichnet sich der Trend einer zunehmenden Belastung des Grundwassers durch diffuse Schadstoffeinträge ab. Die im Zeitraum von 1995 bis 2000 ermittelten prozentualen Anteile von anthropogen beeinflussten Messstellen sind höher als jene, die bei der Bewertung hydrochemischer Altdaten aus hydrogeologischen Erkundungen (LUA 1996b) festgestellt wurden. Dem hier zu Grunde liegenden Messstellenbestand kann aufgrund seines großen Umfanges ein hoher Grad an Repräsentativität in Bezug auf die Landesfläche zugesprochen werden. Der sich abzeichnende Trend ist jedoch durch die Ergebnisse des fortlaufenden Monitorings zu bestätigen, da die bisherige Datengrundlage infolge der Umstrukturierung des Basismessnetzes von 1992 bis 2000 inhomogen ist (s. Kap. 2).

Den Zusammenhang zwischen den Anteilen der ausgewiesenen Typen und den Teufenbereichen, aus denen die Grundwasserproben entnommen wurden bzw. den hydrostratigrafischen Einheiten zeigt Abbildung 4.9.

Bei oberflächennah ausgebauten Messstellen wurde nur etwa jede fünfte als „unbeeinflusst“ bewertet, während mehr als die Hälfte nährstoff- bzw. diffus beeinflusst ist.

Auch die Typen „Versauerung“ und „PSM“ zeigen einen eindeutigen Bezug zur Tiefe. Es ist ersichtlich, dass die Versauerung bereits bis in den Bereich von 20 bis 50 m reicht. Umgekehrt nehmen die Ionenaustausch- und unbeeinflussten Messstellen mit der Tiefe klar zu. Ab 50 m Tiefe treten die anthropogen beeinflussten Messstellen deutlich zurück.

Die Zusammenhänge zwischen der Art der Beeinflussung und der hydrostratigrafischen Zuordnung (Erläuterungen zu den Kürzeln „L1“ bis „L 5“ s. Tab. 2.2) sind ähnlich deutlich. Die

beiden oberen, weichsel- und saalezeitlichen Grundwasserleiter unterscheiden sich bezüglich der Anteile der als „beeinflusst“ bewerteten Messstellen auffällig von den älteren Bildungen.

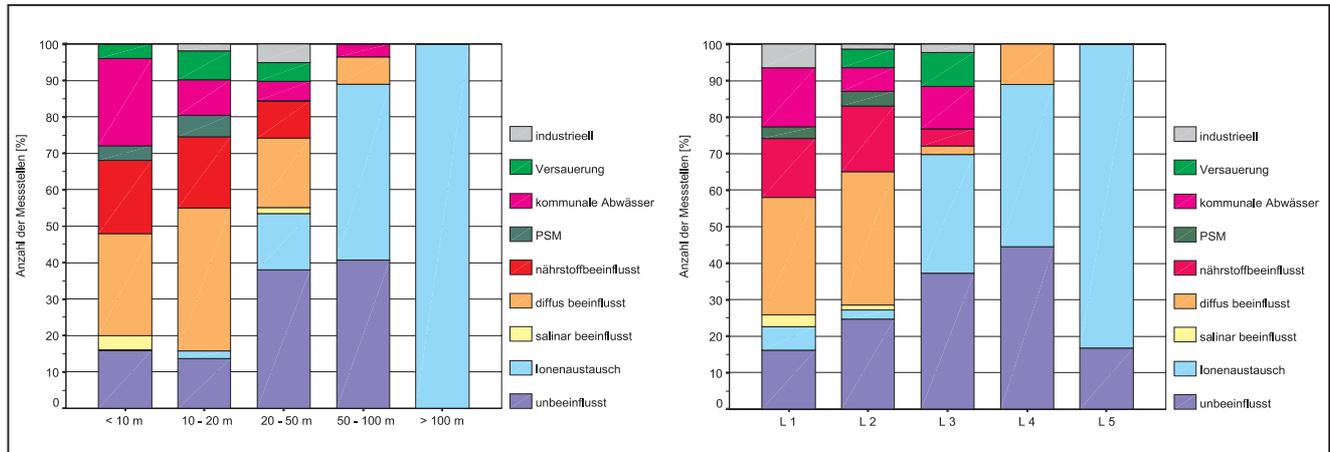


Abb. 4.9: Prozentuale Anteile der Beeinflussungstypen innerhalb der Tiefenstufen (links) bzw. der hydrostratigrafischen Einheiten (rechts)

5 Regionale Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit

Um den zunehmenden internationalen Berichtspflichten Rechnung zu tragen, werden derzeit in Brandenburg oberirdische Flusseinzugsgebiete (FEG) als „Bearbeitungsgebiete“ zur Erfüllung der Anforderungen der EU-WRRL festgelegt. Diese dienen im Folgenden als regionale Grundlage zur Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit.

In Abbildung 5.1 sind diese Bearbeitungsgebiete innerhalb der drei Flussgebietseinheiten Elbe, Oder und Warnow/Peene dargestellt (s. auch LGRB 2002). Es sind Flusseinzugsgebiete zumeist 3., aber auch 2. Ordnung. Zugleich enthält Abbildung 5.1 Informationen zu den länderübergreifenden Koordinierungsräumen sowie den länderübergreifenden Zuständigkeiten innerhalb der Gebiete.

In den folgenden Abbildungen sowie bei der Übersichtskarte im Anhang 3 wurde darauf verzichtet, die in der Abbildung 5.1 dargestellten Zuständigkeiten der verschiedenen Länderbehörden zu integrieren. Die Zuständigkeiten besitzen zum gegenwärtigen Zeitpunkt vorläufigen Charakter.

Für die folgenden Darstellungen zur Grundwasserbeschaffenheit an den Messstellen erfolgte pro Parameter eine fünfstufige Einteilung der Messwerte nach Größenklassen. Bei Mehrfachmessstellen ist in den Karten die mittlere Konzentration des jeweiligen Oberpegels dargestellt.

5.1 Grundwasserbeschaffenheit innerhalb der oberirdischen Flusseinzugsgebiete

5.1.1 Allgemeine Milieuparameter der Grundwasserbeschaffenheit

Die Abbildung 5.2 macht Angaben zur elektrischen Leitfähigkeit. Sie charakterisiert als wichtige Kenngröße die Summe der gelösten Wasserinhaltsstoffe. Sie gibt keine Hinweise zum Auftreten einzelner Stoffe, eignet sich jedoch sehr gut zur Erfassung von Veränderungen in der Zusammensetzung von Wasserinhaltsstoffen, z.B. infolge der Zunahme einer geogenen Grundwasserversalzung oder beim Zutritt von Grundwasser aus einem anderen Horizont.

Unteren Havel bzw. des Rhins. Sehr gering mineralisierte Grundwässer (< 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sind vor allem in den altpleistozänen Grundwasserleitern Südbrandenburgs (z.B. im Flusseinzugsgebiet der Mittleren Spree) zu finden.

Der Ablauf vieler chemischer und biologischer Vorgänge wird durch den **pH-Wert** entscheidend geprägt. Der Reaktionsablauf ist an bestimmte pH-Wert-Bereiche gebunden. Bei gut gepufferten Grundwässern liegt der pH-Wert häufig in der Nähe des Neutralpunktes (6,5 bis 7,5). Die TrinkwV gibt die Einhaltung des pH-Wert-Bereiches von 6,5 bis 9,5 vor. Dieser ist auch für die Existenz der meisten Organismen günstig (LFW 1998).

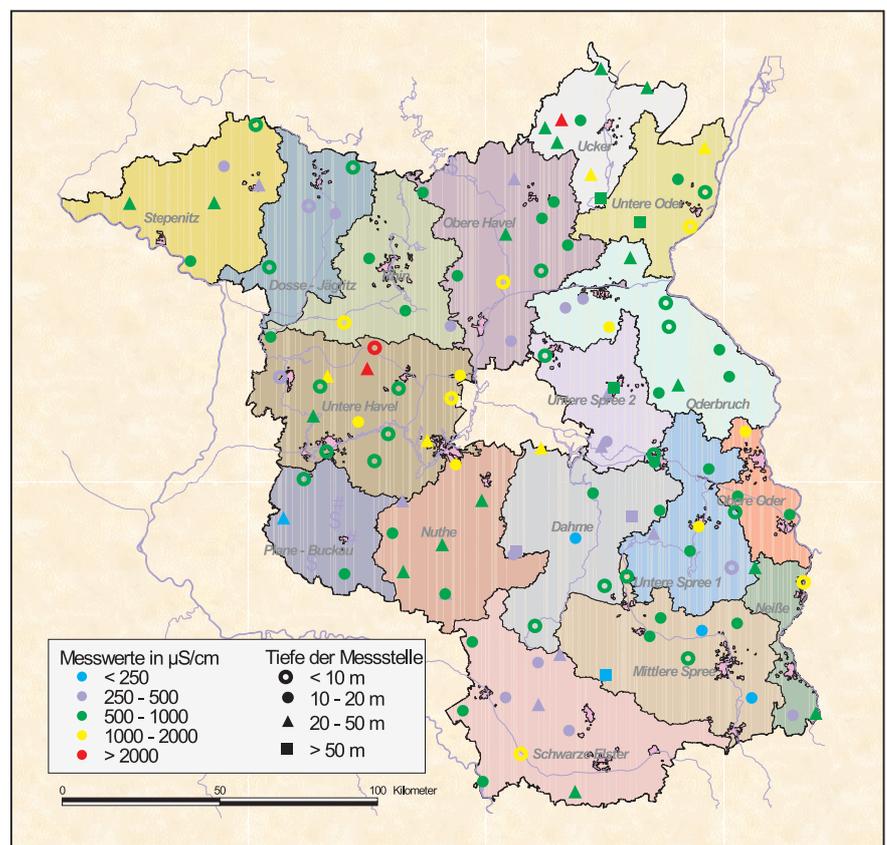
Wie bereits in Abbildung 4.1 (Häufigkeitsverteilungen) und 4.2 (Boxplots) erkennbar ist, treten Überschreitungen des Grenzwertes der TrinkwV im Basismessnetz nur selten auf. Ausnahmen stellen die Parameter Mangan, Eisen und Ammonium dar. Abbildung 5.2 zeigt die regionale Begrenzung einer oberflächennahen Grundwasserversalzung im Grenzgebiet der

Messwerte unterhalb vom pH-Wert 6,5 treten vor allem in den schlecht gepufferten, altpleistozänen und relativ stark ausgewaschenen Grundwasserleitern der FEG Schwarze Elster und Mittlere Spree auf (Abb. 5.3). Aber auch in den Höhenlagen des Flämings (FEG Plane-Buckau) liegen die Werte oftmals

Abb. 5.1:
 Bearbeitungsgebiete zur Umsetzung der
 EU-WRRL in Brandenburg
 (Stand: 31.10.2001)



Abb. 5.2:
 Messwerte der elektrischen Leitfähigkeit
 im Basismessnetz (Mittelwerte pro
 Messstelle im oberflächennahen
 Grundwasser)



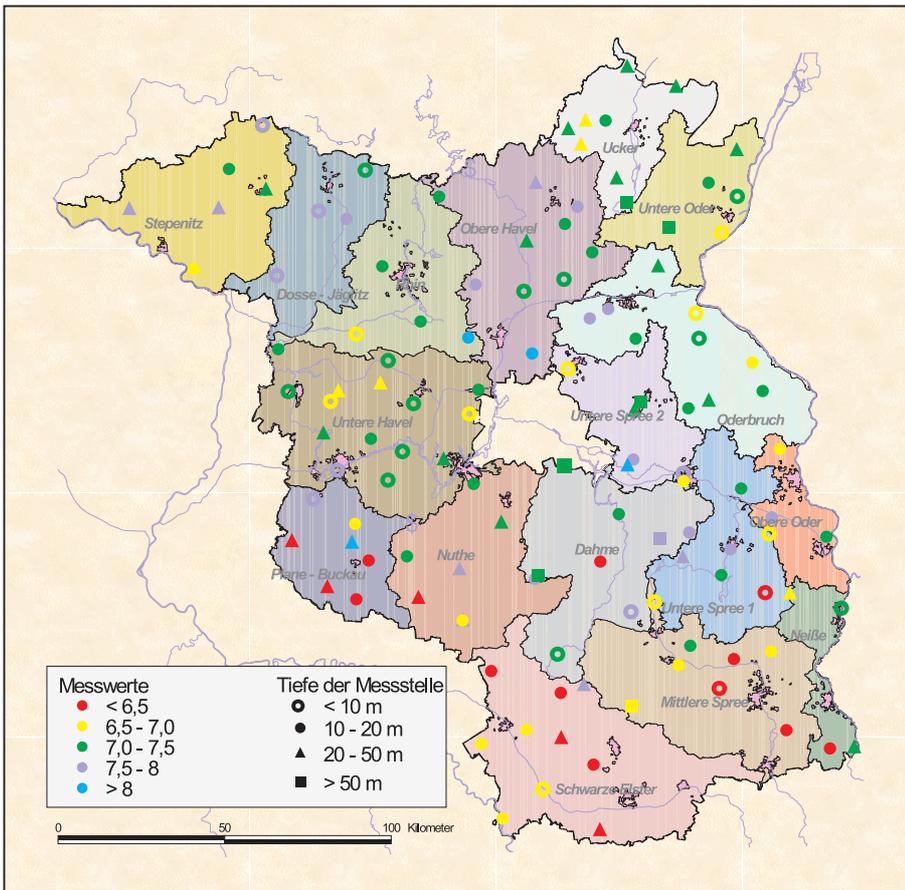


Abb. 5.3:
pH-Werte im Basismessnetz (Mittelwerte pro Messstelle im oberflächennahen Grundwasser)

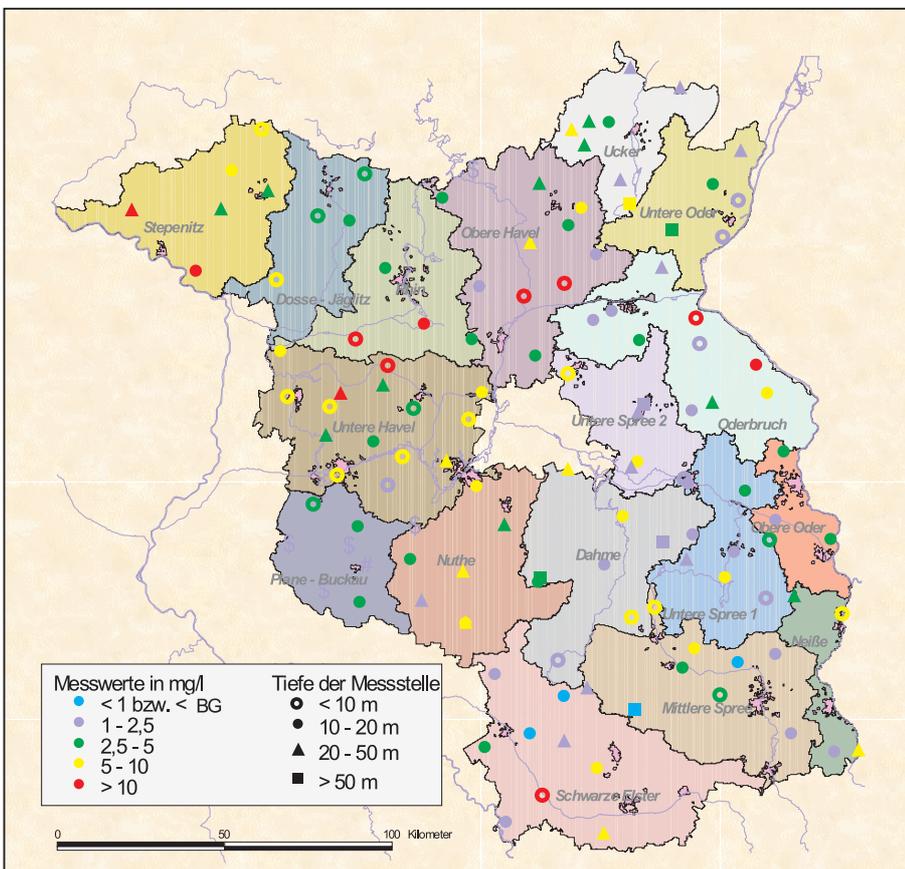


Abb. 5.4:
TOC-Werte im Basismessnetz (Mittelwerte pro Messstelle im oberflächennahen Grundwasser)

unter dem pH-Wert 6,5, während in Nordbrandenburg das oberflächennahe Grundwasser fast durchgängig Werte um pH 7 oder darüber aufweist.

Im Grundwasser sind organische Substanzen gelöst, die zumeist aus der belebten Bodenzone stammen. Die gelösten organischen Stoffe dienen den im Grundwasser lebenden Mikroorganismen als Energie- und Kohlenstoffquelle und werden vor allem in Gegenwart von Sauerstoff in gelöster Form relativ rasch abgebaut. Gelöste organische Stoffe sind oft Ursache von Wasserfärbung und können in kleinsten Mengen als Geruchs- und Geschmacksstoffe wirken. In vielen Fällen sind gelöste organische Stoffe im Grundwasser auf anthropogene Verunreinigungen z.B. durch Abwasser zurückzuführen.

In der TrinkwV existiert kein Grenzwert für den Parameter **TOC**, der neben den gelösten auch nicht gelöste organische Kohlenstoffverbindungen erfasst. Hohe Messwerte (> 10 mg/l) treten sowohl bei geogen versalzten Messstellen in Entlastungsgebieten mit erhöhtem Angebot organischer Substanzen (Torf) als auch bei anthropogen verunreinigten Messstellen des oberflächennahen Grundwassers (FEG Oderbruch) auf. Erhöhte Messwerte im Bereich von 5 bis 10 mg/l sind fast überall in Brandenburg zu finden.

5.1.2 Hauptinhaltsstoffe

Das als Kochsalz bekannte **Natriumchlorid** wird auch in großen Mengen als Chloridlauge auf Straßen im Rahmen des Winterdienstes eingesetzt. Stark erhöhte Chloridgehalte im Grundwasser, die nicht geogen durch aufsteigende versalzene

Tiefenwässer bedingt sind, können als Indikatoren für punktuelle Abwassereinträge, Belastungen aus Deponien sowie für den Einsatz von Düngemitteln verwendet werden, bei denen Chlorid ein Nebenbestandteil ist. Der Grenzwert der TrinkwV für das sich im Grundwasser als idealer Tracer verhaltende Chlorid ist 250 mg/l. Geogen versalzene Grundwässer überschreiten diesen Wert erheblich.

