



Studien und Tagungsberichte des Landesumweltamtes  
Band 55

**Bericht**  
**zur Grundwasserbeschaffenheit**  
**im Land Brandenburg**  
**für den Zeitraum 2001 bis 2005**



Studien und Tagungsberichte des Landesumweltamtes  
Band 55

**Bericht  
zur Grundwasserbeschaffenheit  
im Land Brandenburg  
für den Zeitraum 2001 bis 2005**



LANDESUMWELTAMT  
BRANDENBURG

## **Studien und Tagungsberichte, Schriftenreihe - ISSN 0948-0838**

### **Herausgeber:**

Landesumweltamt Brandenburg (LUA)  
Seeburger Chaussee 2  
OT Groß Glienicke  
14476 Potsdam  
Tel.: +4933201 442 515  
Fax: +4933201 43678  
E-Mail: [info@lua.brandenburg.de](mailto:info@lua.brandenburg.de)

### **Band 55**

#### **Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit im Land Brandenburg für den Zeitraum 2001 bis 2005**

**Bearbeitung:** HYDOR Consult GmbH, Am Borsigturm 40, 13507 Berlin im Auftrag des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz, Abteilung 6 – Wasser- und Bodenschutz im Dezember 2006

**Fachliche Redaktion:** LUA, Referat Ö4 – Wasserrahmenrichtlinie, Hydrologie, Gewässergüte  
(Tel.: +4933201 442 284)  
in Zusammenarbeit mit den Regionalreferaten RW5, RO5 und RS5

### **Endredaktion,**

### **Gestaltung:**

### **Titelumschlag:**

### **Druck:**

LUA, Referat S5 Umweltinformation, Öffentlichkeitsarbeit, Landeslehrstätte  
PoWer.DesignThing Berlin-Potsdam  
Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung  
Am Halbleiterwerk 1, 15236 Frankfurt (Oder)  
TZ AT 118/07

**Potsdam, im Dezember 2007**

**Schutzgebühr: 7 EUR**

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbenden zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Gleichfalls untersagt ist die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2 Konzeption der regionalen Grundwasserüberwachung in Brandenburg</b>	<b>6</b>
2.1 Gliederung der Messnetze zum informationsorientierten Grundwassermonitoring	6
2.2 Das Grundmessnetz	7
2.3 Hydrologische Rahmenbedingungen	9
2.4 Regionale Verteilung der Messstellen innerhalb der Grundwasserkörper	15
2.5 Hydrogeologische Charakterisierung des Grund- und Nitratmessnetzes	17
2.6 Technische Organisation des Grundwassermonitorings	18
2.7 Konzeption des Sondermessnetzes „Nitrat“	19
2.8 Konzeption des Sondermessnetzes „Geogene Versalzung“	20
<b>3 Prüfung der Analyseergebnisse</b>	<b>21</b>
3.1 Vorbemerkungen	21
3.2 Behandlung von Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze	21
3.3 Plausibilitätsgrenzen zur Erkennung von Ausreißern	21
3.4 Plausibilität von Einzelwerten einer Messstelle	22
3.5 Plausibilität von Grundwasseranalysen	23
<b>4 Bewertung der Analyseergebnisse</b>	<b>26</b>
4.1 Statistische Maßzahlen der hydrochemischen Messgrößen	26
4.1.1 Grundmessnetz	26
4.1.2 Sondermessnetz Nitrat	26
4.2 Häufigkeitsverteilungen von Messwerten ausgewählter Parameter des Grundmessnetzes	27
4.3 Spannweitendiagramme ausgewählter Messgrößen des Grundmessnetzes	35
4.4 Grenzwertüberschreitungen der Trinkwasserverordnung	42
4.4.1 Grundmessnetz	42
4.4.2 Sondermessnetz Nitrat	45
4.5 Beeinflussungstypen der Grundwasserbeschaffenheit	47
4.5.1 Methodische Vorbemerkungen	47
4.5.2 Ergebnisse der Ausweisung	48
4.5.3 Vergleich mit den Ergebnissen des Berichtes von 1995 bis 2000	51
<b>5 Regionale Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit</b>	<b>52</b>
5.1 Einteilung in parameterbezogene Konzentrationsbereiche	52
5.2 Ermittlung zeitlicher Trends	53
5.2.1 Methodische Vorbemerkungen	53
5.2.2 Messstellen- und parameterbezogene Ausweisung zeitlicher Trends	53
5.2.3 Definition der fünf Trendstufen	54
5.3 Punktbezogene regionale Beschreibung innerhalb der Grundwasserkörper	55
5.3.1 Allgemeine Milieuparameter	55
5.3.2 Hauptinhaltsstoffe	62
5.3.3 Nebeninhaltsstoffe und Spurenelemente	68

<b>6</b>	<b>Parameterbezogene Regionalisierung der diffusen Grundwasserbelastung</b>	<b>75</b>
6.1	Methodische Grundlagen	75
6.2	Verwendete Datenbasis	76
6.2.1	Messstellen der Landesmessnetze	76
6.2.2	Aufschlüsse von Wasserversorgungsunternehmen	76
6.3	Flächenhafte Zusatzinformationen	79
6.3.1	Geologie	79
6.3.2	Landnutzung	81
6.4	Rangstatistisch ermittelte Konzentrationsintervalle	83
6.5	Ergebnisse der Regionalisierung pro Parameter	83
6.5.1	Nitrat	83
6.5.2	Ammonium	84
6.5.3	Kalium	85
6.5.4	Chlorid	85
6.5.5	Sulfat	86
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>88</b>
	<b>Anhang</b>	<b>90</b>
<b>1</b>	<b>Übersichtskarte der Messstellen des Grund-, des Nitrat- und des Salzmessnetzes mit Angaben zu den in Brandenburg ausgewiesenen Grundwasserkörpern</b>	<b>91</b>
<b>2</b>	<b>Statistische Kennwerte des Grund- und des Nitratmessnetzes</b>	<b>94</b>
<b>3</b>	<b>Konzentrationsklassen und Trendbereiche pro Parameter und Messstelle</b>	<b>96</b>
3.1	Arithmetische Mittelwerte aus der Frühjahrs- und Herbstuntersuchungskampagne 2005 für 20 Parameter	96
3.2	Anzahl der Grundwassermessstellen mit Werten im jeweiligen Konzentrationsbereich unter Berücksichtigung aller Ober-, Mittel- und Unterpegel	102
3.3	Anzahl der Grundwassermessstellen mit Werten im jeweiligen Trendbereich unter Berücksichtigung aller Ober-, Mittel- und Unterpegel	103
<b>4</b>	<b>Übersichtskarte zu den Ergebnissen der Regionalisierung für den Parameter Nitrat</b>	<b>104</b>
<b>5</b>	<b>Übersichtskarte zu den Ergebnissen der Regionalisierung für den Parameter Ammonium</b>	<b>106</b>
<b>6</b>	<b>Übersichtskarte zu den Ergebnissen der Regionalisierung für den Parameter Kalium</b>	<b>108</b>
<b>7</b>	<b>Übersichtskarte zu den Ergebnissen der Regionalisierung für den Parameter Chlorid</b>	<b>110</b>
<b>8</b>	<b>Übersichtskarte zu den Ergebnissen der Regionalisierung für den Parameter Sulfat</b>	<b>112</b>

## Zusammenfassung

Auf Grundlage der gemessenen Konzentrationen an den Messstellen des landesweiten Grund- und des Nitratmessnetzes wird ein Überblick zur Grundwasserbeschaffenheit im Land Brandenburg für den Zeitraum von 2001 bis 2005 gegeben. Zunächst wurden wasserhaushaltliche und konzeptionelle Grundlagen der Grundwasserüberwachung skizziert. In diesem Zusammenhang wurden auch die Stammdaten der Messstellen einer eingehenden Prüfung und Überarbeitung unterzogen (u.a. Abgleich mit den schichtbezogenen Daten).

Die parameterbezogenen Analysenergebnisse wurden in Bezug auf ihre einzelwert- und analysenbezogene Plausibilität geprüft. Analysen mit einem Ionensummenfehler von mehr als 10 % wurden von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen. Das waren über 9 % aller Analysen. Für alle Haupt- und Nebeninhaltsstoffe des Grundwassers wurden anschließend aussagekräftige primärstatistische Parameter berechnet und in grafischer Form (Histogramme, Boxplots) Zusammenhänge zwischen den Konzentrationen und relevanten Stammdateninformationen dokumentiert. Hier zeigte sich bei vielen Parametern insbesondere der Einfluss der hydrogeologischen Struktur (Neubildung, Durchfluss und Entlastung) sowie der Tiefe der Messstelle auf die gemessenen Konzentrationen.

In Ergänzung zu dem Vergleich der Werte mit den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung wurden die Analysen bzw. Messstellen in Bezug auf ihre hydrochemische Beeinflussung bewertet. Das hierbei angewendete Verfahren wurde im Vergleich jenem, das für die Analysen im Zeitraum von 1996 bis 2000 angewendet worden war, leicht verändert, so dass kein direkter Vergleich der Ergebnisse möglich ist. Dennoch zeigte sich, dass erneut ein sehr großer Anteil der Messstellen (62 %) anthropogen beeinflusst ist. Die diffus wirksame bzw. nährstoffgeprägte Beeinflussung (insbesondere durch Stickstoff, Kalium und Sulfat) überwiegt gegenüber anderen Grundwasserbeeinflussungstypen (z.B. Versauerung). Damit ist das Grundwasser in Brandenburg nach wie vor flächenhaft durch menschliche Eingriffe in seiner Qualität beeinflusst. Es kann jedoch aufgrund der relativ geringen Veränderungen im Vergleich zum vorhergehenden Berichtszeitraum (1996 bis 2000; damals wurden 56 % der Messstellen als beeinflusst eingestuft) und der nicht exakt gleich gebliebenen Datenbasis nicht von einem eindeutig vorliegenden Trend der Beeinflussung gesprochen werden.