Dies zeigt sich auch bei den Messwerten des Basismessnetzes. Gehalte über 50 mg/l (dieser Wert gilt als Hintergrundkonzentration in Brandenburg) treten jedoch auch verstreut im oberflächennahen Grundwasser auf (z.B. FEG Untere Havel, Mittlere Spree, Oderbruch).

Sulfat ist ein gut wasserlöslicher Gesteinsbestandteil und wird relativ schnell ausgewaschen. Der geogene Hintergrundgehalt der brandenburgischen Grundwässer reicht bis etwa 100 mg/l. Wesentlich höhere Gehalte zeigen Wässer mit geogenen Versalzungserscheinungen, die im Kontakt mit Wässern aus salzhaltigen Gesteinen stehen (zur Lage der Versalzungsgebiete vorwiegend im westlichen Brandenburg s. LGRB 2002) oder huminstoffhaltige Grundwässer bei Kontakt mit überlagernden Torfen, aus denen Sulfat im Frühjahr bei der Mineralisierung organischer Substanzen in Niederungen ausgewaschen werden kann.

Anthropogen bedingt können erhöhte Sulfatwerte infolge landwirtschaftlicher Düngung (direkt und indirekt über mikrobiell gesteuerten Nitratabbau), aufgrund von Sickerwasserströmen von Deponien, durch Abwassereinträge, den Einsatz von PSM, Pyritverwitterung in offen gelassenen

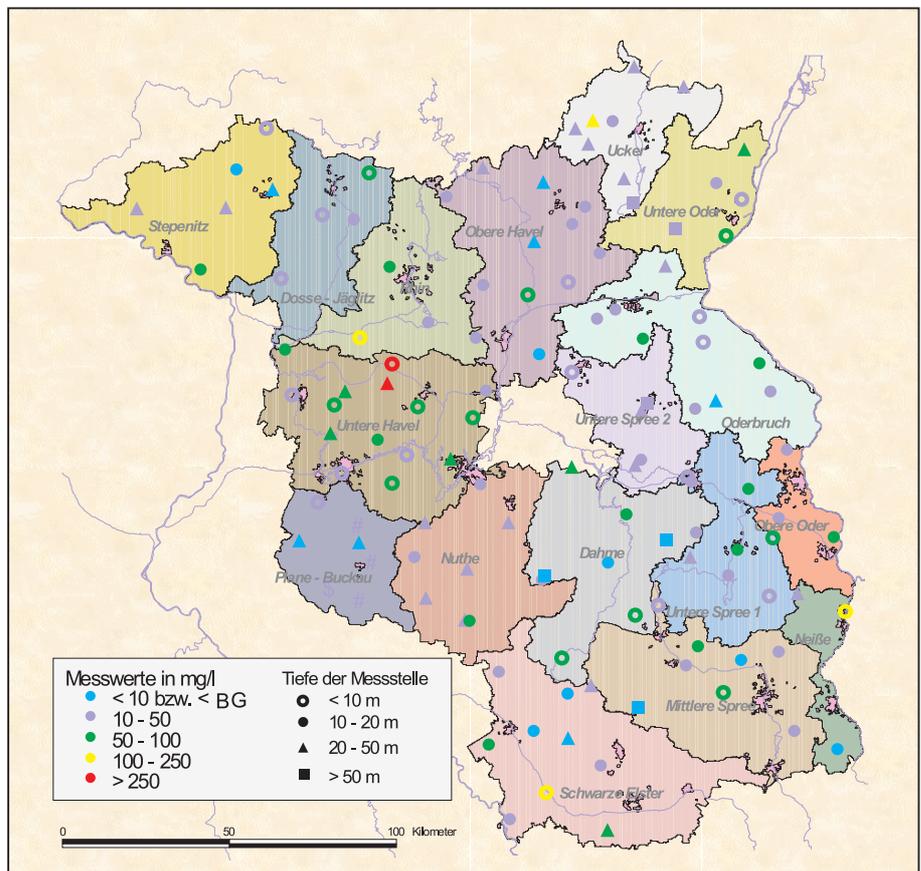


Abb. 5.5: Chloridgehalte im Basismessnetz (Mittelwerte pro Messstelle im oberflächennahen Grundwasser)

Tagebauen oder durch Deposition von Sulfat aus der Luft infolge der Verbrennung fossiler Brennstoffe auftreten. Der Grenzwert der TrinkwV beträgt 240 mg/l.

Die Messwerte des Basismessnetzes zeigen die Vielfalt der genannten Einflüsse. Sowohl Überschreitungen des Grenzwertes als auch Konzentrationen im Bereich der diffusen Beeinflussung treten verstreut im oberflächennahen Grundwasser der meisten FEG auf.

Kalium ist ein Alkalimetall und genau wie Natrium sehr reaktionsfähig. Natürliche Konzentrationen erreichen meistens nur wenige mg/l. In Brandenburg treten Hintergrundwerte bis etwa 3 mg/l (LUA 1996b, Grenzwert der TrinkwV: 12 mg/l) auf. Außer durch die Verwitterung silikatischer Gesteine wird Kalium ständig durch die Mineralisation von totem pflanzlichen Material dem Boden zugeführt. Liegt Kalium in höheren molaren Konzentrationen als Natrium vor, so weist dies auf einen geogen bedingten Ionenaustausch oder auf fäkale Verunreinigungen hin. Auch die landwirtschaftliche Düngung kann zu hohen Werten im Grundwasser führen.

Hohe Kaliumgehalte werden im Basismessnetz in den Proben vieler Messstellen gefunden. Überschreitungen des Grenzwertes treten bei insgesamt 23 Messstellen verstreut über fast alle FEG auf. Der natürliche Hintergrundgehalt wird bei etwa der Hälfte der Messstellen überschritten. Dieses massive Auftreten von erhöhten Konzentrationen kann nicht allein mit dem begrenzten Auftreten geogen versalzener Grundwässer erklärt werden. Kalium ist einer der Problemstoffe im oberflächennahen Grundwasser Brandenburgs.

5.1.3 Nebeninhaltsstoffe und Spurenelemente

Nitrat gilt seit Jahren im Grundwasser Deutschlands als Problemstoff. Als Folge der landwirtschaftlichen Bodennutzung tritt aufgrund der langjährigen und noch laufenden Überdüngung ein ständiger Überschuss an Nitrat im Untergrund auf. In den sandigen Böden Brandenburgs wird es jedoch mikrobiell meistens schnell aufgebraucht, so dass die natürlichen Gehalte unter 5 mg/l liegen. Der Grenzwert der TrinkwV für Nitrat ist 50 mg/l.

Der Grenzwert wird nur in den Proben weniger Messstellen des Basismessnetzes überschritten (Sondermessnetz Nitrat, s. Kap. 4.4.2). Die überwiegende Anzahl der Messwerte liegt im Bereich der natürlichen Hintergrundkonzentration.

Im Gegensatz zu Nitrat tritt **Ammonium** in den oberflächennahen Grundwässern Brandenburgs oftmals in Konzentrationen über dem Grenzwert der TrinkwV von 0,5 mg/l auf. Diese Konzentration gilt auch als Obergrenze des natürlichen Hintergrundgehaltes (in entlastenden Tiefenwässern Werte bis fast 1 mg/l). Der Grund für das Auftreten von Ammonium in diesen Konzentrationen sind die oftmals reduzierten Milieubedingungen der feinkörnigen quartären Grundwasserleiter. Einflüsse geogener Versalzung oder anthropogener Verunreinigungen (Fäkalien, Abwasser) führen darüber hinaus zu stark erhöhten Gehalten.

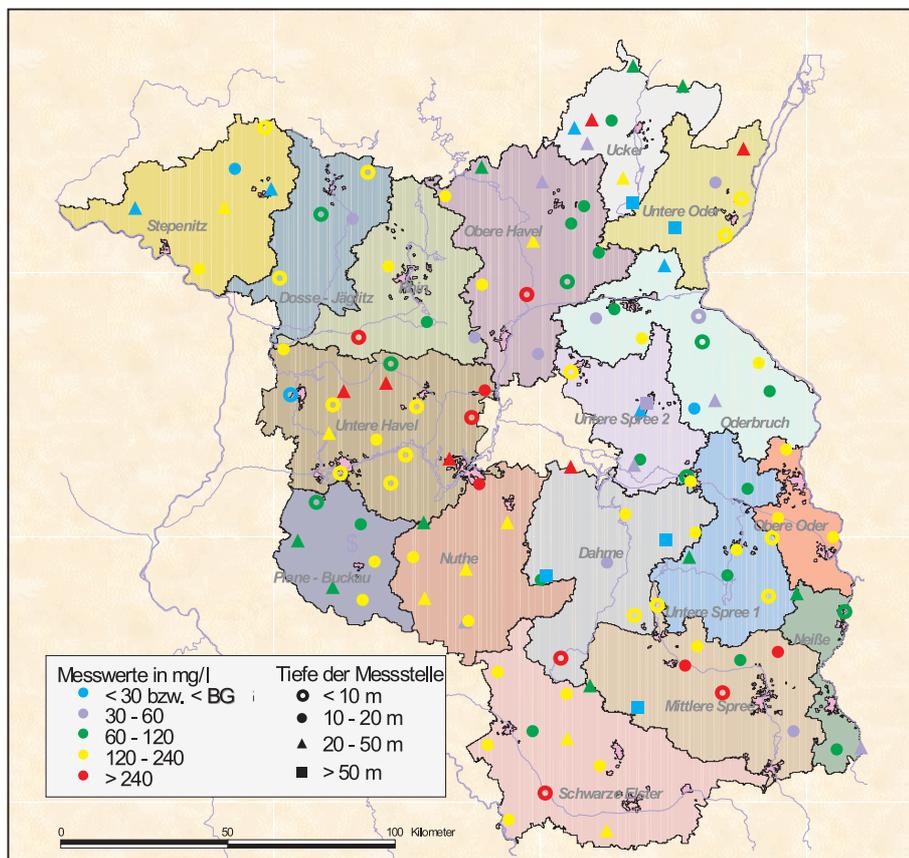


Abb. 5.6: Sulfat-Gehalte im Basismessnetz (Mittelwerte pro Messstelle im oberflächennahen Grundwasser)

Abb. 5.7:
Kalium-Gehalte im Basismessnetz
(Mittelwerte pro Messstelle im ober-
flächennahen Grundwasser)

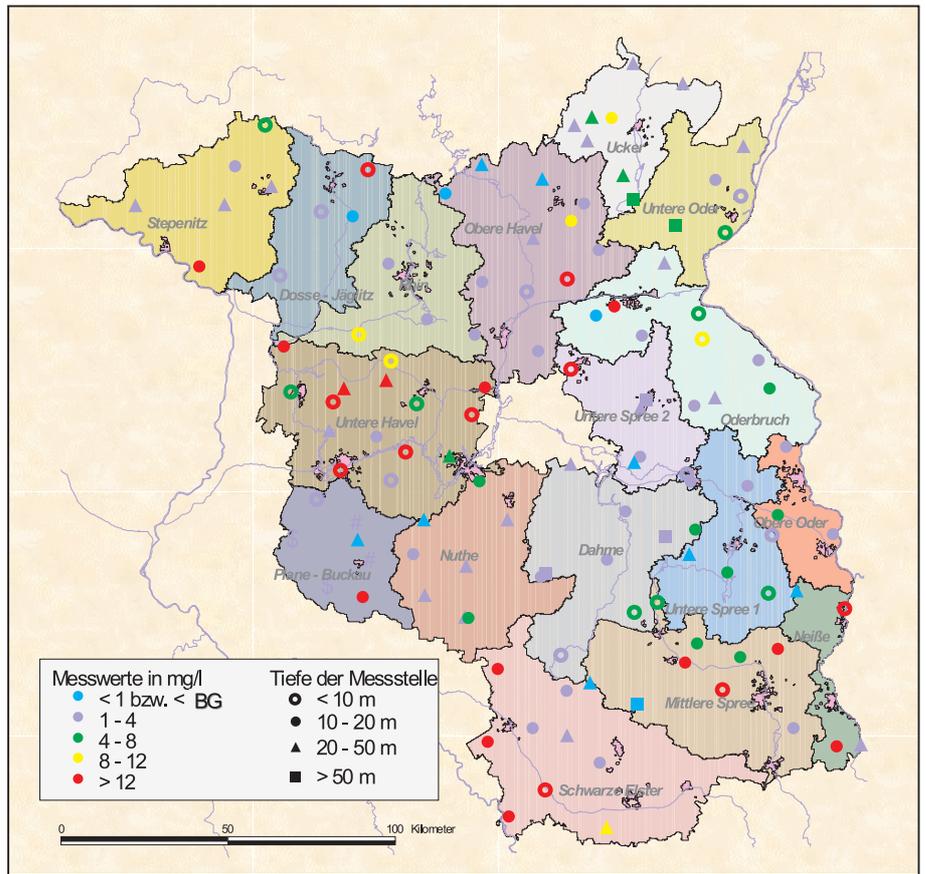
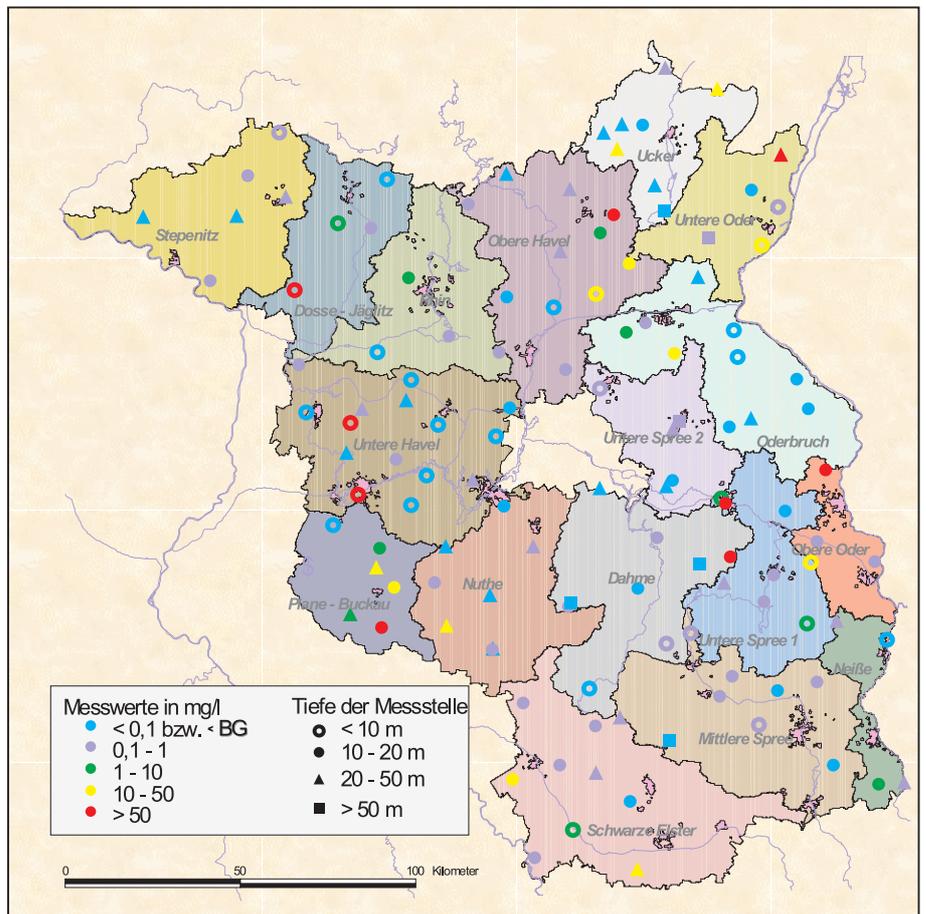


Abb. 5.8:
Nitrat-Gehalte im Basismessnetz (Mit-
telwerte pro Messstelle im ober-
flächennahen Grundwasser)



Besonders häufig liegt Ammonium erhöht in Grundwässern von Niederungsbereichen mit reduzierten (anoxischen) Verhältnissen vor. Dies zeigt sich bei den Messwerten des Basismessnetzes (z.B. in den FEG Untere Havel, Oderbruch, Mittlere Spree). Als Quelle der erhöhten Ammoniumgehalte kommt hier bei entsprechend anmoorigen Auflagen oftmals Torf in Frage, aus dem organisch gebundener Stickstoff periodisch insbesondere im Frühjahr das Grundwasser ausgewaschen werden kann.

In den ausgeprägten Neubildungsgebieten hingegen liegen die Messwerte zumeist im Bereich von 0,1 mg/l oder darunter.

Phosphor ist nur unter anaeroben Bedingungen mobil. **Phosphat** ist im Boden an Tonminerale und Metallhydroxide gebunden. In Brandenburg wurde für natürliches Grundwasser ein Bereich bis maximal 0,2 mg/l als Hintergrund festgestellt. Höhere Phosphatgehalte im Grundwasser deuten auf lokale Besonderheiten hin, welche zumeist die gleichen Ursachen wie erhöhte Konzentrationen von Ammonium haben (anthropogene Beeinträchtigungen).

Erhöhte Phosphatgehalte sind vor allem für das Oberflächenwasser in Brandenburg problematisch, da hier als Zielvorgabe

der Behörde für typische rückgestaute Fließgewässer mit Phytoplanktonbildung ein Gesamt-Phosphor-Wert von 0,1 mg/l (entspricht etwa 0,3 mg/l Phosphat) festgelegt wurde (AGA 1994). Der Grenzwert der TrinkwV ist 6,7 mg/l PO_4 -P. Er dient jedoch nur der Härtestabilisierung und dem Korrosionsschutz in Trinkwasserleitungen.

Messwerte über 0,2 mg/l treten vor allem in den Niederungsbereichen des Landes entlang der großen Flüsse (Spree, Oder, Havel) auf.

Bor ist im Grundwasser ein Problemstoff, weil es als Bestandteil der Waschmittel (Perborate) in großen Mengen über das Abwasser in die Umwelt gelangt. Wegen der geringen geogenen Konzentration ist Bor ein geeigneter Indikator für anthropogene Beeinflussungen in Grundwässern. Es gelangt über undichte Abwasser- und Abfallanlagen sowie infiltriertes Oberflächenwasser in das Grundwasser. Erhöhte Borwerte treten häufig in Gebieten mit hoher Besiedlungs- und Industrialisierungsdichte auf. Der Grenzwert der TrinkwV ist 1 mg/l. Als Beeinträchtigung sind im Grundwasser Werte ab 0,08 mg/l anzusehen (SCHLEYER & KERNDORFF 1992). Dieser Wert wurde zur Ausweisung von Messstellen herangezogen, die durch kommunale Abwässer beeinflusst sind.

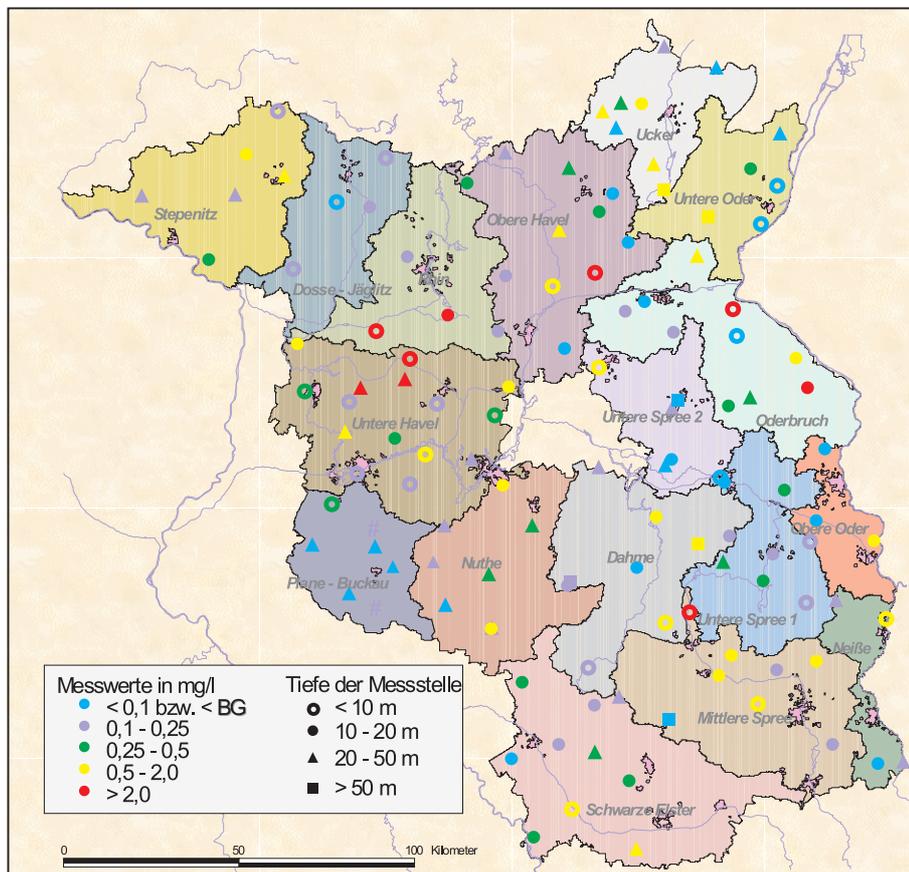


Abb. 5.9: Ammonium-Gehalte im Basismessnetz (Mittelwerte pro Messstelle im oberflächennahen Grundwasser)

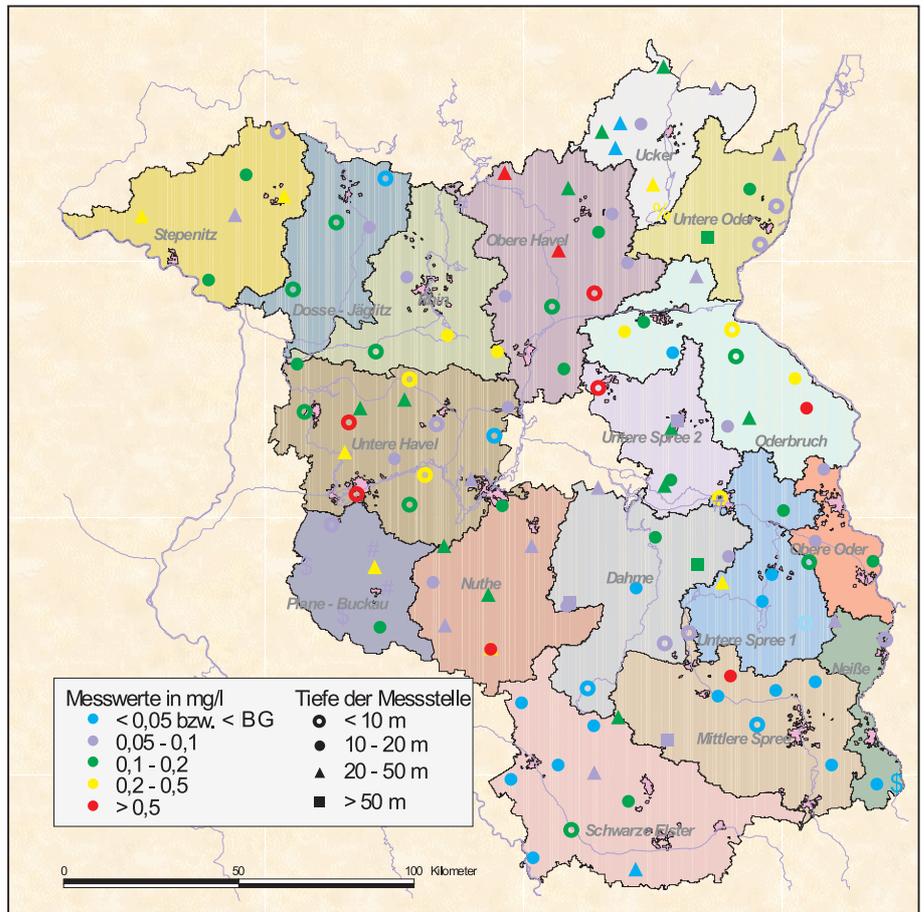


Abb. 5.10:
ortho-Phosphat-Gehalte im Basis-
messnetz (Mittelwerte pro Messstelle
im oberflächennahen Grundwasser)

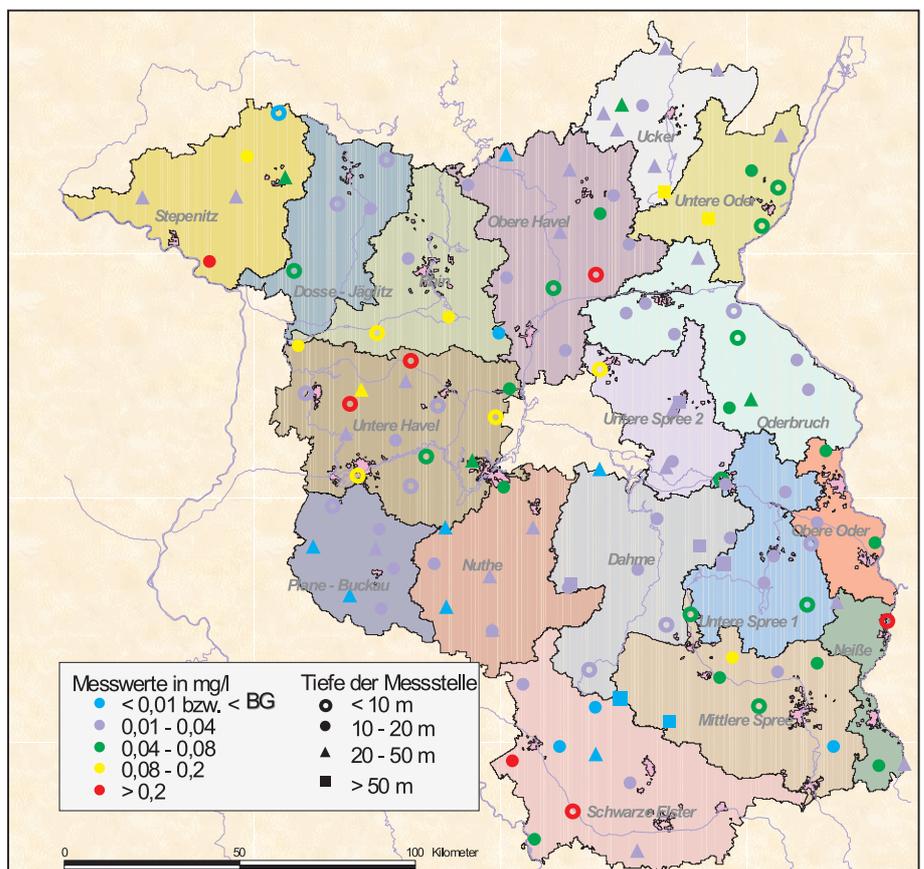


Abb. 5.11:
Bor-Gehalte im Basismessnetz (Mittel-
werte pro Messstelle im oberflächennahen Grundwasser)

Diffuse Beeinträchtigungen durch erhöhte Borgehalte zeigen sich in vielen Einzugsgebieten. Besonders hohe Messwerte ($> 0,20$ mg/l) sind über die gesamte Landesfläche verstreut und deuten auf lokale punktuelle Beeinträchtigungen des Grundwassers im unmittelbaren Umfeld von Verschmutzungsquellen hin, wie z.B. bei einem direkten Abwassereinfluss in ländlichen Gebieten ohne Kanalisationseinrichtungen.

Die Löslichkeit von **Aluminium** ist bei neutralem pH-Wert sehr gering. Dementsprechend niedrig ist mit etwa $1 \mu\text{g/l}$ der natürliche Hintergrundgehalt. Höhere Gehalte deuten auf Versauerung hin; pH-Werte unterhalb von 4,5 führen zu einer massiven Freisetzung des festgelegten Aluminiums. Konzentrationen von einigen mg/l können so erreicht werden. Der Grenzwert der TrinkwV ist $0,2$ mg/l. Erhöhte Aluminiumwerte schädigen Organismen und Feinwurzeln. Aluminium wirkt ab einem Gehalt von $0,1$ mg/l toxisch auf Fische (LfW 1998).

Die überwiegende Mehrheit der Messwerte liegt im Bereich des geogenen Hintergrundgehaltes bzw. unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze. Bei den vier Messstellen mit Grenzwertüberschreitungen handelt es sich z.T. um die Auswirkungen von Versauerungserscheinungen (z.B. Dübrichen), z.T. aber auch um näher zu untersuchende Anomalien.

Bei der Darstellung der **PSM**-Funde im oberflächennahen Grundwasser werden nicht die mittleren, sondern die **maximalen Werte** betrachtet. Abbildung 5.13 zeigt also jeweils die im Zeitraum von 1995 bis 2000 ermittelten höchsten Gehalte eines der untersuchten PSM. Der Klasseneinteilung liegt der Grenzwert der TrinkwV ($0,1 \mu\text{g/l}$ für den Einzelstoff) zugrunde.

Die Übersicht der Werte zeigt bei vielen Messstellen Grenzwertüberschreitungen, die zumindest einmal aufgetreten sind. Dabei ist zu beachten, dass eine große zeitliche und analytische Heterogenität bei den PSM-Untersuchungen bestand. Ob eine Grenzwertüberschreitung stichhaltig ist, kann erst im Zuge der Auswertung von Wiederholungsmessungen entschieden werden. Dies wurde bei der Ausweisung der Beeinflussungstypen berücksichtigt.

5.2 Potenzielle Belastungsschwerpunkte

Belastungen der Grundwasserqualität können sowohl anthropogen als auch geogen bedingt sein. Die Ausweisung potenzieller Belastungsschwerpunkte ist zur Klärung von Fragestellungen zur Nutzung von Grundwasservorräten für Trinkwasserzwecke erforderlich. Hierzu ist einerseits das natürliche Schutzpotenzial der Grundwasserüberdeckung (z.B. charakterisiert durch die hydrogeologischen Struktureinheiten, s. Anhang 2) zu bewerten. Andererseits sind potenzielle Quellen der Beeinflussung zu erfassen. Für *regionale* Fragestellungen in Brandenburg kommen als Belastungsquellen insbesondere in Frage

- intensive landwirtschaftliche Nutzung (Eintrag von Nährstoffen und PSM),
- aufsteigendes natürlich versalzene Grundwasser (geogene Salinität),
- Versauerung durch atmosphärische Stoffeinträge in wenig gepufferte Grundwasserleiter
- Kontakt des Grundwassers mit organischen Sedimenten (Braunkohle) sowie
- langjährige Verrieselung gekläarter bzw. ungeklärter Abwässer.

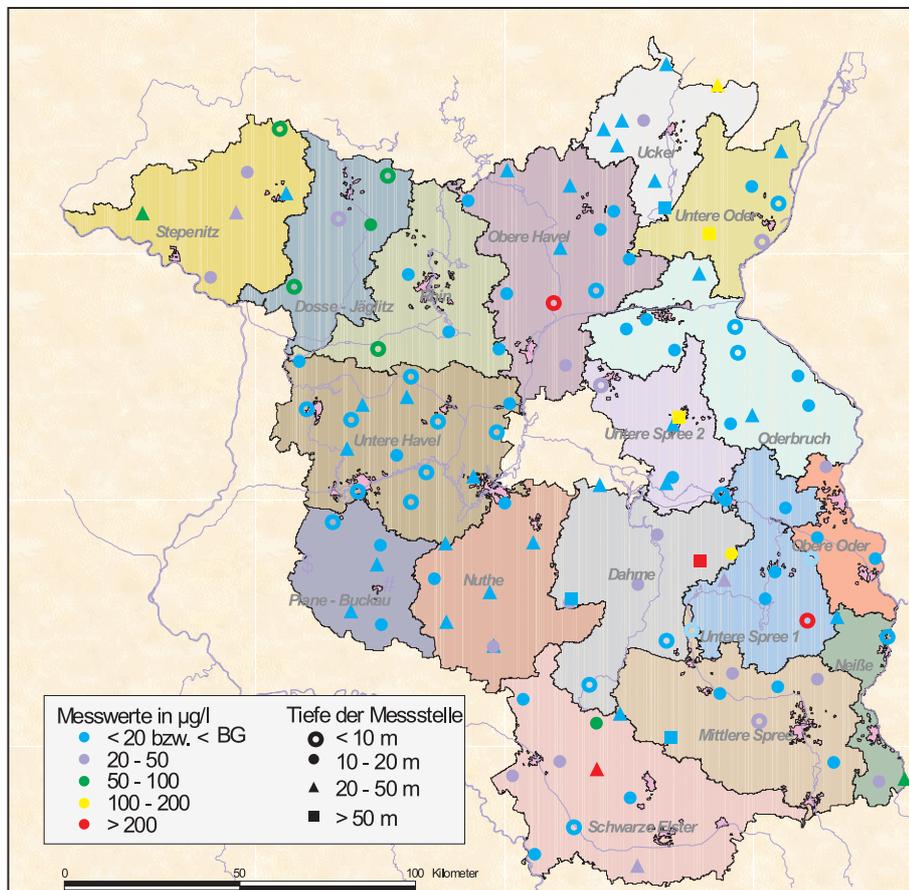


Abb. 5.12: Aluminium-Gehalte im Basismessnetz (Mittelwerte pro Messstelle im oberflächennahen Grundwasser)

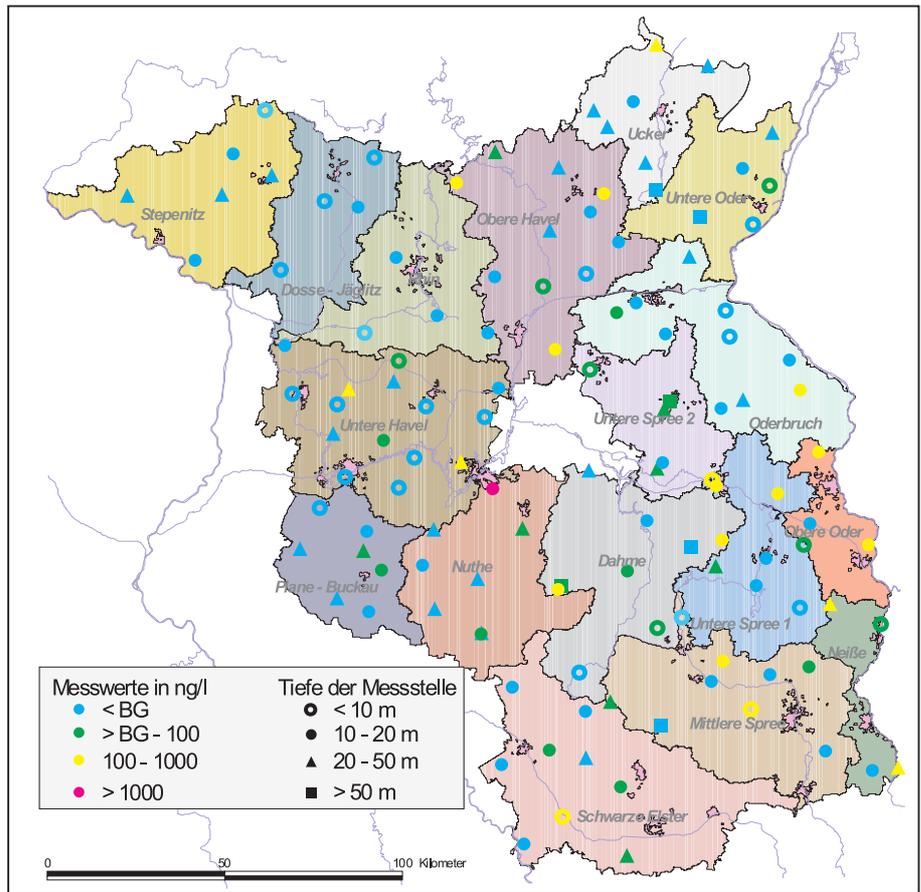


Abb. 5.13:
PSM-Gehalte im Basismessnetz
(Maximum pro Messstelle im ober-
flächennahen Grundwasser)

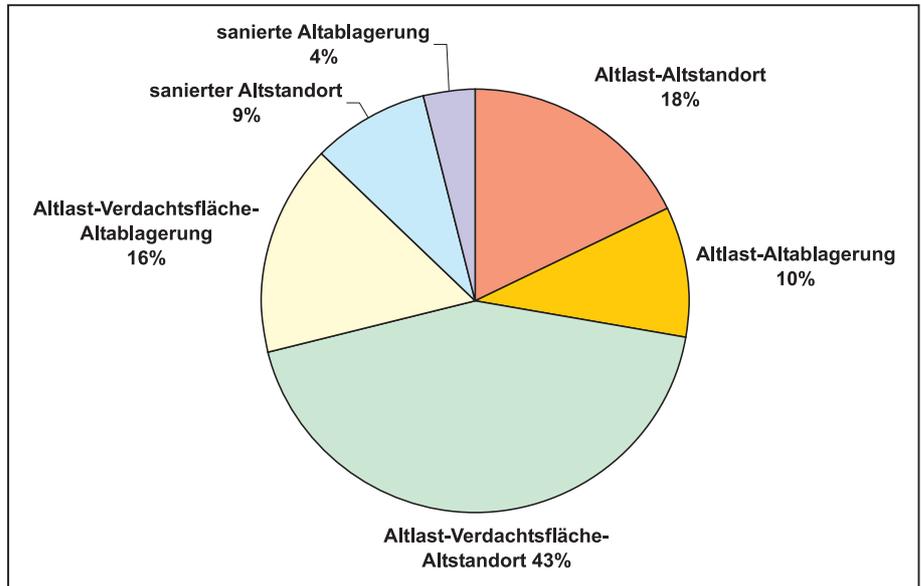


Abb. 5.14:
Anteile der verschiedenen Altlast-
Arten mit nachgewiesenen Grund-
wasser-Kontaminationen im Altlasten-
kataster WiniSAL

Diese Faktoren sind bei der Beurteilung der Grundwasserbeschaffenheit im regionalen Maßstab (z.B. 1:200 000) anhand der „Erstmaligen Beschreibung“ nach EU-WRRL zur Ermittlung der „gefährdeten Grundwasserkörper“ bzw. der sich daran anschließenden „Weitergehenden Beschreibung“ einzubeziehen. Die hierfür notwendigen Daten sind teilweise vorhanden (z. B. Landnutzungsdaten CORINE, s. Abb. 5.16, Übersichtskarte Versalzung, LGRB 2002, FUGRO 1999) oder müssen noch recherchiert werden (z.B. Versauerung).