Ergänzend wurde eine regionale Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit in zwei Varianten durchgeführt – einerseits eine punkt- und andererseits eine flächenbezogene Analyse der Konzentrationsverteilung von wichtigen Parametern im Land Brandenburg.

Bei der ersten Variante wurde für 20 Haupt- und Nebeninhaltsstoffe eine Einteilung in Konzentrationsklassen sowie ein Vergleich der mittleren Konzentrationen aus dem Zeitraum 2001 bis 2005 mit den davor liegenden fünf Jahren vorgenommen. Auch hierbei konnten keine landesweit eindeutig interpretierbaren Trends in Bezug auf die untersuchten Grundwasserinhaltsstoffe ermittelt werden.

Die zweite Variante liefert erstmals landesweit flächenbezogen berechnete Konzentrationen für fünf charakteristische Parameter der diffusen Grundwasserbelastung (Nitrat, Ammonium, Kalium, Sulfat und Chlorid). Hierfür wurden zusätzlich zu den Landesmessstellen brunnenbezogene Daten der Eigenüberwachung von Wasserversorgungsunternehmen herangezogen. Die Ergebnisse dieser Berechnungen können für die Einschätzung der Grundwasserkörper im Zusammenhang mit der Europäischen Grundwasserrichtlinie verwendet werden.

# 1 Einleitung

Der zuletzt im Jahr 2002 seitens des Landesumweltamtes (LUA) herausgegebene „Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit des Landes Brandenburg“ umfasste den Zeitraum von 1995 bis 2000 (LUA 2002). Er knüpfte inhaltlich an den im Jahr 1996 erschienenen „Basisbericht zur Grundwassergüte“ (LUA 1996A) an und bezog sich auch auf den ebenfalls 1996 erschienenen Band zu den Entwicklungen der Jahre seit 1992 (LUA 1996B) an. Diese Kontinuität im Fünfjahre-Turnus wird mit dem hier vorgelegten Bericht weiter fortgeschrieben.

Wichtigste Datengrundlage des hier vorgelegten Berichtes sind die Messwerte der vom LUA hoheitlich betriebenen Messnetze zum informationsorientierten Grundwassermonitoring aus den fünf Jahren von 2001 bis 2005. Die Messnetze wurden in den vergangenen Jahren weiter ausgebaut bzw. fertig gestellt (s. Kap. 2.1). Neben den bereits im Jahr 2000 betriebenen Messnetzen (Grund- und Sondermessnetz „Nitrat“, kurz Nitratmessnetz) erfolgte in den Jahren seit 2003 in fachlicher Kooperation mit dem Landesamt für Bergbau, Geowissenschaften und Rohstoffe (LBGR) auch der kontinuierliche Aufbau des Sondermessnetzes „Geogene Versalzung“ (kurz Salzmessnetz, s. Kap. 2.8). Mit diesem Messnetz wird sowohl den spezifischen hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Besonderheiten Brandenburgs als auch der aktuellen klimatischen Situation mit niedrigen Grundwasserneubildungsraten infolge abnehmender Niederschläge Rechnung getragen. Von diesem Messnetz liegen jedoch noch nicht genügend Messwerte vor, so dass eine kohärente Bewertung erst zu einem späteren Zeitpunkt und daher nicht in diesem Bericht vorgenommen werden kann.

Mit den bisher zweimal jährlich an den Messstellen des Grund- und des Nitratmessnetzes erhobenen und zu prüfenden Messwerten (s. Kap. 3) wird zunächst eine aktuelle und umfassende Bestandsaufnahme zum chemischen Zustand des Grundwassers im Land Brandenburg durchgeführt (s. Kap. 4). Ergebnisse der Bestandsaufnahme werden in vorhandene Beschreibungen der Grundwasserbeschaffenheit integriert (KUNKEL ET AL. 2004, HANNAPPEL & WOLTER 2001, HYDOR 2003, HYDOR 2005). Danach erfolgt eine Analyse des zeitlichen Aspekts (s. Kap. 5) durch den Vergleich mit den Messwerten vor 2001. Hiermit wird auch verstärkt den Anforderungen der seit 2000 gültigen Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG 2000) und der Grundwasserrichtlinie (EG 2006) Rechnung getragen, die das Erkennen von zeitlichen Trends der Konzentrationsentwicklung hydrochemischer Parametern fordert.

Anschließend erfolgt eine über die punktbezogenen Messwerte hinausgehende „Regionalisierung“ der Konzentrationen von Parametern, die als charakteristisch für die diffuse Grundwasserbelastung angesehen werden. Hierzu werden zusätzlich zu den Messwerten weitere Informationen herangezogen und ein Programm genutzt (s. Kap. 6), das in Baden-Württemberg erarbeitet wurde und auch in benachbarten Ländern (KUHNS ET AL. 2007, KOLLATSCH ET AL. 2005) angewendet wird.

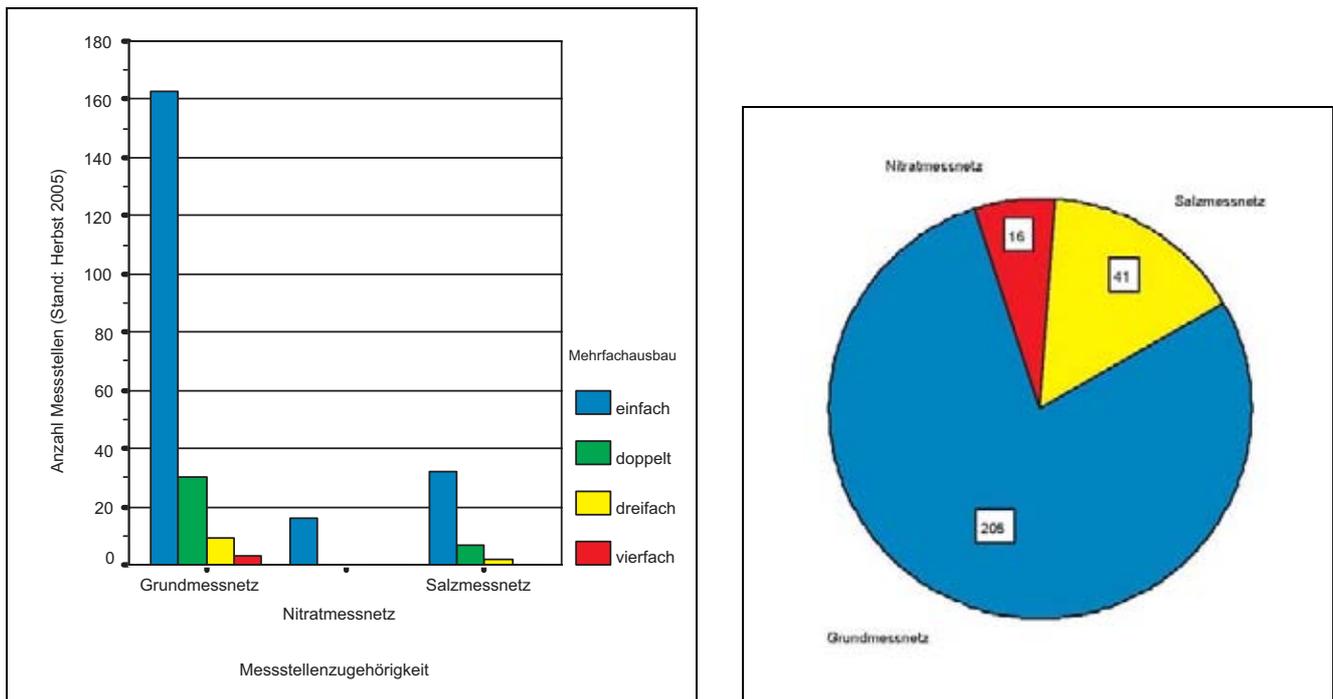
## 2 Konzeption der regionalen Grundwasserüberwachung in Brandenburg

### 2.1 Gliederung der Messnetze zum informationsorientierten Grundwassermonitoring

Die konzeptionellen Grundlagen der regionalen informationsorientierten Grundwasserüberwachung in Brandenburg sind in den bisherigen Berichten ausführlich erläutert (LUA 1996 A & B LUA 2002) worden. Ergänzende Ausführungen zum Sondermessnetz „Geogene Versalzung“ (s. Kap. 2.8) finden sich z.B. in LUA (2004). Die regionale Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit erfolgt auf Grundlage des 1993 erstmalig erstellten und seitdem kontinuierlich fortgeschriebenen Messnetzkonzeptes zum Grundwassermonitoring, Teil Beschaffenheit.

Abb. 2.1 dokumentiert den im Jahr 2005 erreichten Stand der insgesamt 262 regelmäßig zweimal im Jahr untersuchten Grundwassermessstellen pro Teilmessnetz (Grund-, Nitrat- und Salzmessnetz). Erkennbar ist der für den Lockergesteinsbereich typische Mehrfachausbau an Standorten, an denen sich mehrere hydraulisch zumeist voneinander getrennte Grundwasserleiter in unterschiedlichen

Tiefenlagen befinden. Bei einem Doppel-, Dreifach- oder Vierfachausbau kann also die Verlagerung von Stoffen mit zunehmender Tiefe untersucht werden.