Potenzielle Grundwasserbeeinflussungen mit eher *lokalem*, punktuell wirksamen Charakter im Landesmaßstab werden mit den Daten des brandenburgischen Altlastenkatasters WiniSAL erfasst. Abbildung 5.14 gibt für insgesamt 1.020 Lokalitäten die prozentualen Anteile der verschiedenen Arten von Altlast- bzw. Altlastverdachtsflächen-Standorten mit nachgewiesener Grundwasserbelastung wieder (Daten stammen vom LUA, Abteilung A).

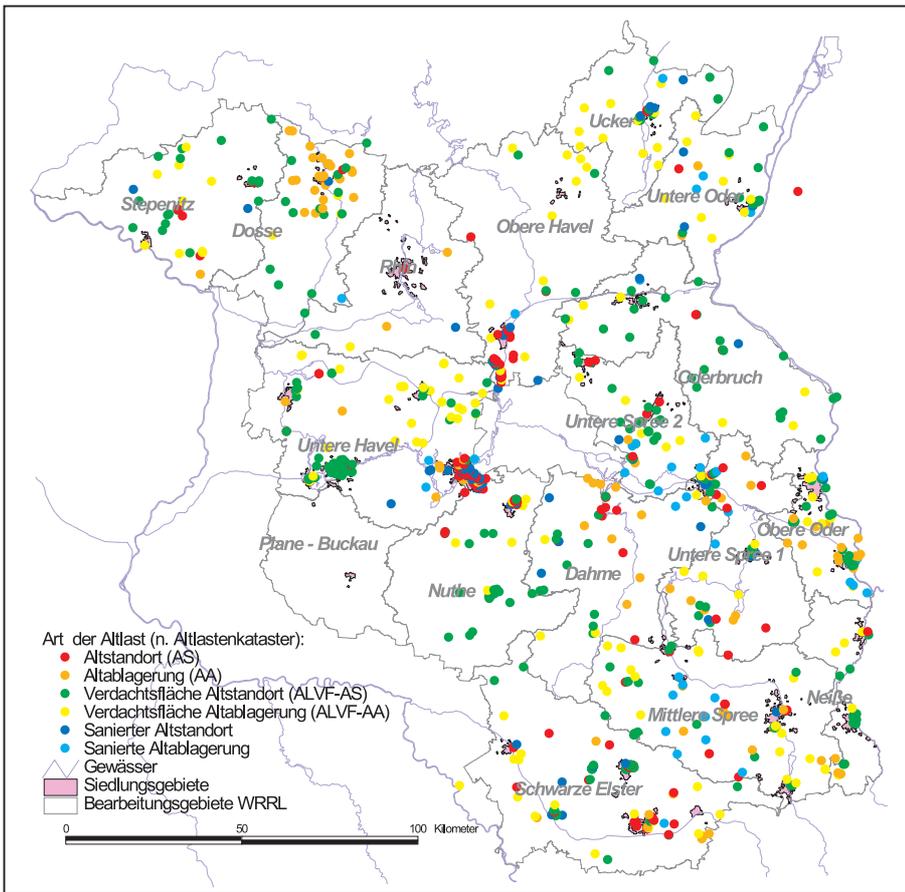


Abb. 5.15:
Nachgewiesene Grundwasserkontaminationen im Altlastenkataster WiniSAL des Landes Brandenburg

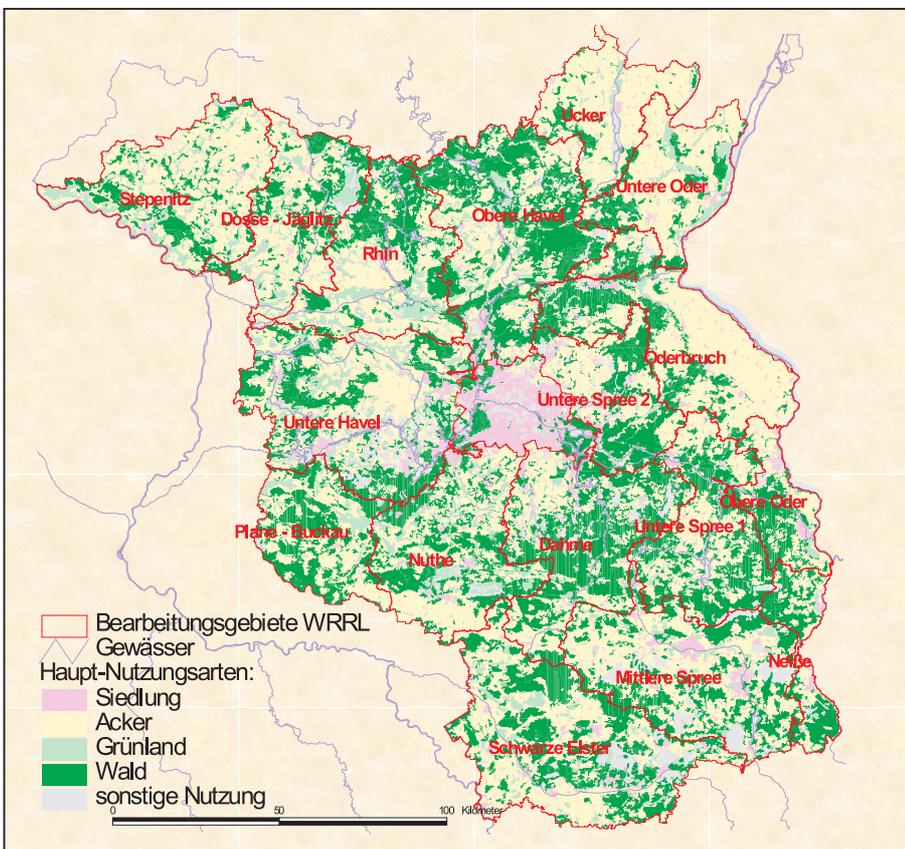


Abb. 5.16:
Regionale Verteilung der vier Hauptnutzungsarten in Brandenburg (CO-RINE-Daten)

Der Nachweis der Belastung wurde durch chemische Untersuchungen des oberflächennahen Grundwassers in der Umgebung der Standorte geführt.

Der Anteil der Altlasten (Altstandorte bzw. Altablagerungen) beträgt etwa ein Viertel (28 %) von der Gesamtzahl belasteter Standorte. Verdachtsflächen machen mit fast 60 % den weitaus größten Anteil aus. Sanierete Standorte bzw. Altablagerungen bilden 13 % von der Gesamtzahl der im Kataster registrierten Lokalitäten. Abbildung 5.15 zeigt die regionale Verteilung der Standorte.

Für die im Maßstab 1:200 000 durchzuführende „Erstmalige Beschreibung“ der Grundwasserkörper sollten diese Daten genutzt werden, da sie in Ergänzung zu den Beschaffenheitsdaten des Basismessnetzes und der oben genannten regionalen Einflussfaktoren wertvolle Hinweise auf potenzielle lokale Belastungsschwerpunkte geben.

Für die hier vorgenommene landesweite Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit mittels der Messdaten des Basismessnetzes weisen die ISAL-Daten einen zu punktuellen Charakter auf, um hieraus Aussagen über die Fläche ableiten

zu können. Für höher aufgelöste Betrachtungen sind sie jedoch von großer Bedeutung.

Neben diesen vorrangig punktuell wirkenden Belastungsschwerpunkten gilt die aktuelle Landnutzung als ein Faktor, durch den diffuse Stoffeinträge in das Grundwasser erfolgen.

Abbildung 5.16 zeigt die regionale Verteilung der vier Hauptnutzungsarten anhand der satellitengestützt ermittelten CORINE-Daten des Umweltbundesamtes.

Die Abbildung enthält zusätzlich die Grenzen der als Bearbeitungsgebiete festgelegten Flusseinzugsgebiete. Zur Charakterisierung dieser Gebiete bezüglich potenzieller Grundwasserbelastungen wurde mittels des Geografischen Informationssystems ArcInfo ein digitaler Verschnitt der Flächeninformationen dieser Bearbeitungsgebiete mit den hydrogeologischen Struktureinheiten (Abb. 2.4) und den vier in Abbildung 5.16 aufgeführten Hauptnutzungsarten durchgeführt.

Die Ergebnisse des Verschnittes sind in Tabelle 5.1 dokumentiert. Gezeigt werden die prozentualen Anteile der Klassenausprägungen beider genannten Faktoren innerhalb der Gebiete.

Tab. 5.1:
Prozentuale Verteilung der Hauptlandnutzungstypen und hydrogeologischen Struktureinheiten innerhalb der Bearbeitungsgebiete nach EU-WRRL (Stand: 11/2001)

	Landnutzung nach CORINE *				Hydrogeologische Struktureinheit					
	Siedlung	Ackerland	Grünland	Wald	Neubildung	Indir. Neub.	Durchfluss	Entlastung	Versalzung	Sonstige
Bearbeitungsgebiet WRRL **										
Dahme	6,5	35,0	6,3	52,2	47,1	17,9	3,7	31,1	0,3	-
Dosse - Jäglitz	2,7	51,3	17,8	28,3	40,2	21,3	13,3	25	0,1	-
Mittlere Spree	8,1	50,9	6,3	34,8	39,8	8,7	2,2	38,5	0,1	10,7
Neiße	5,4	34,8	2,2	57,6	78,7	6,4	1,1	13,7	-	-
Nuthe	6,0	44,8	13,2	36,0	33,6	22,9	6	37	0,6	-
Obere Havel	5,2	32,9	9,4	52,5	42,9	19,1	14,5	23,4	0,1	-
Obere Oder	8,5	43,1	5,1	43,3	43,8	22,8	18,5	13,8	-	1,2
Oderbruch	5,0	62,6	3,4	29,1	26,8	47,8	14,8	10,3	0,4	-
Plane - Buckau	1,9	42,6	8,9	46,6	37,0	35,9	2,2	24,8	-	-
Rhin	3,2	45,2	17,4	34,2	34,8	16,3	18,3	30,6	-	-
Schwarze Elster	5,2	47,9	7,5	39,3	41,5	9,3	5,5	34,8	-	8,9
Stepenitz	2,9	60,6	16,4	20,2	26,1	14,6	30,8	28,4	-	-
Ucker	2,4	77,5	7,3	12,8	3,1	22	60,1	0	14,8	-
Untere Havel	8,4	43,4	15,9	32,3	24,1	22,3	14,7	37	2,0	-
Untere Oder	3,9	62,5	12,6	21,0	10,5	43,2	25,8	2,4	18,0	-
Untere Spree 1	3,3	43,0	6,2	47,6	64,3	15,5	13,3	6,8	0,1	-
Untere Spree 2	11,2	42,8	3,9	42,1	43,1	24,1	27,9	4,9	-	-
Brandenburg	5,3	48,0	9,9	36,8	36,2	21,3	14,9	24,3	1,7	1,6

* zusammengefasst zu den vier in Brandenburg am häufigsten auftretenden Hauptnutzungsarten
** alphabetisch sortiert

Durch diesen Verschnitt werden bereits einige Besonderheiten innerhalb der Bearbeitungsgebiete erkennbar. Angaben zu deren potenzieller Belastung sind Tabelle 5.2 zu entnehmen. Im Rahmen der „Erstmaligen Beschreibung“ werden diese Aspekte anhand einer gründlichen Recherche der in den Gebieten jeweils zur Verfügung stehenden Informationen untersucht.

Tab. 5.2: Potenzielle Belastungsschwerpunkte in den Bearbeitungsgebieten

Bearbeitungsgebiet	Einschätzung der potenziellen Belastungssituation
Dahme	überdurchschnittlich hoher Anteil unbedeckter Grundwasserleiter (GWL; Neubildung und Entlastung) und Waldgebiete; im Raum Königs Wusterhausen viele Altstandorte
Dosse - Jäglitz	stark ackerbaulich genutzt; hoher Grünlandanteil; hohe Nährstoffeinträge sind in Neubildungsgeprägten GWL zu erwarten
Mittlere Spree	hoher Anteil des Gebietes im hydraulischen Einflussbereich von (z. T. ehemaligen) Tagebauen; Verteilung der Landnutzungstypen im Landesdurchschnitt
Neiße	fast ausschließlich Neubildungsgeprägte GWL; überdurchschnittlich hoher Waldanteil; fast keine Altlasten
Nuthe	Verteilung der Landnutzungstypen und im Landesdurchschnitt; im Unterlauf (Bereich Potsdam) viele Altstandorte
Obere Havel	Verteilung der Landnutzungstypen sehr inhomogen (im mittleren Bereich viel Acker, im Süden stark siedlungsgeprägt mit vielen Altlasten)
Obere Oder	überdurchschnittlich hoher Wald- und Neubildungsanteil; kaum Altlasten; vergleichbar mit FEG Neiße
Oderbruch	stark landwirtschaftlich geprägt; kaum bedeckte Grundwasserleiter; fast keine Altlasten mit nachgewiesener Grundwasserbeeinflussung
Plane - Buckau	überdurchschnittlich hoher Wald- und Neubildungsanteil (im Oberlauf Sander, im Hohen Fläming große Flurabstände)
Rhin	hoher Grünland- und Ackeranteil im Süden; hoher Waldanteil im Norden; dort fast ausschließlich Neubildungsgeprägt
Schwarze Elster	fast ausschließlich unbedeckte Grundwasserleiter (hoher Anteil von Entlastungsgebieten); Altlasten in der Umgebung von Tagebauen
Stepenitz	hohe Anteile von landwirtschaftlich genutzten Flächen und bedeckten GWL (s. Ucker); im Bereich der Elbe Entlastungsgebiete und Wald
Ucker	höchster Anteil ackerbaulich genutzter Flächen und bedeckter GWL im Land Brandenburg; geogene Versalzung weit verbreitet
Untere Havel	großflächige Niederungsbereiche (Acker und Wiese); entlastungsgeprägt; z.T. geogene Versalzung
Untere Oder	hoher Anteil landwirtschaftlich geprägter Flächen; hydrogeologische Verhältnisse wechselhaft; Entlastungsgebiete im Bereich von Welse und Oder
Untere Spree 1	sehr hoher Anteil Neubildungsgeprägter Flächen (z.T. Sander mit hohen Flurabständen); Entlastungsgebiete im Bereich der Spree
Untere Spree 2	höchster Anteil siedlungsgeprägter Flächen; an der Landesgrenze zu Berlin (Erkner) Altlasten mit nachgewiesenen Kontaminationen

5.3 Sauerstoffverhältnisse im oberflächennahen Grundwasser

Im "Basisbericht zur Grundwassergüte des Landes Brandenburg" (LUA 1996b) wurden anhand der hydrochemischen Altdaten aus den hydrogeologischen Erkundungsarbeiten der sechziger bis achtziger Jahre durchweg niedrige Sauerstoffgehalte von zumeist unter 2 mg/l beschrieben. Die Unterschiede zwischen verschiedenen Lagerungspositionen der Grundwässer sind nicht deutlich ausgeprägt. In bedeckten Grundwässern liegen die Konzentrationen naturgemäß noch niedriger als in Neubildungsgeprägten Wässern.

Bei letzteren wurde zudem festgestellt, dass insbesondere oberflächennah ausgebaute Grundwassermessstellen auffällig niedrige Konzentrationen aufweisen. Etwa jeder zweite Messwert lag unterhalb von 1 mg/l. Dies könnte ein Hinweis auf anthropogene Beeinflussungen infolge eines verstärkten Eintrages von reduzierenden Stoffverbindungen sein.

Die Daten des Basismessnetzes aus den Jahren 1992 bis 1995 (LUA 1996c) bestätigen diesen Befund. Auffällig viele Messstellen zeigten bereits völlige Sauerstofffreiheit. Mit den Daten des Zeitraums 1995 bis 2000 wird dieser Befund noch verstärkt: Seit 1995 liegen fast alle Werte unter 1 mg/l (Abb. 5.17). Lediglich Ausreißer (Kreise) bzw. Extremwerte (Sterne) zeigen relevante Konzentrationen über 1 mg/l.

Die Datengrundlage des Basismessnetzes in seiner Gesamtheit reicht für eine summarische Bewertung im Landesmaßstab aber nicht aus, da hierfür die Messnetzkonfiguration nicht ge-

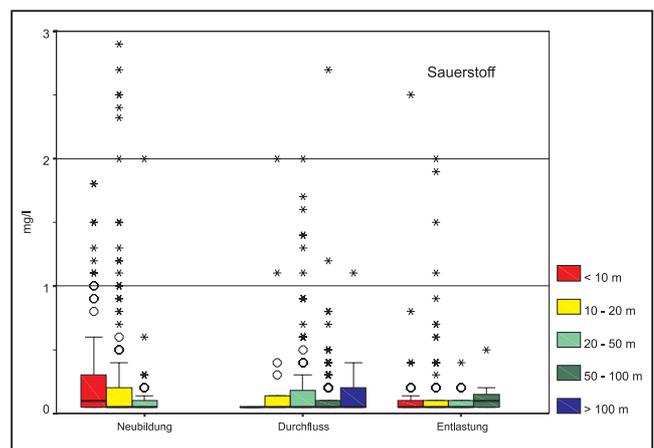


Abb. 5.17: Sauerstoffgehalte innerhalb der hydrogeologischen Struktureinheiten und Filtertiefen

schaffen ist (z.B. unterschiedliche Ausbaupositionen des Filters im Verhältnis zur freien Grundwasseroberfläche).

Für eine weitergehende Analyse dieses brandenburgspezifischen Problems wäre die Einrichtung einer Messstellengruppe an einem geeigneten Standort mit teufendifferenziertem Ausbau innerhalb eines Grundwasserleiters und kurzen Beprobungsintervallen im Rahmen von Sonderuntersuchungen geeignet.

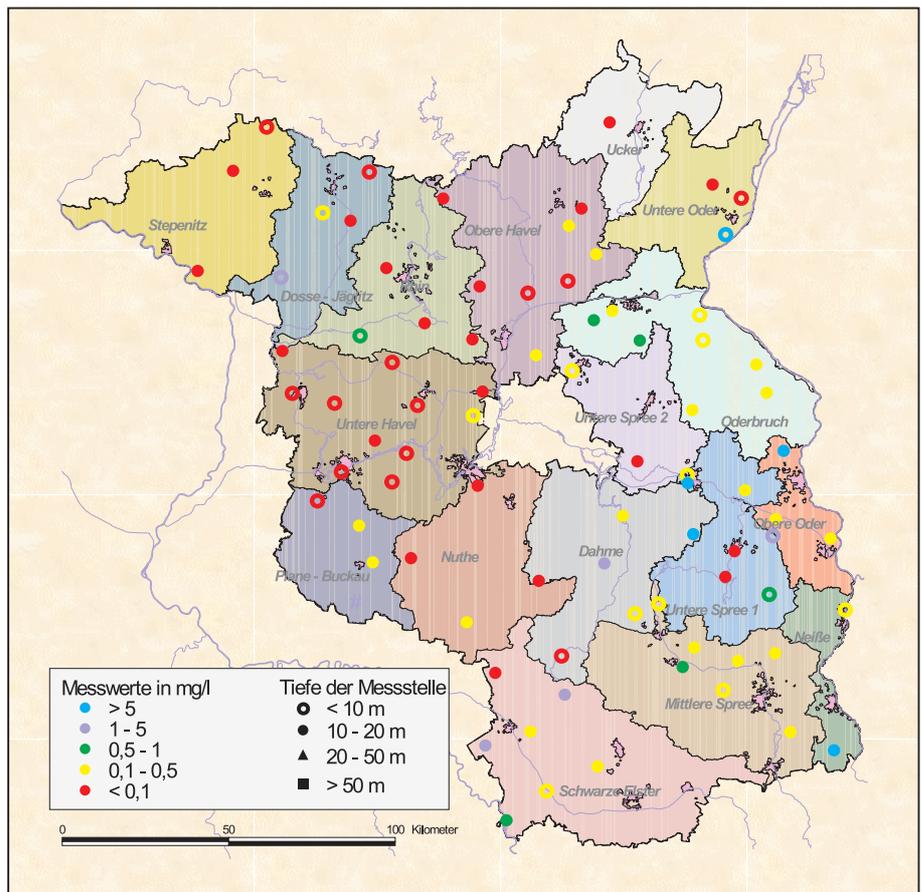


Abb. 5.18:
Sauerstoffgehalte im Basismessnetz
(Mittelwerte im oberflächennahen
Grundwasser)

Die Abbildungen 5.18 und 5.19 zeigen die regionale Verteilung der Sauerstoffgehalte bzw. Redoxpotenziale jeweils des Oberpegels innerhalb der Flusseinzugsgebiete nach EU-WRRL.

Grundwässer mit äußerst geringen Sauerstoffgehalten bzw. sauerstofffreie Wässer ($< 0,5$ bzw. $< 0,1$ mg/l) befinden sich insbesondere in den großen Niederungsgebieten des Landes (Rhinluch, Oderbruch, Baruther Urstromtal), während Grundwässer mit geringen Sauerstoffgehalten (> 1 mg/l) überwiegend in Gebieten morphologischer Hochlagen vorkommen.

Noch stärker als bei den Sauerstoffkonzentrationen ist bei der Interpretation der regionalen Verteilung ermittelter Redoxpotenziale darauf hinzuweisen, welche dominante Bedeutung dem konkreten Ausbau der Messstelle innerhalb des Grundwasserleiters zukommt. Grundwässer mit geringen Sauerstoffgehalten haben in der Regel auch niedrige Redoxpotenziale und umgekehrt. Dies wird z.B. bei zwei Messstellen des Basismessnetzes im Bereich von Schwedt (FEG Untere Oder) mit Redoxpotenzialwerten über 300 mV bzw. negativen Potenzialen und gemessenen Sauerstoffwerten über 5 mg/l bzw. Sauerstofffreiheit deutlich.

Als Ursachen für zeitlich verschiedene Sauerstoffgehalte und Redoxpotenziale kommen neben möglichen Stoffeinträgen auch Veränderungen der (freien) Grundwasseroberfläche in Frage. Dieser Zusammenhang wurde in seiner landesweiten Bedeutung in Kapitel 2.2 erläutert.

Ortskonkret wird im Folgenden der Frage nachgegangen, inwiefern sich fallende oder steigende Grundwasserspiegel bzw. die damit zusammenhängende zeitliche Veränderung der neu

gebildeten Grundwassermenge auf die Konzentrationen ausgewählter, primär redoxabhängiger Grundwasserinhaltsstoffe auswirken. Hierzu können die halbjährlich erhobenen Messwerte des Basismessnetzes in Beziehung zu den überwiegend wöchentlich gemessenen Grundwasserständen der Messstellen gesetzt werden. Letztgenannte Messwerte wurden von den regionalen Dienststellen des Landesumweltamtes zur Verfügung gestellt.

Abbildung 5.20 zeigt diese Zusammenhänge für vier ausgewählte Parameter an der Messstelle Mixdorf.

Der Wasserstand der in 8 m Tiefe ausgebauten Messstelle im FEG Untere Spree 1 liegt ca. 5,50 m unter Gelände. Das Grundwasser ist Neubildungsgeprägt und wird durch ein Siedlungsgebiet eindeutig anthropogen beeinflusst (z.B. an hohen Nitratgehalten sichtbar). Die Schwankungsbreite des Wasserstandes beträgt etwa 1 m. Er weist einen schwach ausgeprägten innerjährlichen Gang auf. Im Zeitraum 1995/2000 sind die Grundwasserstände um etwa einen Meter gefallen.

Die **Sauerstoffgehalte** des Grundwassers schwanken meist im Bereich von 3 bis 5 mg/l. Ein Zusammenhang zum Wasserstand ist mit einer zeitlichen Verzögerung in Form geringer Sauerstoffkonzentrationen bei hohen Wasserständen ausgeprägt. Die gemessenen **Redoxpotenziale** liegen mit Werten über 300 mV in einem für brandenburgische Grundwässer relativ hohen Bereich. Das anthropogen belastete Grundwasser dieser Messstelle befindet sich im oxidierten Zustand, was auch an den hohen **Nitratgehalten** deutlich wird, die mit den Sauerstoffkonzentrationen korrelieren. Wegen des noch nicht maximal angestiegenen Wasserspiegels liegen die Sauerstoffgehalte bei

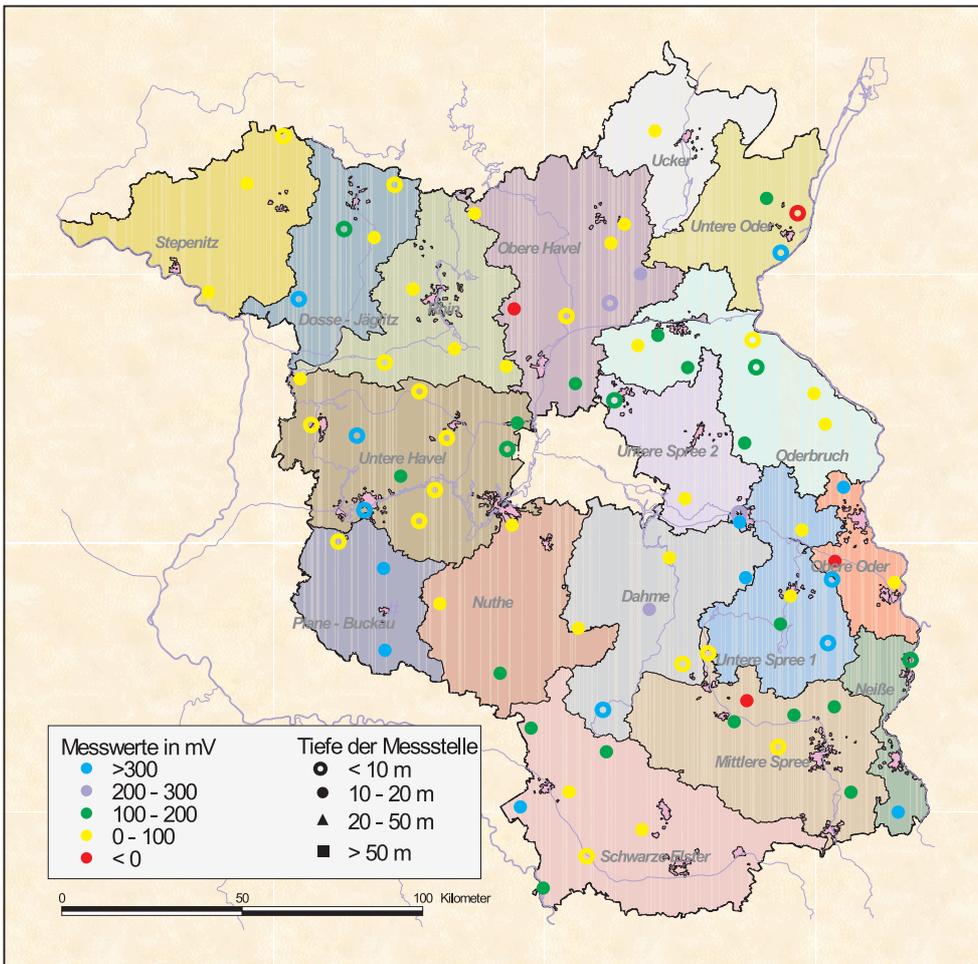


Abb. 5.19: Redoxpotenziale im Basismessnetz (Mittelwerte im oberflächennahen Grundwasser)

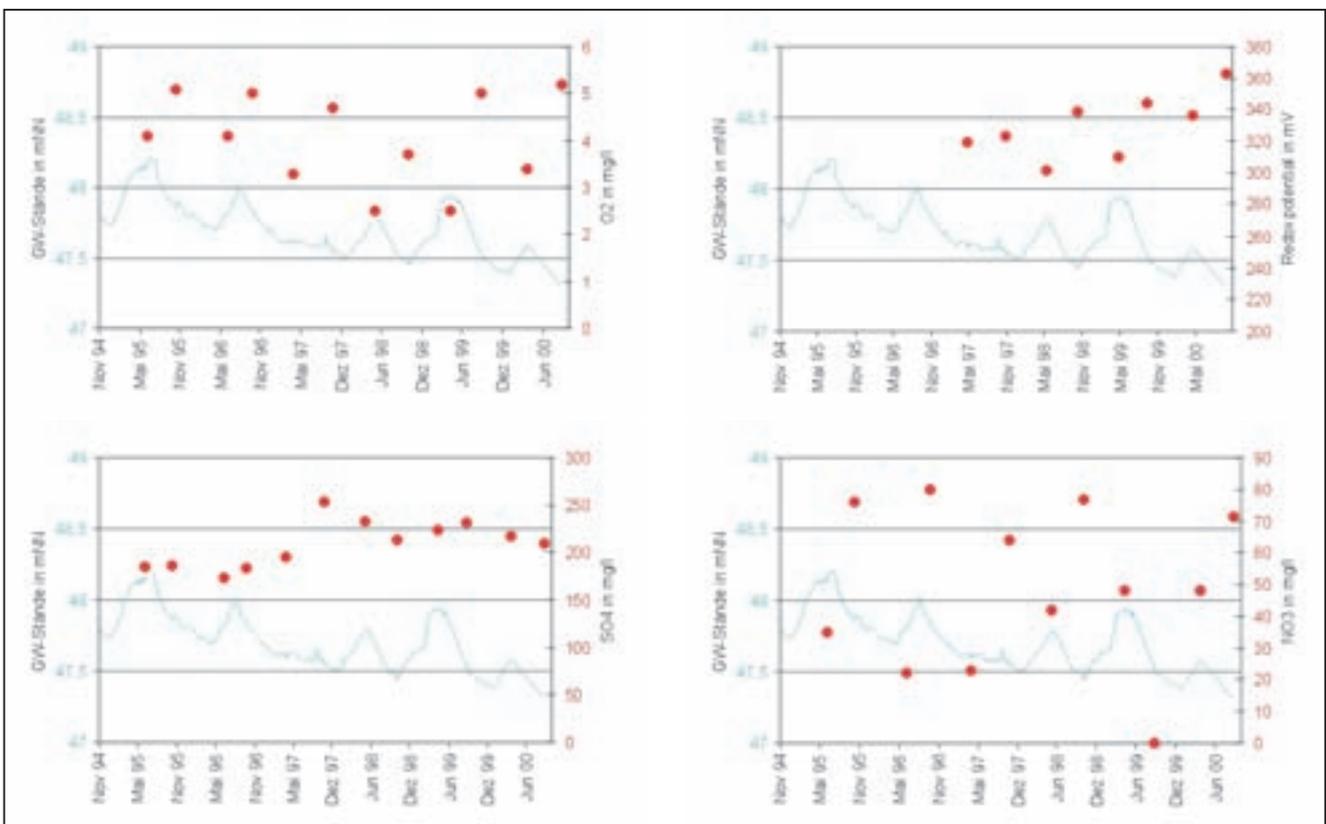


Abb. 5.20: Grundwasserstände und -konzentrationen ausgewählter Beschaffenheitsparameter in Mixdorf

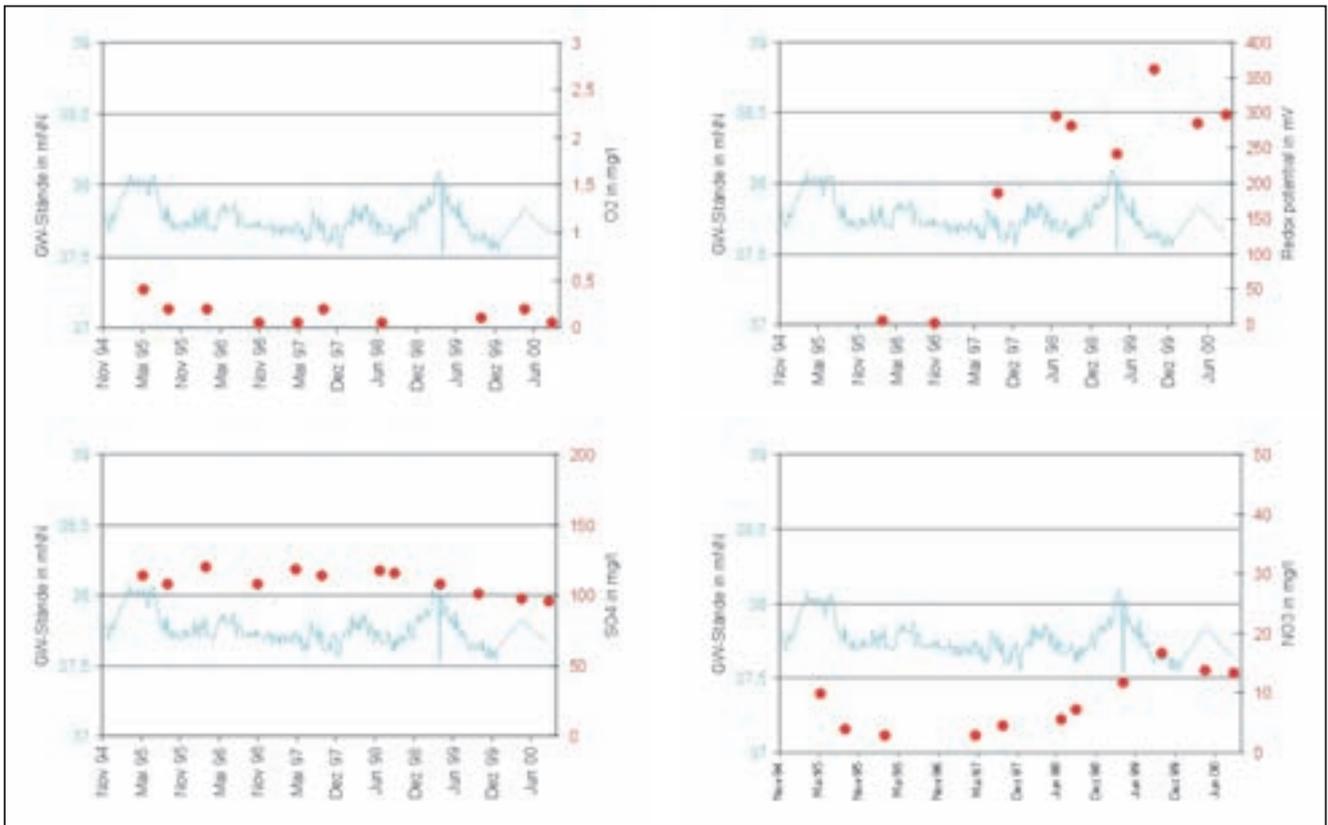


Abb. 5.21: Grundwasserstände und -konzentrationen ausgewählter Beschaffenheitsparameter in Fürstenwalde

der Frühjahrsbeprobung um 1 bis 2 mg/l unter den jeweiligen Werten der Herbstbeprobung. Die hohen **Sulfatgehalte** im Bereich von 200 mg/l zeigen dagegen keine saisonalen Schwankungen. Eine eindeutige Beziehung zum Grundwasserstand ist wie bei den Redoxpotenzialen, im Gegensatz zu den Sauerstoff- und Nitratkonzentrationen, nicht erkennbar.