**Abb. 2.1: Struktur des Messstellenausbau pro Standort (links) und Anzahl der Messstellen (rechts) in den drei Landesmessnetzen**

Diese Arbeiten sind seit einigen Jahren eingebettet in den fachlichen Zusammenhang der seit Dezember 2000 europaweit gültigen EU-Wasserrahmenrichtlinie (EG 2000). Im Rahmen der von den Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder bis zum Jahr 2004 durchgeführten Bestandsaufnahme wurden grenzüberschreitende Grundwasserkörper (GWK) ausgewiesen. Die Messdaten der drei informationsorientierten Messnetze, die Grundlage dieses Berichts sind, gehören nach der Wasserrahmenrichtlinie alle zur überblicksweisen Überwachung der Grundwasserkörper. In diesem Kapitel werden zunächst die konzeptionellen und organisatorischen Grundlagen dieser Messnetze beschrieben, bevor in Kap. 3 die Messdaten vorgestellt und bewertet werden.

## 2.2 Das Grundmessnetz

Das Grundmessnetz wurde von 1992 bis 2003 komplett neu eingerichtet. Vor allem in den Jahren von 1995 bis 2001 wurden umfangreiche Neubaumaßnahmen, Überprüfungen von Altmessstellen sowie die Integration bestehender Messstellen durchgeführt. Der Aufbau wurde im Jahr 2001 weitgehend abgeschlossen (LUA 2002). In den Folgejahren wurden noch in geringem Maß Altmessstellen durch Neubauten am gleichen Ort ersetzt. Die Abb. 2.2 und 2.3 zeigen die Anzahl der jeweils beprobten Messstellen.

Im Jahr 2003 war der Aufbau des Grundmessnetzes mit dem Ersatzneubau der letzten Messstelle komplett abgeschlossen. Das Grundmessnetz umfasste zu diesem Zeitpunkt insgesamt 205 Messstellen. Diese Messstellen werden seitdem regelmäßig beprobt, lediglich im Herbst 2004 konnten bei einigen Messstellen aus organisatorischen Gründen keine Proben entnommen werden (s. Abb. 2.3).

Im Gegensatz zum Grundmessnetz blieb die Anzahl der im Nitratmessnetz befindlichen Messstellen in den fünf Jahren seit 2001 stabil. Jeweils im Frühjahr und Herbst wurden 16 Messstellen beprobt. Zwischen Grund- und Nitratmessnetz besteht zumeist eine klare räumliche Trennung. Lediglich an vier Standorten (Reichenow, Liedekahle, Kemnitz und Barenthin) ist der Oberpegel dem Nitrat- und der Unterpegel dem Grundmessnetz zugeordnet.

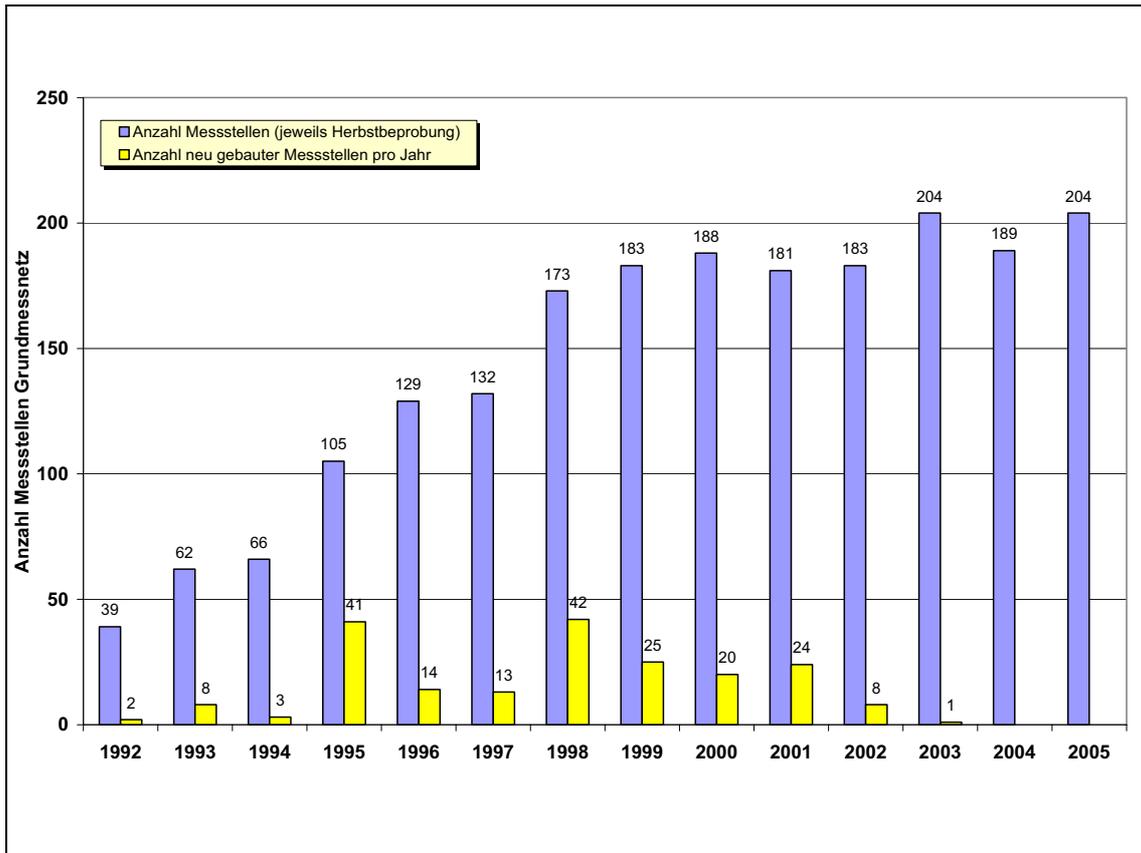


Abb. 2.2: Anzahl der beprobten und neu gebauten Messstellen des Grundmessnetzes von 1992 bis 2005

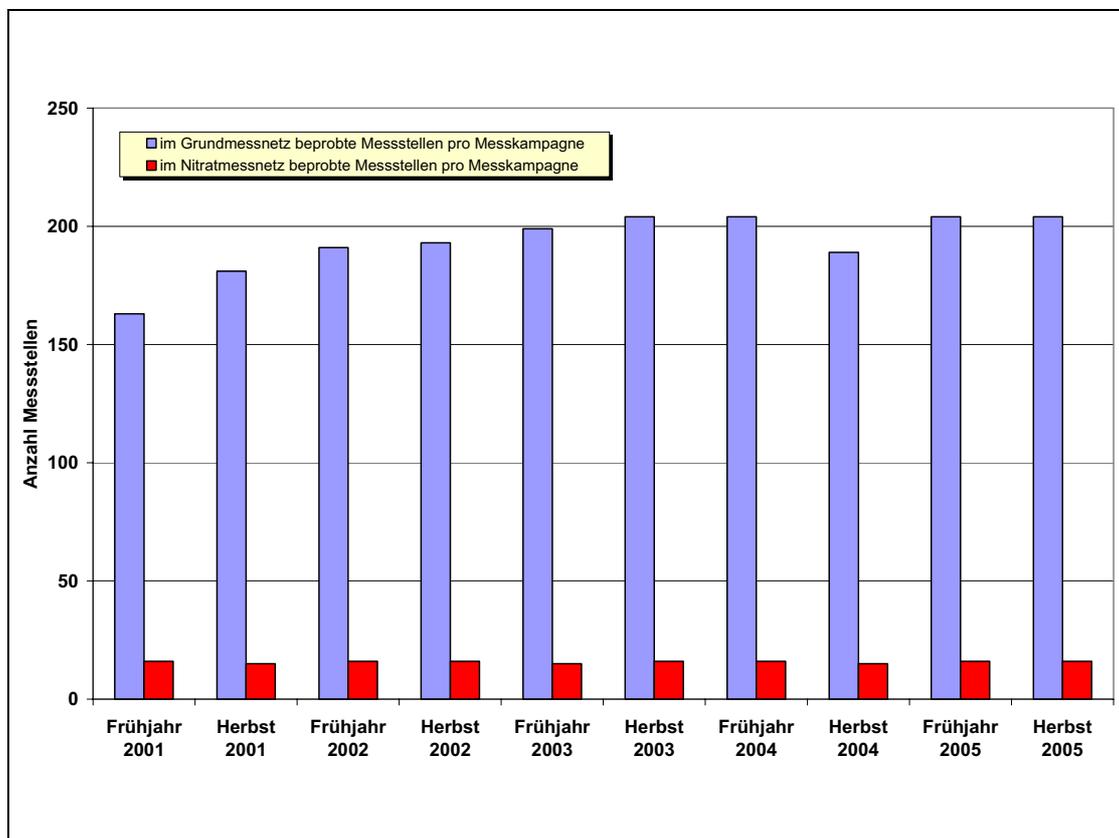


Abb. 2.3: Anzahl der beprobten Messstellen des Grund- und Nitratmessnetzes von Frühjahr 2001 bis Herbst 2005

## 2.3 Hydrologische Rahmenbedingungen

Die hydrologischen Rahmenbedingungen sind zur Interpretation der in den Grundwasserproben gewonnenen Beschaffenheitsdaten von großer Bedeutung. Das gilt vor allem für das Land Brandenburg mit seinen für Deutschland z.T. extremen hydrologischen Rahmenbedingungen. Um diesem Aspekt im Rahmen der hier vorgenommenen Untersuchungen zumindest ein Mindestmaß an Aufmerksamkeit zu widmen, wurden folgende digitale Datenbestände bei den Auswertungen berücksichtigt:

- Jahresniederschlagssummen vier ausgewählter Messstationen (1990 – 2005, Abb. 2.4),
- räumliche Verteilung der Niederschlagssummen (Mittelwert 1981 – 2000, Abb. 2.5),
- räumliche Verteilung weiterer relevanter Wasserhaushaltsgrößen für das Grundwasser (Evapotranspiration, oberirdischer Abfluss, Sickerwasserbildung),
- kontinuierlich gemessene Grundwasserstände an den Beschaffenheitsmessstellen.