In Fürstenwalde (FEG Untere Spree 1 bzw. 2, Abb. 5.21) liegt der Wasserspiegel der in 9 m Tiefe ausgebauten Messstelle bei 3,4 m unter Gelände. Die Messstelle ist in einem Grundwasserleiter verfiltert, der der Neubildung unterliegt. Das Schwankungsverhalten des Wasserstandes mit einer Amplitude von 0,5 m deutet sowohl auf saisonale als auch auf kurzfristige wirksame Einflüsse hin, die im Zusammenhang mit der Nähe zur Spree als dem regional wirksamen Vorfluter stehen könnten. Ein langfristiger Trend ist nicht erkennbar.

Das Grundwasser enthält keinen **Sauerstoff**. Die Messwerte liegen alle nahe der Bestimmungsgrenze. Dagegen sind die gemessenen **Redoxpotenziale** zumindest zeitweilig positiv. Diese Konstellation deckt sich mit dem vor allem in den letzten

Jahren zu beobachtenden Anstieg von **Nitrat** in Konzentrationen um 10 mg/l und ermittelten **Sulfatgehalten** um 100 mg/l. Die Konzentrationen dieser Messgrößen lassen jedoch keinen Bezug zu den Schwankungen des Wasserstandes erkennen.

Zusammenfassend betrachtet werden beim Vergleich der Schwankungen von Werten oben genannter Beschaffenheitsparameter mit den Ganglinien der Grundwasserstände meistens keine eindeutigen Zusammenhänge sichtbar. Die Sauerstoffgehalte und die Redoxpotenziale unterliegen einer Vielfalt geogener und anthropogener Einflussfaktoren, so dass eine Interpretation der Messwerte nur unter Kenntnis lokaler Gegebenheiten durchgeführt werden kann. Ein wichtiges Kriterium hierfür ist der Messstellenausbau, der möglichst dicht unterhalb des Wasserspiegels erfolgen sollte, um anthropogen bedingte Einflüsse (z.B. Nitrat- oder sonstige Nährstoffeinträge über die Bodenoberfläche) zu erfassen. Dieses Kriterium wurde beim Ausbau des Messnetzes insbesondere bei den oberflächennah ausgebauten Messstellen ab 1995 berücksichtigt.

Literaturverzeichnis

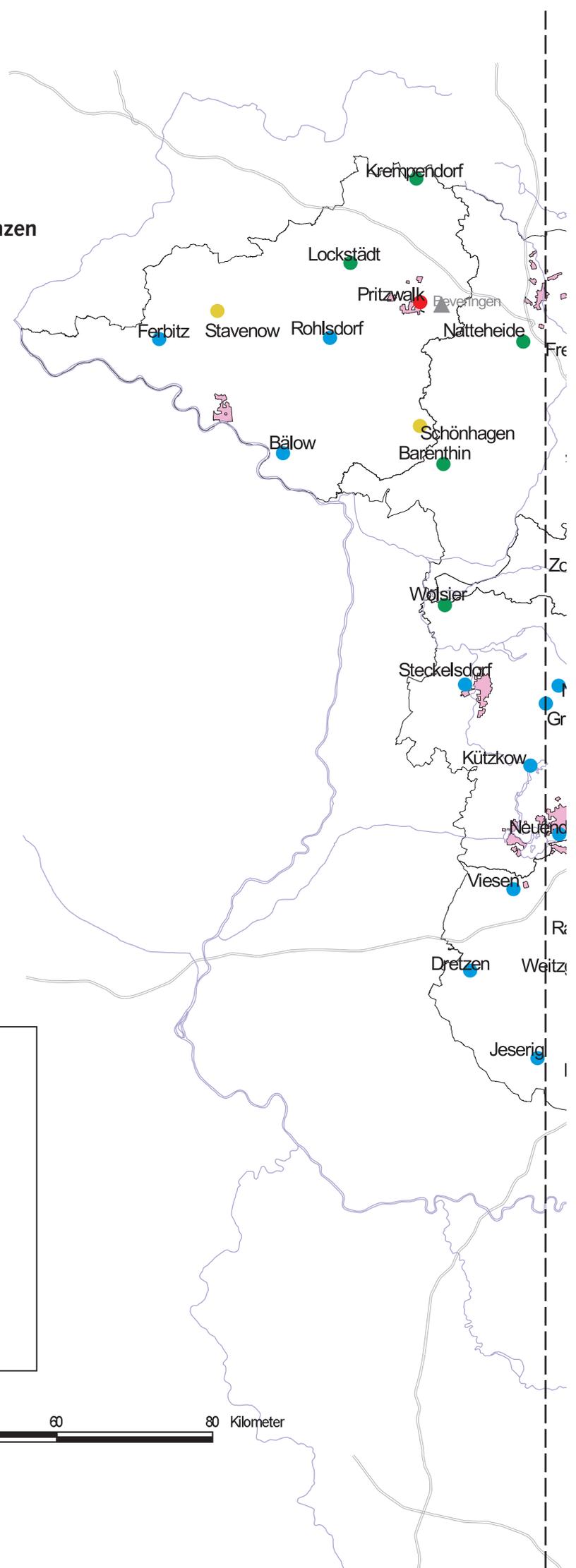
- AGA (1994): Allgemeine Güteanforderungen für Fließgewässer im Land Brandenburg. – Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Potsdam (unveröff.).
- DÖRHÖFER, G.; HANNAPPEL, S. & H.-J. VOIGT (2001): Die Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland 1 : 200 000 (HÜK 200). – Zeitschrift für Angewandte Geologie, 47/3, Hannover.
- DVWK (1992): Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben. – DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, 128/1992, Bonn.
- DVWK (1999): Methoden für die Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit. – Schriften 125, Bonn.
- EU-WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG Des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik vom 23.10.2000. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 22.12.2000, Luxemburg.
- FUGRO (1998): Fortschreibung der Messnetzkonzeption zum Grundwasser-Monitoring des Landes Brandenburg, Teil Grundwasserbeschaffenheit. – Bericht der FUGRO CONSULT GMBH an das Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam (unveröff.).
- FUGRO (1999): Handlungsempfehlung zur Bewertung der erforderlichen Antragsunterlagen für die Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis (GWA) bei Baumaßnahmen auf Grundlage der VVGWA. – Bericht der FUGRO Consult GmbH an das MUNR des Landes Brandenburg, Potsdam
- HANNAPPEL, S.; LAUTERBACH, D. & VOIGT, H.-J. (1994): Regionale Bezugseinheiten zur Interpretation des hydrochemischen Status der Porenaquifere in Brandenburg. – Zeitschrift f. Angewandte Geologie, S. 127–133, 41/2, Berlin
- HANNAPPEL, S. & TIEMER, K. (1998): Optimierung von regionalen Grundwasser-Monitoring-Messnetzen. – In: Terra Nostra, Schriften der Alfred-Wegener-Stiftung 98/3, Geo-Berlin '98, Tagungsband 150 Jahre Deutsche Geologische Gesellschaft, Berlin.
- HELLMANN, H. (2001): Statistisches Auswerteverfahren zur Ermittlung der Hintergrundbelastung. – Wasser & Boden, 5310, S. 46–50, Berlin.
- HLFU (1998): Grundwasserbeschaffenheit in Hessen, Auswertung von Grund- und Rohwasseranalysen bis 1997. – Hrsg.: Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden.
- HOUBEN, G.; BÄSSLER, N.; MARTINY, A.; LANGGUTH, H.-R. & W. L. PLÜGER (2001): Modellansätze zur langfristigen Entwicklung der Grundwasserqualität im Bourtanger Moor (Emsland). – Grundwasser, 3/2001, S. 103–112, Hannover.
- LAHMER, W.; PFÜTZNER, B.; STEIDL, J. & R. DANNOWSKI (2000): Flächendeckende Modellierung von Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg. – Studien und Tagungsberichte des LUA Brandenburg, Bd. 27, Potsdam.
- LAUTERBACH, D. & L. LUCKNER (1999): Grundlagen und Konzepte des Grundwasser-Monitorings aus Sicht des Dresdner Grundwasserforschungszentrums. – In: Fachtagung Grundwasser-Monitoring 1999, Proceedings des DGFZ e.V., Heft 17, S. 19–35, Dresden.
- LAUN (1997): Bewertung der hydrochemischen Analysenergebnisse aus den hydrogeologischen Ergebnisberichten des Landes Mecklenburg-Vorpommern. – Hrsg.: Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, 62 S., Stralsund.
- LAWA (1983): Rahmen-Konzept zur Erfassung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit. – Hrsg. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Bonn.
- LAWA (1993): Grundwasser-Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 3 – Grundwasserbeschaffenheit. – Hrsg: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Bonn.
- LAWA (2000): Grundwasser – Empfehlungen zu Konfiguration von Messnetzen sowie zu Bau und Betrieb von Grundwasser-messstellen (qualitativ). – Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Stand: Mai 1999), LAWA-Arbeitskreis „Optimierung des Grundwasserdienstes“.
- LFU (2001): Grundwasserüberwachungsprogramm, Ergebnisse der Beprobung 2000. – Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- LFW (1998): Grundwasser in Bayern, Wasserbeschaffenheit 1993/1997. – Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Informationsberichte Heft 1/98, München.
- LGRB (2002): Atlas zur Geologie von Brandenburg. – Hrsg.: Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2. Auflage, Kleinmachnow.
- LUA (1996a): Messnetzkonzeption, Teil Wasserbeschaffenheit Grundwasser. – Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam (unveröff.).
- LUA (1996b): Basisbericht zur Gundwassergüte des Landes Brandenburg und Grundwassergütebericht 1992–1995. – Fachbeiträge des Landesumweltamtes Brandenburg, 15, 57 S., Potsdam.
- LUA (1996c): Grundwassergütebericht 1992 bis 1995 des Landes Brandenburg. – Fachbeiträge des Landesumweltamtes Brandenburg 16, 49 S., Potsdam.
- LUA (2001): Berichte aus der Arbeit 2000. – Jahresbericht des Landesumweltamtes Brandenburg, Potsdam.
- MANHENKE, V.; REUTTER, E.; HÜBSCHMANN, M.; LIMBERG, A.; LÜCKSTÄDT, M.; NOMMENSEN, B.; PETERS, A.; SCHLIMM, W.; TAUGS, R.; VOIGT, H.-J. (2001): Hydrostratigraphie nord-, west- und mitteldeutsches Känozoikum – Grundtabelle der Geologischen Landesämter 17.07.01
- MLUR (2001): Brandenburgs Wasser wird knapp. – In: Brandenburger Agrar- und Umweltjournal, Heft 7/8, Hrsg.: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Potsdam.
- OSTIN, A. & S. PREISS (2001): Situationsanalyse des oberflächennahen Grundwassers (Zwischenbericht). – Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam (unveröff.).
- POHL, S.; HANNAPPEL, S.; KOSECK, R.; KUNZE, J. & C. RIETZ (2000): Konzept zum Gundwasser-Monitoring in Brandenburg, Teil Beschaffenheit: Erfahrungen beim Aufbau des landesweiten Messnetzes seit 1995. – In: Berichte aus der Arbeit 1999, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam

- SCHLEYER, R.. & KERNDORFF, H. (1992): Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen. – Verlag VCH, 245 S., Weinheim.
- SCHMIDT, E. & B. HÖLZEL (2001): Zur Dynamik des Grundwasserstandes im deutschen Oder-Einzugsgebiet. – Landesumweltamt Brandenburg, Regionalbereich Ost, Frankfurt (unveröff.).
- TMLNU (1997): Grundwasser in Thüringen, Bericht zu Menge und Beschaffenheit. – Hrsg.: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, Erfurt.
- TrinkwV (1990): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 1990). – Fassung von 1990, mehrfach geändert.
- UBA (1995): Entwicklung eines einheitlichen Grundwasserbeschaffenheitsmessnetzes in den neuen Bundesländern als Grundlage zur Erfüllung von Berichtspflichten des Bundes gegenüber der EU. – Umweltforschungsplan des BMU, Forschungsbericht 10202628/06, UWG mbH in Zusammenarbeit mit den Landesumweltämtern der neuen Länder, 203 S., Berlin.
- UBA (2000): Entwicklung von Erfassungs- und Auswertungsverfahren für Grundwasserzustandsdaten zur Erfüllung internationaler Berichtspflichten des Bundes gegenüber der Europäischen Union. – Forschungsbericht 298 23 241 des Umweltbundesamtes, Berlin (unveröff.).
- UWG (1993): Konzept zum Grundwasser-Monitoring – Teil Beschaffenheit – für das Land Brandenburg. – Bericht der UWG Gesellschaft für Umwelt- und Wirtschaftsgeologie mbH an das Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, (unveröff.).
- VOIGT, H.-J. (1987): Hydrogeologisches Kartenwerk, Nutzerrichtlinie für die Karte der Grundwassergefährdung, Karte 4. – Hrsg.: Zentrales Geologisches Institut, 16 S., Berlin.
- WENDLAND, F. & KUNDEL, R. (1999): Das Nitratabbauvermögen im Grundwasser des Elbeeinzugsgebietes. – Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 13, Jülich.
- ZIEGLER, G.; GABRIEL, B.; JACOBS, H.; SCHULTZE, M. & L. WERNER (1992): Langfristige Auswirkungen des Stoffeintrags durch atmosphärische Deposition auf die Grundwasserbeschaffenheit im Festgesteinsbereich der neuen Länder. – BMFT-Forschungsvorhaben, Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Jena.

Anhang 1

Übersichtskarte mit den Messtellen des Basis- und Nitratmessnetzes mit den Grenzen der Bearbeitungsgebiete der Wasserrahmenrichtlinie

(Stand: Herbstbeprobung 2000)