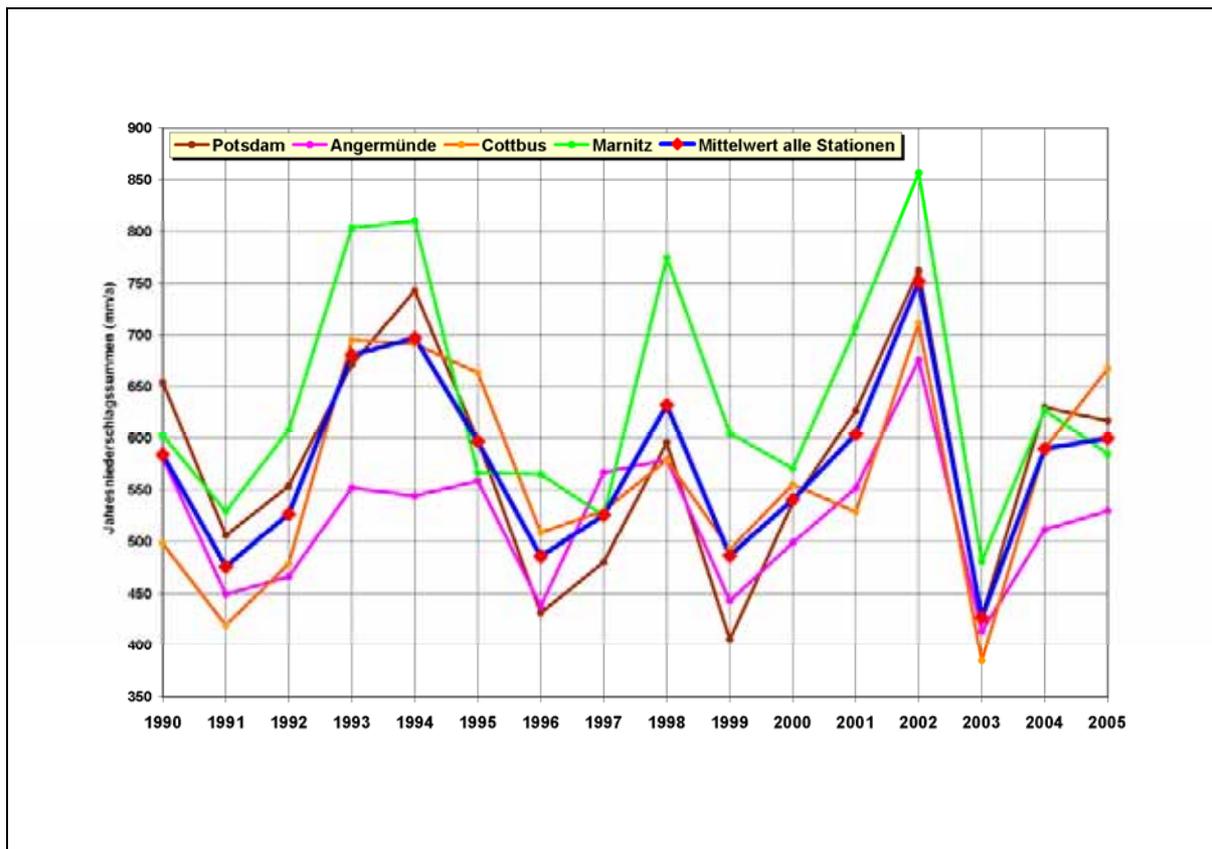
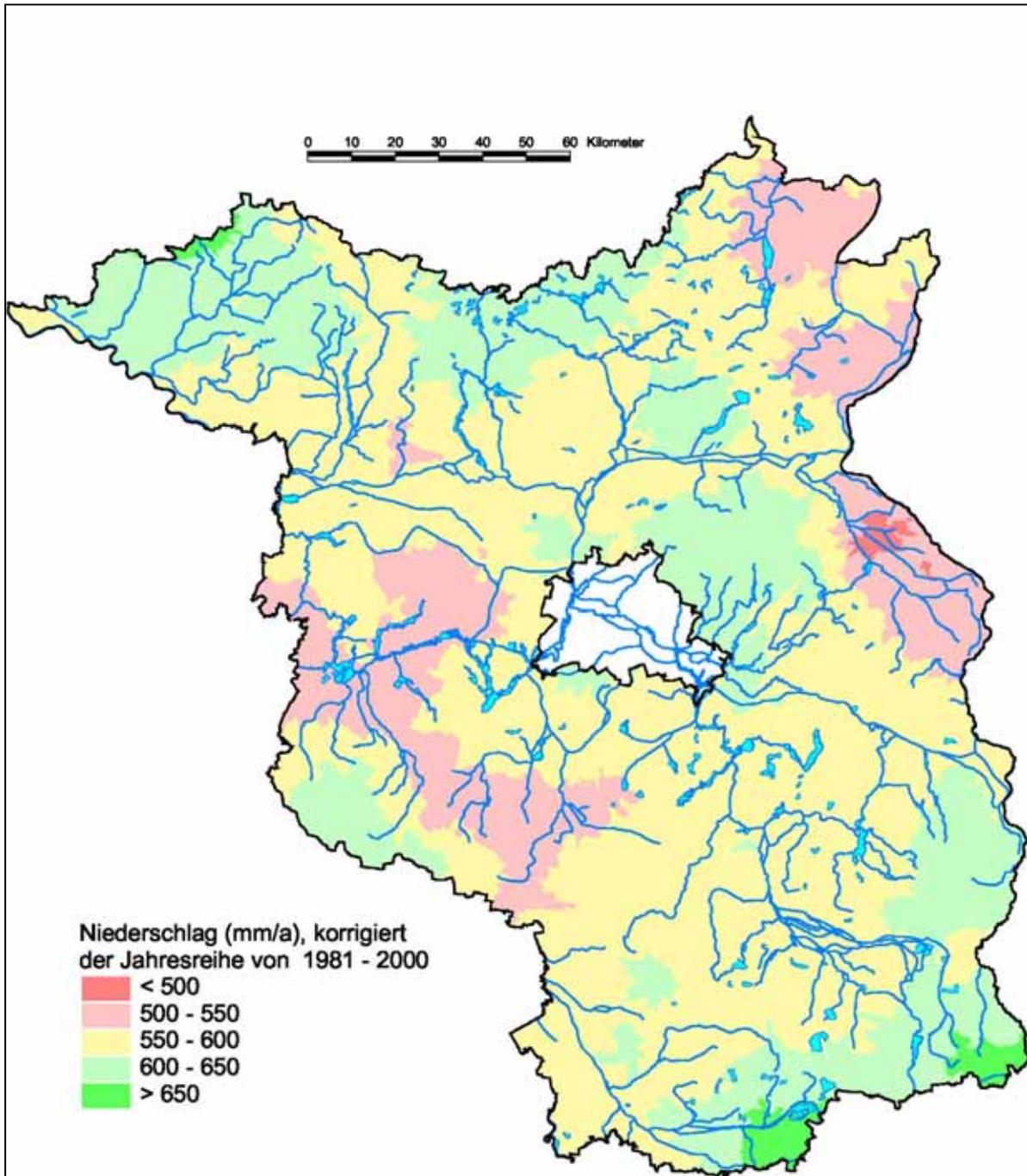


Abb. 2.4: Zeitliche Entwicklung der Jahresniederschlagssummen an vier ausgewählten Niederschlagsstationen

Die Jahresniederschlagssummen der vier über die gesamte Landesfläche verteilten Messstationen zeigen für den Zeitraum von 2001 bis 2005 einige Besonderheiten. Das Jahr 2002 war mit durchschnittlich 750 mm sehr niederschlagsreich, während das darauf folgende Jahr 2003 mit weniger als 450 mm extrem niederschlagsarm war (niedrigster Wert seit 1990). Die übrigen drei Jahre liegen mit Werten um etwa 600 mm im durchschnittlichen Bereich. Bei dieser starken Dynamik der zeitlichen Entwicklung des Niederschlagsverhaltens ist ein Einfluss auf die Entwicklung der Grundwasserstände zu erwarten (s.u.). Inwiefern dies auch Auswirkungen auf die zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von Beschaffenheitsparametern hat, wird im Rahmen der Untersuchungen zur zeitlichen Entwicklung der Konzentrationen erläutert (s. Kap. 5.2).

In Abb. 2.5 ist die räumliche Verteilung der mittleren Jahressumme des korrigierten Niederschlags in Millimeter (mm) für die Reihe 1981 – 2000 innerhalb des Landes Brandenburg dargestellt. Sie entstammt dem vom Landesumweltamt projektbezogen übergebenen Datenbestand zu den „Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg Reihe 1981 – 2000“ (WH BB) mit Stand vom 21.02.2005 (LUA 2005).