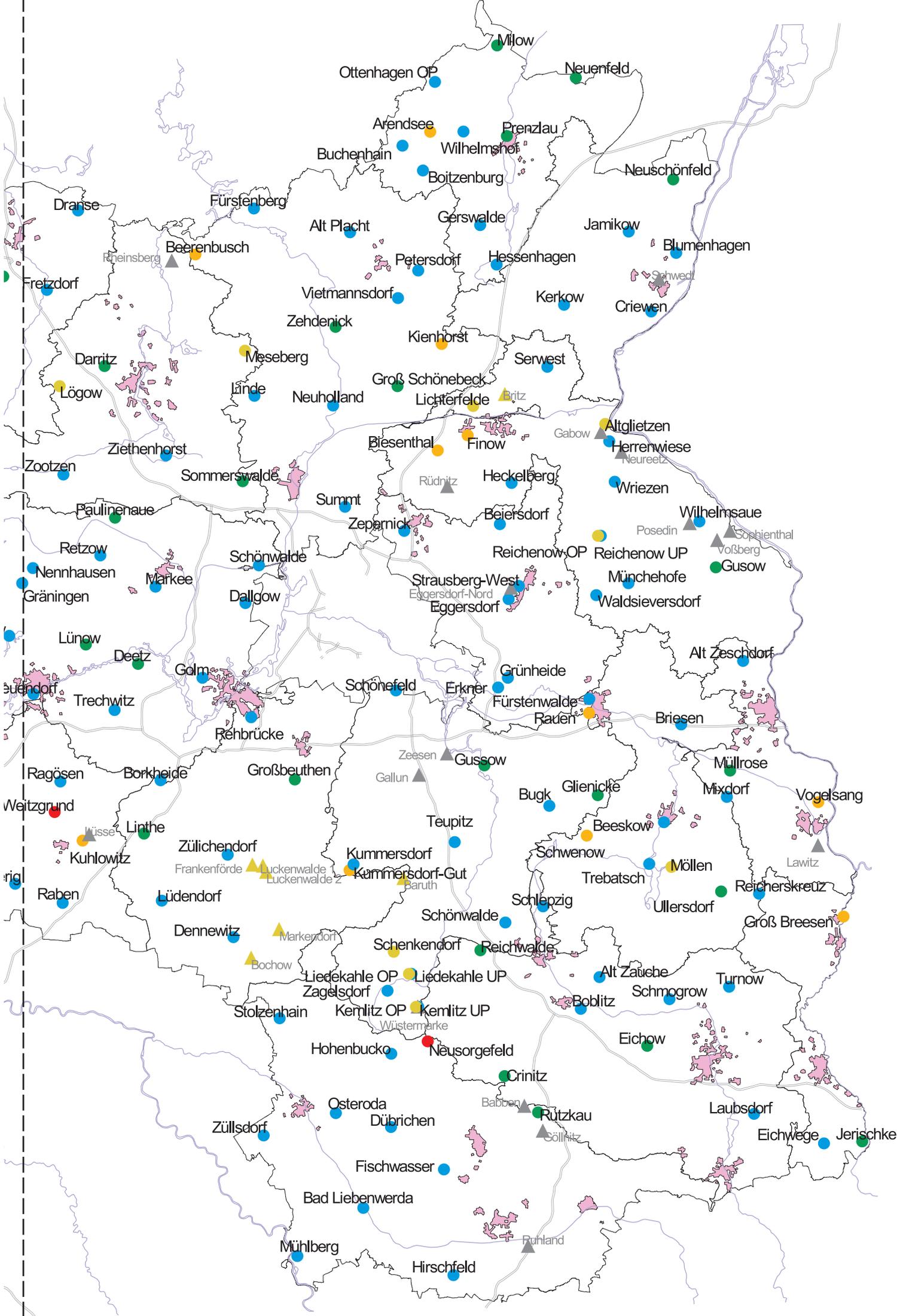
Legende

Basismessstellen mit Ausbauangaben

- einfach
- doppelt
- dreifach
- vierfach

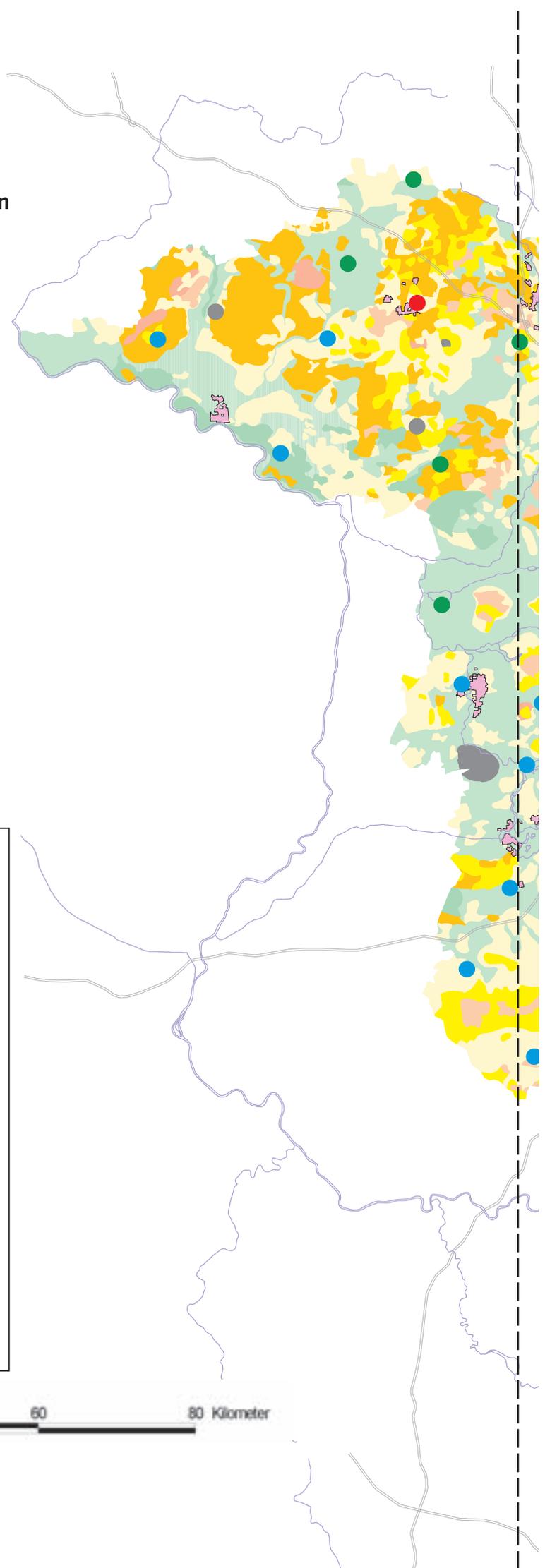
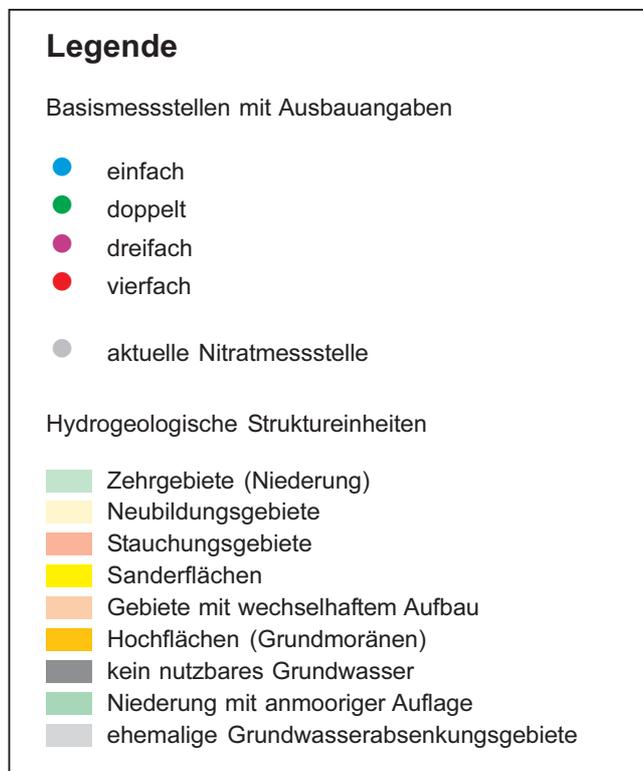
● aktuelle Nitratmessstelle
▲ ehemalige Nitratmessstelle
▲ ehemalige Basismessstelle

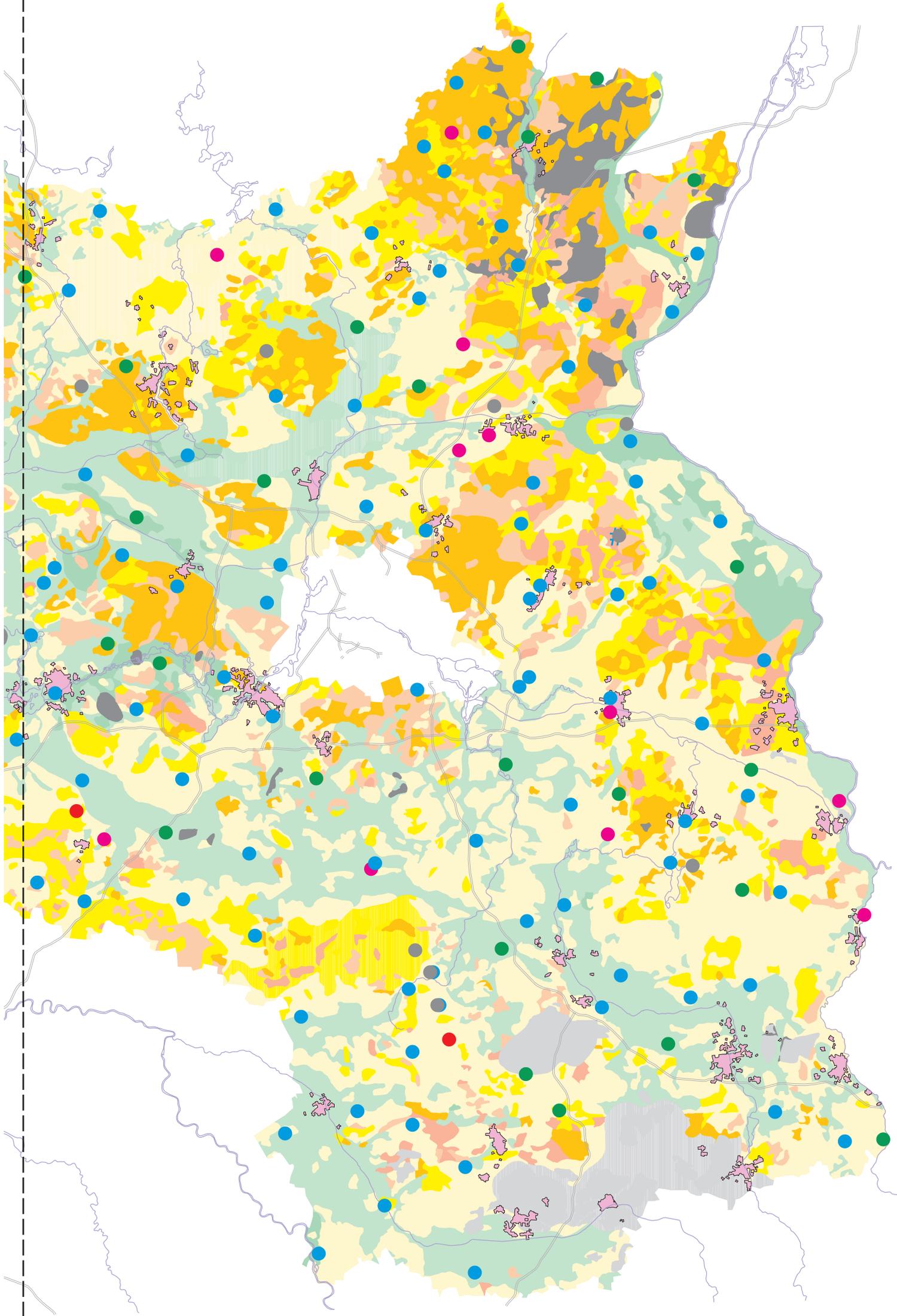




Anhang 2

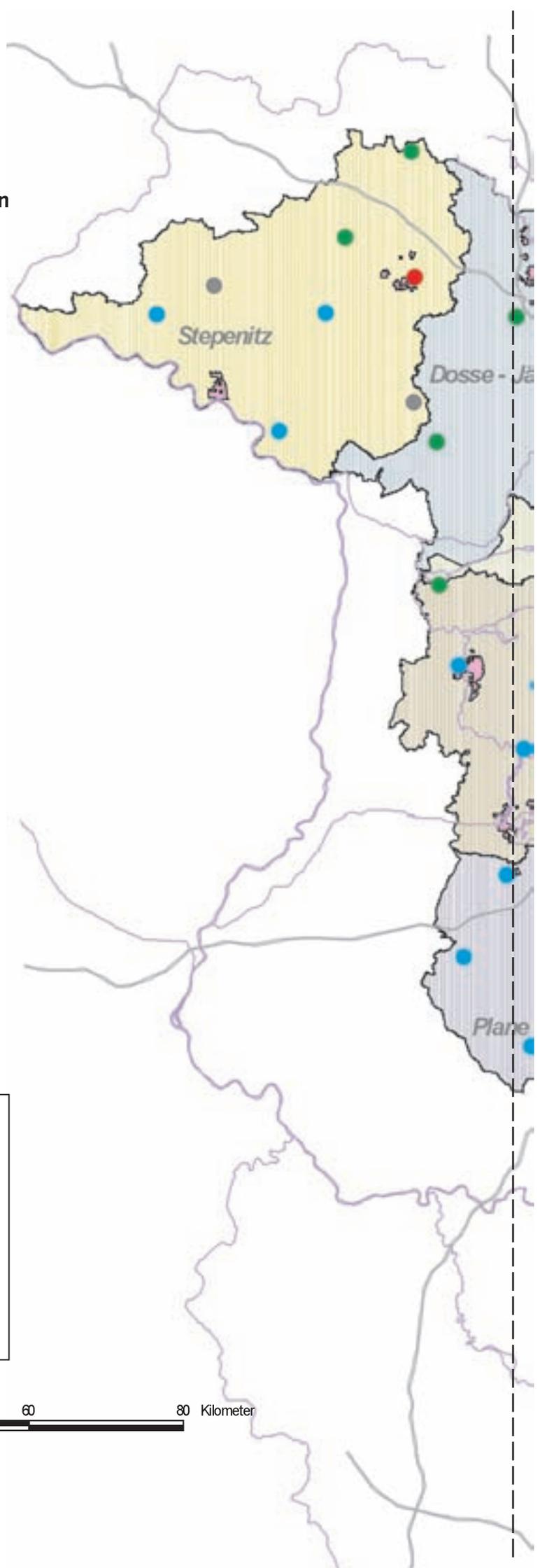
Hydrogeologische Struktureinheiten mit den Messstellen des Basismessnetzes (Stand: Herbstbeprobung 2000)





Anhang 3

Bearbeitungsgebiete nach EU-WRRL mit den
Messstellen des Basismessnetzes
(Stand: Herbstbeprobung 2000)

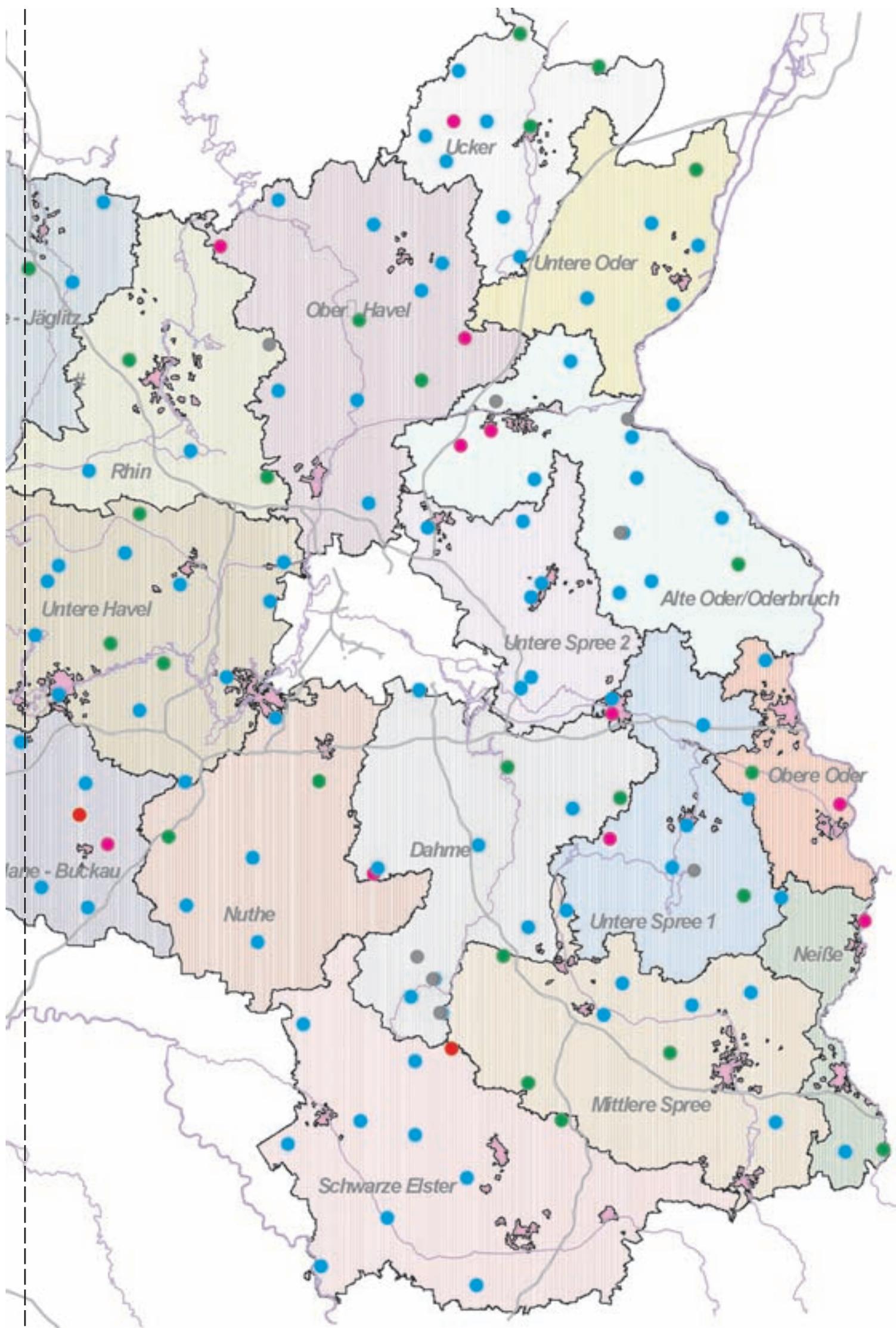


Legende

Basismessstellen mit Ausbauangaben

- einfach
- doppelt
- dreifach
- vierfach
- aktuelle Nitratmessstelle

0 20 40 60 80 Kilometer



Anhang 4

Anzahl der von 1995 bis 2000 analysierten Einzelwerte pro Parameter, Häufigkeit von Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenzen (BG) sowie verwendete BG

(fettgedruckt sind die am häufigsten vorkommenden BG)

Parameter	Einheit	Anzahl Werte	Werte < BG	Anzahl der Werte < BG (%)	Verwendete BG
Temperatur (Wasser)	°C	1.714			
Redoxspannung	mV	1.462			
Abdampfrückstand	mg/l	67			
Säurekapazität	mmol/l	1.680			
Härte	mmol/l	1.084			
Trübung	FNU	1.233			
UV-Abs. (254 nm)	E/cm	1.589	1	0,1	
Sauerstoff	mg/l	1.636	847	51,8	0,1
Sauerstoffsättigung	mg/l	20			
BSB ₂	mg/l	1	1	100,0	0,5
DOC	µg/l	6			
AOX	µg/l	1.557	862	55,4	10/5
KW H18 Mineralöl	mg/l	102	86	84,3	0,1
KMnO ₄ -Verbrauch	mg/l	2			
Summe gelöstes CO ₂	mg/l	890			
SiO ₂ -Si	mg/l	1.504	1	0,1	0,05
TOC	mg/l	1.672	6	0,4	1/0,1
Hauptinhaltsstoffe					
Chlorid	mg/l	1.688	86	5,1	40/10/5
Sulfat	mg/l	1.687	83	4,9	8/6/5/1/0,87/0,38/0,33/0,31/0,3/0,28
HCO ₃	mg/l	1.503			
Kalzium	mg/l	1.686			
Magnesium	mg/l	1.687			
Mangan	mg/l	1.398	52	3,7	0,05/0,015
Natrium	mg/l	1.686			
Kalium	mg/l	1.688	35	2,1	1
Eisen-II	mg/l	1.550	76	4,9	0,1/0,07/0,05/0,03
Eisen-Gesamt	mg/l	640	43	6,7	0,05/0,03
Gesamt-N	mg/l	2			
Organisch-N	mg/l	2			
Ammonium	mg/l	1.523	144	9,5	0,1/0,06/0,04/0,01
Nitrat	mg/l	1.551	686	44,2	0,5/0,22/0,13/0,1/0,04/0,03/0,01
Gesamt-Phosphor-P	mg/l	870	45	5,2	0,06
ortho-Phosphat	mg/l	1.684	243	14,4	0,05/0,03/0,015/0,01/0,002
N-an	mg/l	560			
Nitrit	mg/l	1.523	1.094	71,8	0,1/0,05/0,034/0,03/0,01
Metalle					
Arsen	µg/l	637	365	57,3	1/0,5/0,4/0,04
Blei	µg/l	651	249	38,2	2/1,5/1/0,12

Parameter	Einheit	Anzahl Werte	Werte < BG	Anzahl der Werte < BG (%)	Verwendete BG
Cadmium	µg/l	642	610	95,0	0,2/0,18/0,12/0,1
Chrom	µg/l	649	363	55,9	1/0,8/0,4/0,3/0,13/0,12
Fluor	mg/l	1.558	206	13,2	0,1/0,08/0,05/0,03/0,02/0,01
Nickel	µg/l	649	345	53,2	2,7/1,5/1,4/0,4
Quecksilber	µg/l	656	514	78,4	0,05/0,03/0,014
Aluminium	µg/l	1.087	437	40,2	25/3/1
Bor	mg/l	1.384			
Kupfer	µg/l	649	297	45,8	1/0,8/0,75/0,7/0,3/0,13
Zink	µg/l	763	203	26,6	50/25/20/1
PAK					
PAK (TVO)	ng/l	52			
Fluoranthen	ng/l	745	483	64,8	7/5/3/1
B-(b)-fluoranthen	ng/l	745	524	70,3	6/3/2
B-(k)-fluoranthen	ng/l	745	541	72,6	6/3/2
Benzo(a)pyren	ng/l	745	467	62,7	7/3/2
Benzo(ghi)perylen	ng/l	745	558	74,9	14/6/4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	ng/l	745	580	77,9	12/6/4
Acenaphthen	ng/l	27			
Anthracen	ng/l	42			
Benz(a)anthracen	ng/l	35			
Chrysen	ng/l	39			
Fluoren	ng/l	36			
Phenanthren	ng/l	42			
Pyren	ng/l	33			
Naphthalin	ng/l	11			
LHKW					
Trichlorethan	µg/l	1.165	1.163	99,8	0,1/0,05
Trichlorethen	µg/l	1.121	1.078	96,2	0,5/0,1/0,05
Tetrachlorethen	µg/l	1.164	1.141	98,0	0,1/0,05
Tetrachlormethan	µg/l	1.165	1.145	98,3	0,1/0,05
1,1,2-Trichlorethan	µg/l	1.119	1.117	99,8	0,1
1,2-Dichlorethan	µg/l	1.140	1.118	98,1	2/0,1
1,2-Dichlorethen cis	µg/l	552	538	97,5	1/0,1
1,1-Dichlorethen	µg/l	47	36	76,6	2/1/0,1
Trichlormethan	µg/l	1.164	1.112	95,5	1/0,1/0,05
Aromaten (BTX)					
Benzol	µg/l	996	970	97,4	8/1/0,5
Summe m/p-Xylol	µg/l	834	828	99,3	8/1/0,5
Toluol	µg/l	995	958	96,3	8/1/0,5
1,2-Xylol	µg/l	736	735	99,9	8/1/0,5
Summe Xylole	ng/l	161			
PCB					
Summe PCB	ng/l	2			
PCB 101	ng/l	801	800	99,9	10
PCB 138	ng/l	801	800	99,9	10
PCB 153	ng/l	801	801	100,0	10
PCB 180	ng/l	801	801	100,0	10

Parameter	Einheit	Anzahl Werte	Werte < BG	Anzahl der Werte < BG (%)	Verwendete BG
PCB 28	ng/l	802	794	99,0	10
PCB 52	ng/l	801	801	100,0	10
PSM					
Aldrin	ng/l	195	194	99,5	10/5
Atrazin	ng/l	472	461	97,7	14/12
Summe Triazine	ng/l	143	143	100,0	40
2,4,5-T-Säure	ng/l	705	700	99,3	100/50/35/30
2,4,5-TP	ng/l	662	653	98,6	100/50/30
Azinphos-methyl	ng/l	767	767	100,0	8,1/3/0,3/0,27
Bentazon	ng/l	765	763	99,7	100/50/30/15
Chlortoluron	ng/l	471	471	100,0	30/10
Cumol	ng/l	817			
D-Säure, 2,4-	ng/l	657	650	98,9	100/90/50/30
DB, 2,4-	ng/l	499	481	96,4	100/50/40/35/30
DDD, p,p'-	ng/l	1.303	1.302	99,9	10
DDE, p,p'-	ng/l	1.303	1.303	100,0	10
DDT, p,p'-	ng/l	1.301	1.297	99,7	10
Desethylatrazin	ng/l	472	462	97,9	21/13/10
Dichlorprop	ng/l	610	607	99,5	100/50/35/30
Dimethoat	ng/l	767	767	100,0	32,8/3/0,32/0,3
Dinitrokresol (DNOC)	ng/l	622	621	99,8	180/150/110/63/50
Diuron	ng/l	471	471	100,0	55/35
Endosulfan, alpha	ng/l	948	948	100,0	10
Endosulfan, beta	ng/l	948	947	99,9	10
Ethylbenzol	µg/l	996	996	100,0	8/1/0,5
Fluroxypyr	ng/l	1	1	100,0	50
HCH, alpha	ng/l	1.160	1.149	99,1	5
Heptachlor	ng/l	195	195	100,0	10/5
Hexachlorbenzol	ng/l	519	510	98,3	10
Isoproturon	ng/l	471	471	100,0	71/35
Lindan	ng/l	1.302	1.269	97,5	10/5
MCPA	ng/l	682	666	97,7	100/50/30
MCPB	ng/l	779	776	99,6	100/50/40/30
Mecoprop	ng/l	696	666	95,7	100/50/30
Metazachlor	ng/l	471	462	98,1	65/47
Metolachlor	ng/l	471	470	99,8	50/35
Metribuzin	ng/l	471	471	100,0	60/30
Parathion-ethyl	ng/l	1.016	1.006	99,0	20/10/5,8/4/2/0,2/0,15
Parathion-methyl	ng/l	1.019	1.017	99,8	10/8,2/4/0,4/0,38
Simazin	ng/l	471	470	99,8	17/13
Trifluralin	ng/l	1.016	1.016	100,0	10/6,1/3/0,32/0,3
Dieldrin	ng/l	53	53	100,0	10
Endrin	ng/l	53	53	100,0	10
HCH, beta	ng/l	53	53	100,0	5
HCH, delta	ng/l	53	53	100,0	5
Desisopropylatrazin	ng/l	471	457	97,0	14/10
Hexachlorbutadien	ng/l	1	1	100,0	0,1

Anhang 5

(1) Statistische Kennwerte des Basismessnetzes

– Milieuparameter und Hauptinhaltsstoffe –

Parameter	Einheit	Anzahl Werte	Anteil (%)**	Werte < BG	Anteil < BG	Minimum	Maximum	arithm. MW	Perzentile				
									10	25	50	75	90
Redoxpotenzial *	mV	1.158	79	-	-	-780	504	85,5	-5	29	70	120	239
pH-Wert		1.289	81	-	-	4,9	9,0	7,2	6,6	7,0	7,3	7,6	7,8
el. Leitfähigkeit	µS/cm	1.312	80	-	-	134	5476	704	306	384	571	861	1121
UV 254 nm	E/cm	1.243	78	-	-	0,0004	1,4	0,16	0,02	0,04	0,10	0,19	0,37
Sauerstoff	mg/l	1.269	78	699	55 %	0,05	12,5	0,5	0,05	0,05	0,05	0,20	0,80
TOC	mg/l	1.305	78	4	-	0,1	60,8	5,2	1,2	1,8	3,2	6,8	11,8
Chlorid	mg/l	1.314	78	49	4%	2,1	1410	54	5,6	9,0	21,1	51,0	91,6
Sulfat	mg/l	1.314	78	65	5%	0,025	761	108	4,0	20	85	160	240
HCO ₃	mg/l	1.314	77	-	-	4,2	683	212	79	134	201	277	360
Kalzium	mg/l	1.314	78	-	-	14	493	96	43	58	84	120	164
Magnesium	mg/l	1.314	79	-	-	0,19	105	10	3,0	5,0	8,3	13,7	19,3
Mangan	mg/l	1.111	78	35	3%	0,0003	9,1	0,5	0,06	0,11	0,19	0,35	0,68
Natrium	mg/l	1.314	77	-	-	2	871	31	5,7	7,8	13,0	23,0	50,0
Kalium	mg/l	1.314	78	14	1%	0,1	202	6,0	0,70	1,2	2,00	4,1	11,0
Eisen-II	mg/l	1.217	76	44	4%	0,01	63	4,2	0,21	0,66	1,7	4,2	9,8
Ammonium	mg/l	1.189	77	85	7%	0,005	58	0,8	0,05	0,13	0,28	0,81	1,6
Nitrat	mg/l	1.214	80	54	44 %	0,003	376	5,3	0,02	0,04	0,09	0,25	6,7
Nitrit	mg/l	1.190	78	85	71 %	0,001	0,4	0,0	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
o-Phosphat	mg/l	1.290	77	155	12 %	0,0000	6,2	0,24	0,024	0,055	0,11	0,24	0,43

* zu gemessenen Redoxspannungen wurden 200 mV addiert, um Redoxpotenziale zu erhalten

** prozentuale Angaben in Spalte „Anteil“ beziehen sich auf Anteil der betrachteten Werte nach Plausibilitätsprüfung an Gesamtheit der analysierten Werte

– Metalle und organische Inhaltsstoffe –

Parameter	Einheit	Anzahl Werte	Anteil (%)**	Werte < BG	Anteil < BG	Minimum	Maximum	Arithm. MW	Perzentile				
									10	25	50	75	90
Arсен	µg/l	610	96	342	56 %	0,02	21,0	1,47	0,25	0,25	0,49	1,19	3,5
Blei	µg/l	621	95	241	39 %	0,06	24,0	0,69	0,06	0,15	0,36	0,85	1
Cadmium	µg/l	612	95	588	96 %	0,05	0,9	0,08	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
Chrom	µg/l	619	95	352	57 %	0,06	6,5	0,27	0,065	0,065	0,16	0,29	0,5
Nickel	µg/l	619	96	339	55 %	0,17	55,0	1,34	0,2	0,2	0,7	1	1,8
Quecksilber	µg/l	627	95	491	78 %	0,007	0,23	0,02	0,007	0,007	0,015	0,025	0,03
Aluminium	µg/l	1.043	94	418	40 %	0,5	850	28,5	4,0	8,7	12,5	19	58
Bor	mg/l	1.324	95	-	-	0,0	0,69	0,05	0,009	0,014	0,027	0,054	0,104

Parameter	Einheit	Anzahl Werte	Anteil (%) **	Werte < BG	Anteil < BG	Minimum	Maximum	Arithm. MW	Perzentile				
									10	25	50	75	90
Kupfer	µg/l	619	96	295	48 %	0,065	150	1,9	0,15	0,15	0,375	1,4	4,4
Zink	µg/l	729	94	197	27 %	0,5	6200	144	0,5	2,2	7,7	25	112
Fluorid	mg/l	1.485	95	179	12 %	0	1,5	0,14	0,025	0,059	0,12	0,19	0,27
Silikat	mg/l	1.434	95	-	-	0,03	25	8,1	4,8	5,9	7,9	9,8	11,6
AOX	µg/l	1.482	95	831	56 %	2,3	450	8,2	2,5	5	5	10	15
LHKW	µg/l	1.111	94	1.049	94 %	<BG	3	0,03	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
PAK	ng/l	707	96	336	48 %	<BG	620	12,3	<BG	<BG	2	16	21
PSM	ng/l	1.458	95	1.327	91 %	<BG	1840	11,1	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG

(2) Statistische Kennwerte der untersuchten Parameter des Nitratmessnetzes

Parameter	Einheit	Anzahl Werte	Werte < BG	Anteil < BG	Minimum	Maximum	Arithm. MW	Perzentile				
								10	25	50	75	90
Redoxpotenzial	mV	55	0	0%	-146	516	268	43	183	303	376	516
pH-Wert		75	0	0%	5	8,67	6,9	6,0	6,6	7,1	7,4	7,6
Leitfähigkeit	µS/cm	75	0	0%	398	1411	796	465	593	706	1026	1216
UV 254 nm	E/cm	54	0	0%	0,02	0,27	0,05	0,02	0,02	0,05	0,07	0,11
Sauerstoff	mg/l	74	19	26 %	0,05	11	2,88	0,05	0,05	0,50	7,2	8,00
TOC	mg/l	67	2	3%	0,05	8,4	2,5	0,9	1,2	2,2	3,2	5,0
Chlorid	mg/l	75	2	3%	12	98	38,6	16,3	24,9	33,1	44,0	72,2
Sulfat	mg/l	75	0	0%	32	238	133,5	65,6	94,0	131,0	172,0	214,8
HCO ₃	mg/l	75	0	0%	12,2	365,9	165,0	38,0	73,2	140,2	268,3	331,7
Kalzium	mg/l	75	0	0%	56	243	113,3	65,4	80,0	99,0	129,3	194,2
Magnesium	mg/l	75	0	0%	2,1	43	13,2	5,8	7,7	11,0	15,2	19,8
Mangan	mg/l	49	6	12 %	0,001	1,521	0,184	0,001	0,015	0,087	0,199	0,480
Natrium	mg/l	75	0	0%	5,1	47	18,6	8,0	11,2	16,3	23,2	30,2
Kalium	mg/l	75	0	0%	0,41	74,2	13,32	1,2	1,7	2,7	15,1	63,1
Eisen-II	mg/l	55	7	13 %	0,01	1,48	0,20	0,03	0,06	0,11	0,22	0,52
Ammonium	mg/l	57	14	25 %	0,005	1,3	0,16	0,02	0,03	0,12	0,19	0,33
Nitrat	mg/l	60	0	0%	0,49	260,0	108,3	6,1	42,8	88,0	157,7	242,9
Nitrit	mg/l	57	30	53 %	0,005	0,39	0,09	0,01	0,02	0,02	0,13	0,31
o-Phosphat	mg/l	74	8	11 %	0,006	5,4	0,67	0,02	0,05	0,08	0,13	4,26
AOX	µg/l	56	23	41 %	2,5	27	9,5	5,0	5,0	8,8	13,0	18,4
Fluorid	mg/l	55	20	36 %	0,005	0,22	0,06	0,01	0,03	0,05	0,09	0,14
Silikat	mg/l	52	0	0%	0,34	10	6,2	3,7	5,0	5,5	7,3	9,6
Bor	mg/l	46	0	0%	0,0073	0,234	0,06	0,01	0,02	0,03	0,06	0,20

Landesumweltamt Brandenburg (LUA)

Berliner Straße 21–25

14467 Potsdam

FON: 0331/23 23 259 • FAX: 0331/29 21 08

E-Mail: infoline@lua.brandenburg.de

Schriftenreihe „Studien und Tagungsberichte“ (ISSN 0948-0838)

- Band 1 Geotechnik im Deponiebau (1994)
- Band 2 Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg (1993)
- Band 3 Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg (1994)
- Band 4 Abfallwirtschaft und Bergbau (1995)
- Band 5 Luftqualität 1975–1990 (1995)
- Band 6 Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen (1995)
- Band 7 Rüstungsaltpasten (1995)
- Band 8 Die Havel (1995)
- Band 9 Rieselfelder Brandenburg-Berlin (1995)
- Band 10 Ausweisung von Gewässerrandstreifen (1996)
- Band 11 Brandenburger Ökologietage I (1996)
- Band 12 Radioaktive Altlasten auf WGT-Flächen (1996)
- Band 13/14 Rieselfelder südlich Berlins (1996)
- Band 15 Die sensiblen Fließgewässer und das Fließgewässerschutzsystem im Land Brandenburg (1998)
- Band 16 Das Sommerhochwasser an der Oder 1997 – Brandenburger Ökologietage II (1998)
- Band 17 Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft – Leitbildentwicklung – (1998)
- Band 18 Landschaftsökologische Untersuchungen am ...Niedermoor in Nuthe-Nieplitz-Niederung (1998)
- Band 19 Umweltradioaktivität – Bericht 1998 (1999)
- Band 20/21 Untersuchungen der Oder zur Belastung der Schwebstoff- bzw. Sedimentphase ... 1998 (1999)
- Band 22 Schadstoffbelastung von Böden im NP Unteres Odertal vor/nach Oderhochwasser 1997 (1999)
- Band 23 Geogene Grundbelastung der Fließgewässer Spree/Schwarze Elster und Einzugsgebiete (1999)
- Band 24 Brandenburgisches Symposium zur bodenschutzbezogenen Forschung (2000)
- Band 25 Humanarzneimittel in der Umwelt (2000)
- Band 26 Endokrin wirksame Stoffe in der Umwelt (2001)
- Band 27 Flächendeckende Modellierung von Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg (2001)
- Band 29 Tierarzneimittel in der Umwelt (2001)
- Band 30 Pflanzenschutzmittel in der Umwelt (2001)
- Band 31 Grundlagen für die wasserwirtschaftliche Rahmen-/Bewirtschaftungsplanung im Oderbruch (2001)
- Band 32 Weiterentwicklung von Schutzgebietssystemen auf naturräumlicher Grundlage... (2001)
- Band 33 Morphologische Referenzzustände für Bäche im Land Brandenburg (2001)
- Band 34 Humantoxikologisches Potenzial von Holzstäuben (2001)
- Band 35 Tagebaurestseen: Wasserbeschaffenheit und wassergütewirtschaftliche Sanierung... (2001)
- Band 36 Staubbiederschlag und Niederschlagsdeposition im Land Brandenburg (2002)
- Band 37 Strukturgüte von Fließgewässern Brandenburgs (2002)
- Band 38 Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft – Fachtagung im Juni 2001 (2002)
- Band 39 Ökotoxikologische Bewertung von Humanarzneimitteln in aquatischen Ökosystemen (2002)
- Band 40 Luftqualität 1991 bis 2000 – Ein Überblick für das Land Brandenburg – (2002)
- Band 41 Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit 1995–2000 im Land Brandenburg (2002)