**Abb. 2.5: Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen (Mittelwert 1981 – 2000)**

Dieser Datenbestand zur Abflussbildung wurde im Rahmen der Erstellung einer Abflusspendenkarte mit einem detaillierten Niederschlags-Abfluss-Modell (ARCEGMO) modelliert (BAH 2004). Als Grundlagendaten für die Modellierung wurden ein Höhenmodell (DGM25), Bodeninformationen (BÜK300) und Landnutzungsdaten (CIR BB) genutzt. Als meteorologische Eingangsdaten wurden die Reihen von 291 Niederschlags- und 22 Klimastationen verwendet. Die Modellierungsergebnisse der Wasserhaushaltsgrößen

- $P_{\text{kor}}$  ... Niederschlag (korrigiert),
- ETR ... Reale Verdunstung,
- SIC ... Sickerwasserbildung und
- RO ... Oberflächenabfluss

wurden zu mittleren Jahressummen der Reihe 1981 bis 2000 zusammengefasst. Die Angabe erfolgt in mm/a. Der Datenbestand WH BB enthält die berechneten Wasserhaushaltsgrößen für die ausge-

wiesenen Einzugsgebietsflächen im Land Brandenburg. Als Grundlage für die Darstellung wurden die oberirdischen Einzugsgebiete mit dem Bearbeitungsstand 04.09.2004 verwendet. Über die Landesgrenze hinausgehende Einzugsgebietsflächen wurden nicht abgeschnitten. Die so aufbereiteten Ergebnisdaten stellen eine Aktualisierung des „NAU-Kartenwerkes“ dar.

Die regionale Verteilung der Niederschlagssummen zeigt deutlich ausgeprägte Unterschiede innerhalb der Landesfläche. Im Oderbruch treten „Trockeninseln“ mit weniger als 500 mm Niederschlag pro Jahr auf. Insgesamt überwiegen die Flächen mit Niederschlagssummen zwischen 550 und 600 mm pro Jahr. Niedrigere Werte sind im Nordosten (Uckermark) sowie im Westen (Havelland) und Südwesten (Fläming) erkennbar. Höhere Niederschläge mit mehr als 600 mm/a treten vor allem im Bereich der Hochflächen im Nordwesten (Prignitz) und im Südosten, im Bereich der Landesgrenze zu Sachsen (z.T. mehr als 650 mm/a) auf. Der flächengewichtete Mittelwert liegt bei 595 mm/a (für die Jahresreihe von 1981 bis 2000).

Abb. 2.6 dokumentiert aus dem Datenbestand der Wasserhaushaltsgrößen die mit dem Modell ARCEGMO ermittelte mittlere Jahressumme der Sickerwasserbildung („SIC“).

Im Vergleich dazu zeigt Abb. 2.7 Daten zur Grundwasserneubildung als Ausschnitt aus dem „Hydrologischen Atlas von Deutschland“ (HAD 2002). Hierbei handelt es sich um flächenhaft berechnete Daten im 1-km-Raster zur Grundwasserneubildung auf Basis der Karte zum Gesamtabfluss des HAD. Diese Daten stehen als Ergebnis von flächendifferenziert im 1x1-km-Raster durchgeführten Berechnungen auf Grundlage eines regressionsbasierten Verfahrens mit einer multiplen linearen Regression zur Verfügung (NEUMANN & WYCISK 2002).

Zwischen beiden Darstellungen sind Unterschiede in Bezug auf die absoluten Größenordnungen der Werte erkennbar, die regionalen Trends sind aber zumeist identisch. Die Daten des HAD im Bereich der großen Niederungen des Landes (Baruther Urstromtal, Havelniederung westlich von Berlin) zeigen negative Werte der Grundwasserneubildung, also eine Zehrung der Vorräte an, während die Sickerwasserbildungsraten hier zumeist noch positive Neubildungsraten von bis zu 50 mm/a wiedergeben. In Gebieten mit erhöhter Grundwasserneubildung (z.B. Teile der Prignitz und des Barnims) überschreiten die Daten des HAD nur selten Werte von 150 mm/a, während die Sickerwasserraten oftmals bis 200 mm/a und lokal darüber hinausreichen. Diese Unterschiede sind auf die verschiedenen Modellansätze und die Tatsache zurückzuführen, dass für die Daten des HAD eine einzugsgebietsbezogene Reduzierung der Sickerwasserraten vorgenommen, dies für die mit dem Modell ARCEGMO berechneten Daten jedoch nicht durchgeführt wurde. Letztere repräsentieren somit den gesamten unterirdischen Abfluss und liegen damit höher als die HAD-Daten, die abzüglich des „Interflow“ nur jenen Teil des unterirdischen Abflusses darstellen, der den Grundwasserleiter erreicht. Dies ist auch bei den regionalen Unterschieden in Niederungen und Hochflächegebieten (z.B. auf dem Barnim nordöstlich von Berlin oder in der Uckermark) gut erkennbar. Von den 595 mm/a, die im Durchschnitt als Niederschlag fallen, erreichen nur etwa 12 % (nach den Daten des HAD) die Grundwasservorräte und tragen so zu ihrer Erneuerung bei.

Um die Auswirkungen der zeitlichen Entwicklung und regionalen Verteilung von Wasserhaushaltsgrößen auf die Beschaffenheit des Grundwassers zu ermitteln, werden durch das Landesumweltamt für alle Messstellen des Grundmessnetzes neben den Konzentrationen auch die Grundwasserstände ermittelt. Abb. 2.8 zeigt exemplarisch die Ganglinie einer wöchentlich gemessenen, oberflächennah ausgebauten Messstelle in der Prignitz im Zeitraum von November 2000 bis Mai 2006.

Sehr gut erkennbar ist hier der Einfluss des Niederschlagsgeschehens mit dem steilen Anstieg des Grundwassers im Jahr 2002 und dem unmittelbar folgenden Rückgang im Jahr 2003 auf das Niveau von 2001. In den Folgejahren fiel der Grundwasserstand noch weiter und erreichte im Dezember 2005 seinen Tiefststand seit 2000.

Um die zeitlichen Zusammenhänge zwischen Niederschlagsverhalten und Grundwasserstand für die Gesamtheit der Messstellen des Grundmessnetzes zu untersuchen, wurden alle zur Verfügung stehenden Daten aggregiert. Der Grundwasserstand an den Messstellen wird zumeist wöchentlich, an einzelnen Standorten mittels automatisierter Datensammelgeräte (Datenlogger) auch kontinuierlich (zumeist täglich) gemessen. Für die Auswertungen lagen jeweils die Monatsmittelwerte für den Zehnjahres-Zeitraum von 1996 bis 2005 vor.

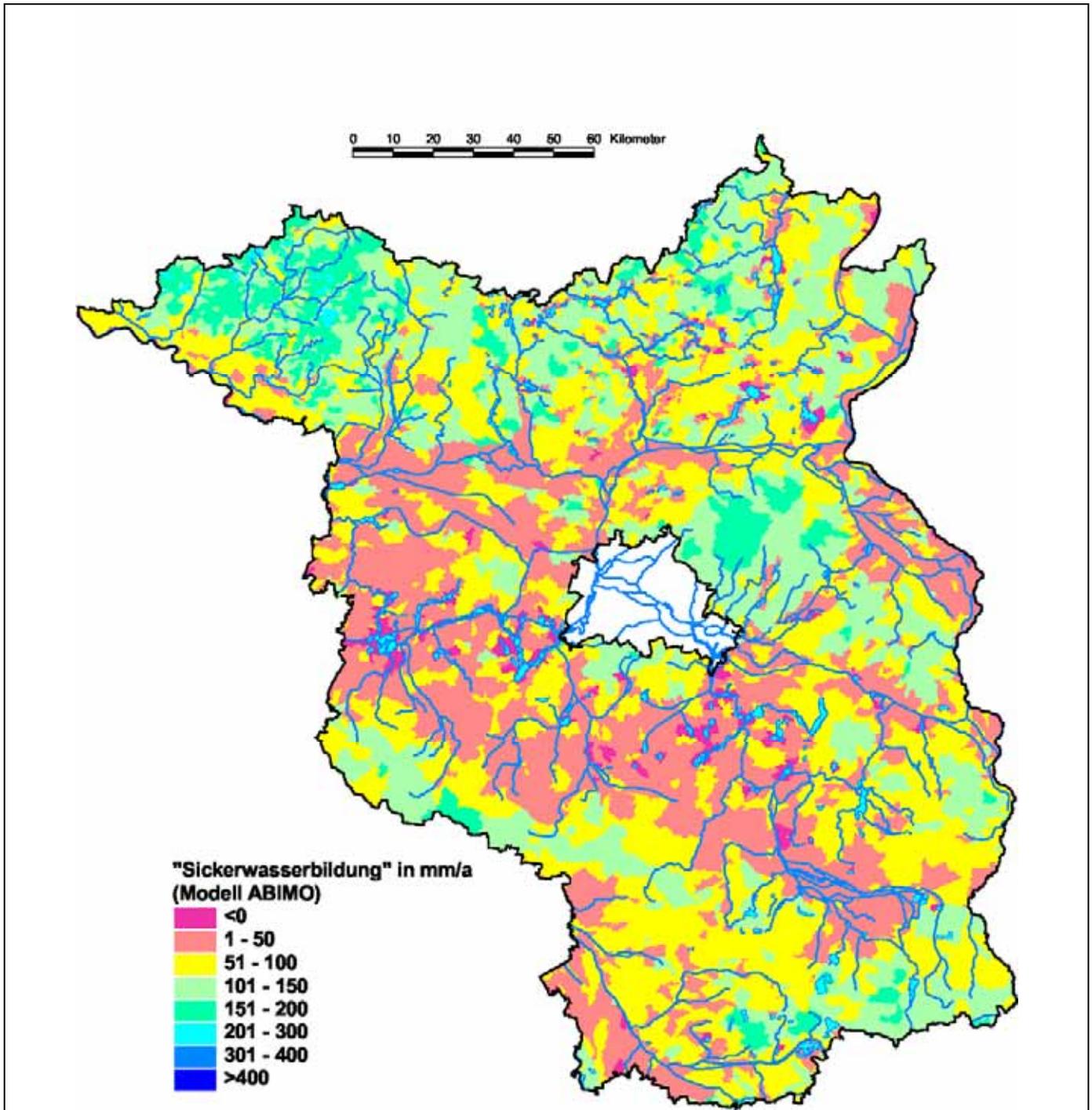


Abb. 2.6: Mittlere Jahressumme der Sickerwasserbildung (berechnet mit dem Modell ArcEGMO nach den Daten „Wasserhaushalt“ des Landesumweltamtes Brandenburg)

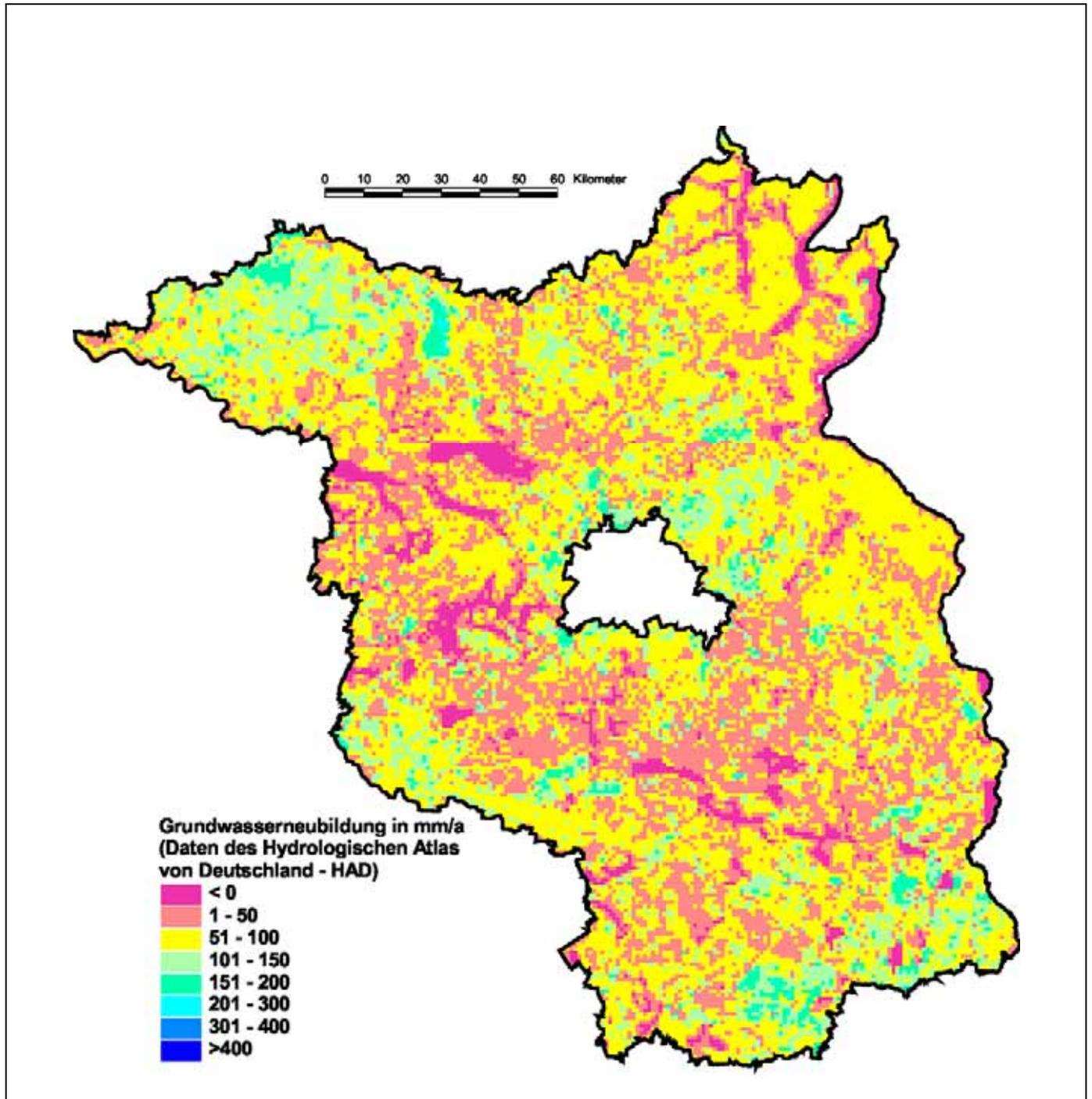


Abb. 2.7: Räumliche Verteilung der Grundwasserneubildungsrate in Brandenburg nach den Daten des Hydrologischen Atlas von Deutschland (HAD)

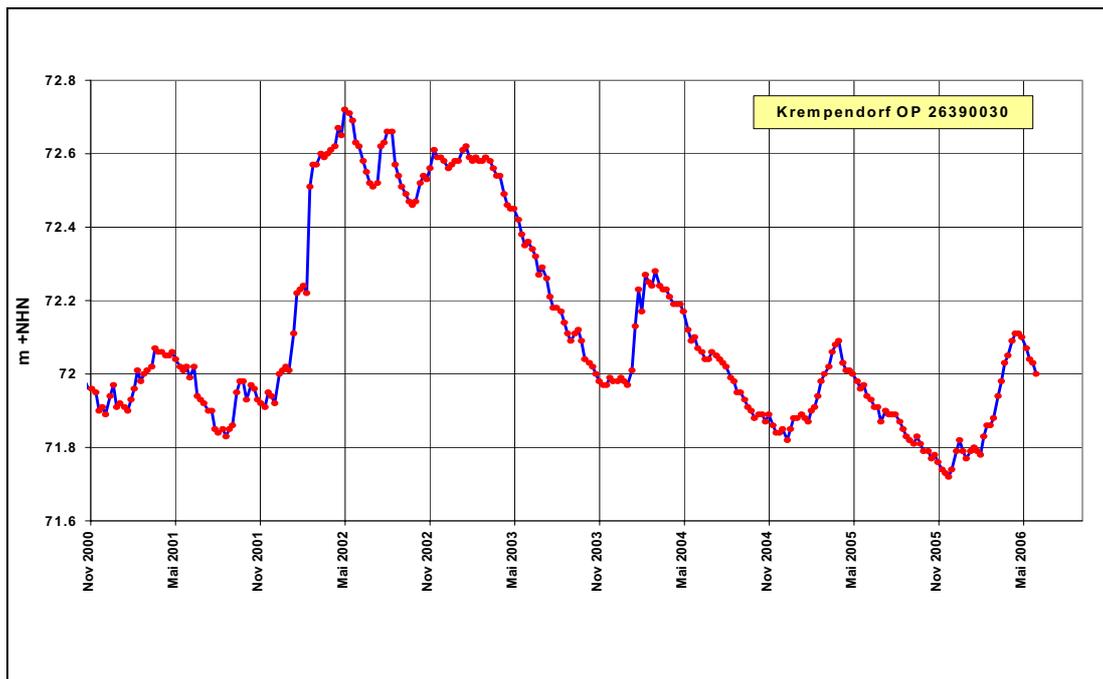


Abb. 2.8: Ganglinie des Grundwasserstandes einer Messstelle in der Prignitz

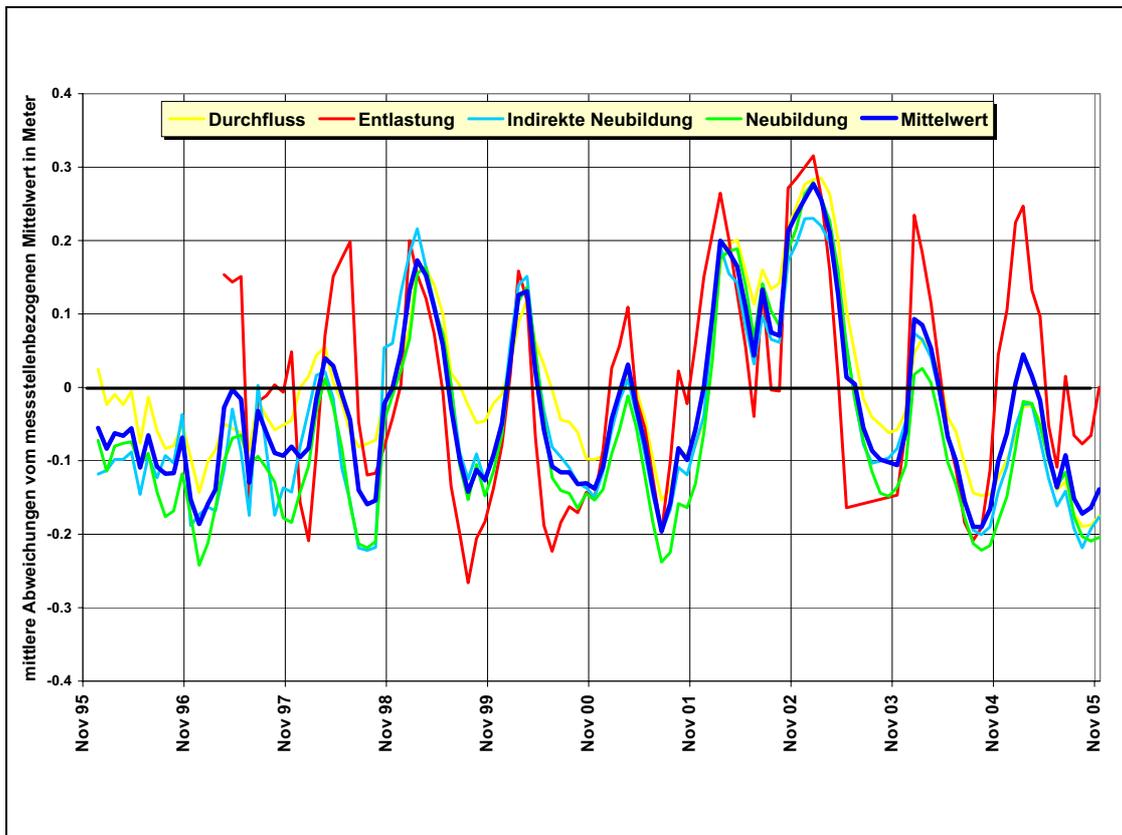


Abb. 2.9: Zeitliche Entwicklung der Abweichungen vom pegelbezogenen mittleren Grundwasserstand der Messstellen aus dem Grundmessnetz im Zeitraum von November 1995 bis November 2005

Zur messstellenübergreifenden und standardisierten Beurteilung des zeitlichen Schwankungsverhaltens wurde zunächst pro Messstelle der Mittelwert des Grundwasserstandes und anschließend die terminbezogene Abweichung von diesem Mittelwert ermittelt. Diese Abweichungen sind in Abb. 2.9 für den zehnjährigen Zeitraum dargestellt. Zusammengefasst wurden jeweils alle Messstellen innerhalb einer hydrogeologischen Struktureinheit. Diese unterscheiden sich in Bezug auf die hydraulischen Verhältnisse. Zusätzlich dargestellt ist der (blau markierte) Mittelwert von allen Messstellen.

Gut erkennbar ist ein ausgeprägtes und zumeist jahreszeitlich bedingtes Schwankungsverhalten der Grundwasserstände. Jeweils im Sommer bzw. Herbst treten negative, im Winter bzw. Frühjahr hingegen positive Abweichungen vom Mittelwert auf. Hieraus wird die Kopplung des Grundwasserhaushaltes an das Niederschlagsverhalten deutlich. Die Schwankungen sind jedoch (im Durchschnitt) recht gering ausgeprägt. Die maximalen Abweichungen von etwa 60 cm sind einerseits durch die Mittelung aller Messstellen innerhalb einer hydrogeologischen Struktureinheit erklärbar, zeigen andererseits aber auch die Dämpfung der klimatischen Wasserhaushaltsgrößen durch den Grundwasserhaushalt an.

Die hohen Niederschlagssummen des Jahres 2002 führen auch zu den höchsten mittleren Abweichungen im Herbst bzw. Winter 2002. Anschließend fallen die Grundwasserstände infolge der geringen Niederschläge im Jahr 2003 wieder und erreichen im Herbst 2004 mit etwa 0,2 m negativer mittlerer Abweichung den Tiefststand. Die drei Jahre von 2002 bis 2004 sind insgesamt durch eine hohe Dynamik im Vergleich zu dem insgesamt betrachteten Zeitraum von zehn Jahren geprägt. Ein zeitlicher Trend des Schwankungsverhaltens hingegen ist nicht erkennbar. Hieraus können jedoch keine allgemeinen Schlussfolgerungen auf die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände in Brandenburg in den zehn Jahren gezogen werden, da die Datengrundlage der Messstellen des Grundmessnetzes nicht ausreicht. Um dies zu beurteilen, müssten die entsprechenden Daten des ungleich umfangreicheren Grundwasserstandsmessnetzes mit der gleichen Methode bewertet werden.

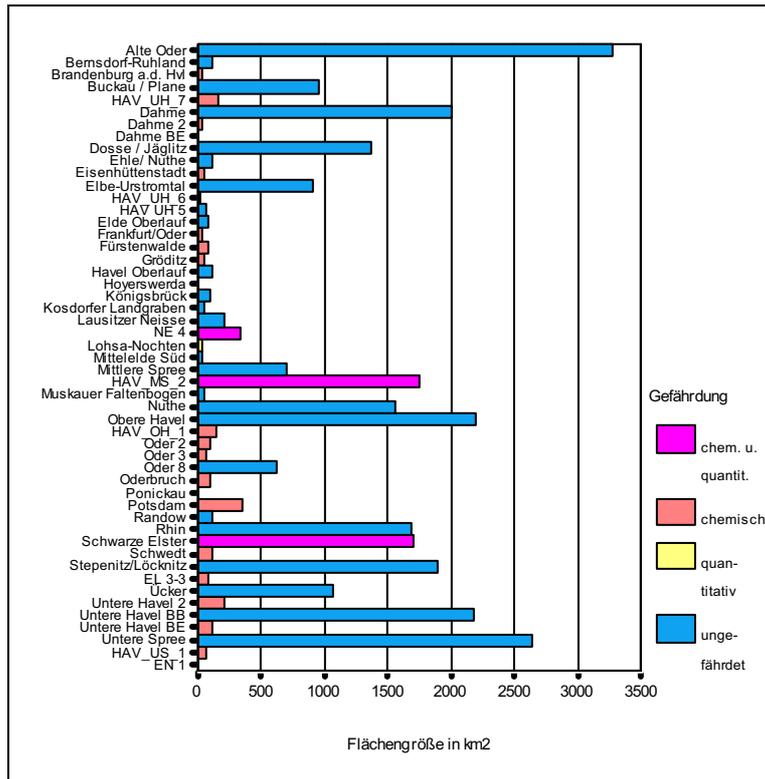
## 2.4 Regionale Verteilung der Messstellen innerhalb der Grundwasserkörper

Bei der Bestandsaufnahme im Rahmen der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, EG 2000) wurden 51 Grundwasserkörper innerhalb der Landesfläche als zusammenhängende Flächeneinheiten ausgewiesen. Anhang 1 dokumentiert die regionale Verteilung der Grundwassermessstellen des Grund-, Nitrat- und Salzmessnetzes innerhalb dieser Grundwasserkörper.

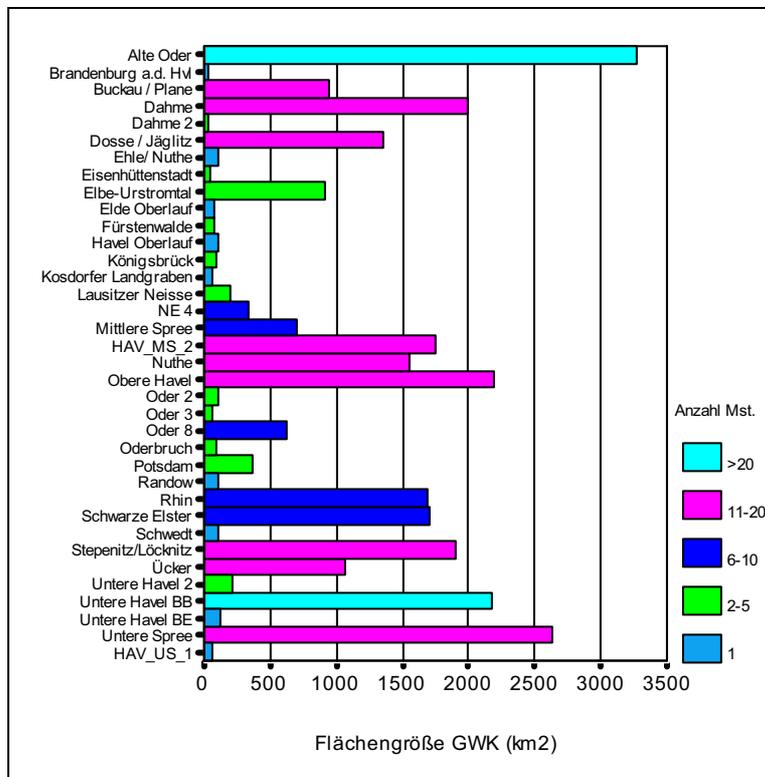
Ebenfalls im Zusammenhang mit der Bestandsaufnahme wurde eine Risikoabschätzung pro Grundwasserkörper vorgenommen. Diese beinhaltete auch eine Abschätzung, ob für den jeweiligen Körper das Ziel der Wasserrahmenrichtlinie, den „guten Zustand“ zu erreichen, wahrscheinlich oder gefährdet ist. Bei dieser Abschätzung wurde differenziert nach quantitativen und chemischen Aspekten. Danach sind zwei der 51 Grundwasserkörper gefährdet, den guten quantitativen Zustand zu erreichen. In Bezug auf den guten chemischen Zustand sind es 19 der 51 Körper. Qualitativ und quantitativ gefährdet sind vier Körper. Die anderen Grundwasserkörper erreichen nach der Prognose des Landesumweltamtes bis 2015 den „guten Zustand“. In Abb. 2.10 sind die Flächengrößen der 51 Körper in Abhängigkeit von den vier möglichen Kombinationen der Risikoabschätzung dargestellt. Abb. 2.11 dokumentiert die Belegung der 51 Grundwasserkörper mit den Messstellen der Landesmessnetze.

Die Flächengrößen der Grundwasserkörper reichen von 26 km<sup>2</sup> (Frankfurt/Oder) bis hin zu mehr als 3.000 km<sup>2</sup> (GWK „Alte Oder“). Von wenigen Ausnahmen abgesehen, sind die sehr großen Körper (mehr als 1.000 km<sup>2</sup>) als „nicht gefährdet“ in Bezug auf die Zielerreichung eingeschätzt. Zwei solcher Ausnahmen sind die Körper „Schwarze Elster“ und „Mittlere Spree B“, die sowohl quantitativ als auch chemisch gefährdet sind. Des Weiteren sind eine Reihe von meist kleinen (< 250 km<sup>2</sup>) Körpern als „chemisch gefährdet“ eingestuft. Davon sind oftmals die urbanen Ballungsräume des Landes betroffen.

Die großen Körper sind zumeist mit mehr als zehn Messstellen der drei Landesmessnetze ausgestattet. Ausnahmen bilden z.B. die beiden Körper „Rhin“ und „Schwarze Elster“ mit jeweils mehr als 1.500 km<sup>2</sup>, jedoch weniger als zehn Messstellen. 15 der 51 Grundwasserkörper haben keine Messstellen. Sie umfassen jedoch nur 763 km<sup>2</sup> (2,6 % der Gesamtfläche Brandenburgs).



**Abb. 2.10:** Klassifizierung der 51 Grundwasserkörper des Landes Brandenburg in Bezug auf die chemische bzw. quantitative Gefährdung im Rahmen der Bestandsaufnahme (Namensgebung der GWK z.T. in Kurzform, s. hierzu tabellarisches Übersichtsblatt zu Anhang 1)



**Abb. 2.11:** Anzahl Messstellen des Grundmessnetzes in den 51 Grundwasserkörpern (Namensgebung der Körper z.T. in Kurzform, s. hierzu tabellarisches Übersichtsblatt zu Anhang 1)

## 2.5 Hydrogeologische Charakterisierung des Grund- und Nitratmessnetzes

In Fortführung der bisherigen konzeptionellen Arbeiten zum Aufbau des Grundwassermonitorings in Brandenburg (UWG 1993, LUA 1996c) in den Jahren 1993 bis 2001 wurden die Stammdaten der Messstellen sowohl des Grund- als auch des Nitratmessnetzes einer umfangreichen Plausibilitätsprüfung unterzogen. Sie umfasste die Überprüfung der Zuordnung einer Messstelle zur hydrogeologischen Struktureinheit, die ein wesentliches Kriterium der bisherigen Messnetzkonzeptionen war. Außerdem wurden Hinweise berücksichtigt, die im Rahmen einer Diplomarbeit an der BTU Cottbus vorlagen (SCHULTE 2003). Diese beziehen sich u.a. auf die Definition der hydrogeologischen Struktureinheiten.

Die Überprüfung erfolgte im Wesentlichen auf der Grundlage der Schichtenverzeichnisse und Ausbauangaben von insgesamt 221 Grundwassermessstellen. Hierfür wurden alle verfügbaren Informationen ausgewertet und eine einheitliche GeODin-Access-Datenbank angelegt. Sie umfasst Angaben zu allen 221 Messstellen des Grund- und des Nitratmessnetzes. Tab. 2.1 dokumentiert zu 26 Messstellen Änderungen in der Zuordnung der hydrogeologischen Struktureinheit. Sie betrafen zumeist Neuordnungen, bei denen zum Zeitpunkt der letztmalig vorgenommenen Zuordnung im Jahr 2001 noch keine digital verfügbaren Schichtenverzeichnisse zur Verfügung standen. Das Ergebnis der Zuordnung wurde in den Stammdaten aufgenommen und geht in alle nachfolgenden Datenauswertungen der Messwerte ab 2001 ein.

**Tab. 2.1: Änderungen in der Zuordnung von Messstellen zu den hydrogeologischen Struktureinheiten**

MKZ	Grundwassermessstelle	Filter	Hydrogeologische Struktureinheit alt	Hydrogeologische Struktureinheit neu	Ø Filtertiefe [m u. GOK]	GW-Stand [m u. GOK]
2648 0022	Wilhelmshof		Durchfluss	Indirekte Neubildung	15,80	6,76
2840 1171	Natteheide	UP	Durchfluss	Indirekte Neubildung	23,00	3,00
2851 1233	Jamikow-Stendell		Neubildung	Indirekte Neubildung	12,00	2,89
2947 0010	Vietmannsdorf		Entlastung	Indirekte Neubildung	10,30	1,70
3037 0060	Bälow		Entlastung	indirekte Neubildung	9,10	1,62
3042 9700	Darritz	OP	Durchfluss	Indirekte Neubildung	10,60	0,88
3047 0030	Groß Schönebeck	OP	Neubildung	Indirekte Neubildung	6,10	3,50
3144 5105	Linde		Durchfluss	Indirekte Neubildung	17,60	5,57
3146 4700	Neuholland-Liebenwalde		Neubildung	Entlastung	7,00	1,02
3243 9500	Ziethenhorst		Neubildung	Entlastung	14,00	1,86
3247 1958	Biesenthal	OP	Entlastung	Neubildung	8,80	2,13
3247 1959	Biesenthal	MP	Entlastung	Durchfluss	44,22	1,56
3247 1960	Biesenthal	UP	Entlastung	Durchfluss	57,26	1,57
3339 2110	Steckelsdorf		Neubildung	Indirekte Neubildung	7,20	1,93
3452 2499	Gusow	UP	Entlastung	Indirekte Neubildung	17,00	1,08
3644 1950	Bergholz-Rehrbrücke		Entlastung	Indirekte Neubildung	9,00	1,26
3748 5034	Gussow	OP	Entlastung	Indirekte Neubildung	13,95	0,99
3750 5096	Glienicke	OP	Durchfluss	Indirekte Neubildung	16,00	13,93
3841 3470	Kuhlowitz	OP	Neubildung	Indirekte Neubildung	14,00	5,99
3851 5039	Beeskow		Entlastung	Indirekte Neubildung	12,00	1,06
3952 5013	Reicherskreuz		Indirekte Neubildung	Durchfluss	25,00	19,45
4047 6210	Liedekahle	UP	Durchfluss	Indirekte Neubildung	34,50	4,64
4149 5000	Boblitz		Neubildung	Entlastung	10,00	1,40
4545 5001	Mühlberg		Neubildung	Indirekte Neubildung	11,00	4,94
3150 2038	Altgietzen		Neubildung	Indirekte Neubildung	7,50	1,64
3440 7725	Gränigen		Neubildung	Entlastung	8,00	2,16

Abb. 2.12 (links) zeigt die Verteilung der jeweiligen Messstellenanzahl innerhalb der vier Klassen der hydrogeologischen Struktureinheit nach den vorgenommenen Zuordnungsänderungen. Knapp die Hälfte der 221 Messstellen sind in bedeckten Grundwasserleitern („Durchfluss“) ausgebaut. Diese Messstellen haben einen Filterausbau von mindestens zehn Meter unter Gelände (s. Abb. 2.12, rechts), zumeist jedoch zwischen 20 und 50 Metern. Umgekehrt haben Messstellen in Entlastungsgebieten zumeist einen Filterausbau von weniger als zehn Metern unter Gelände.

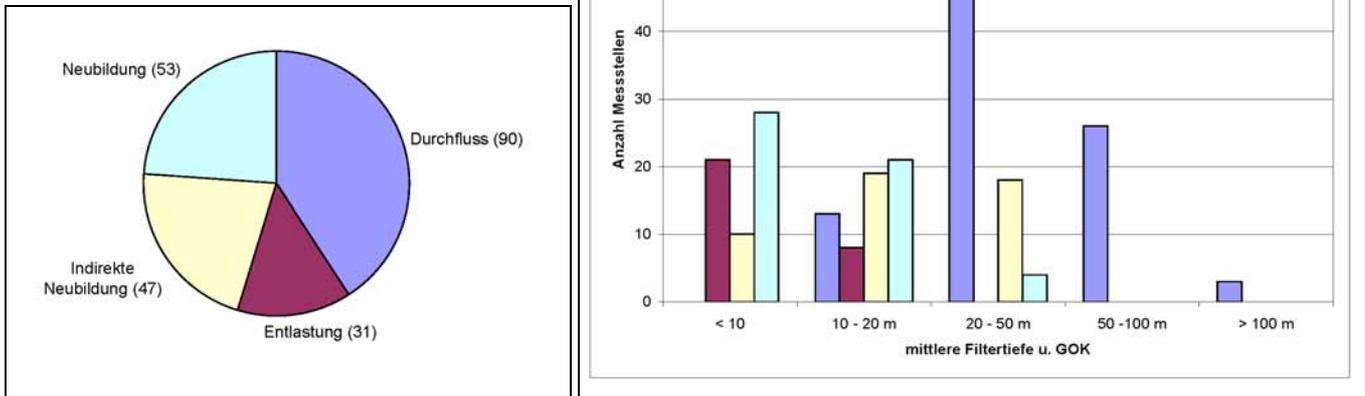


Abb. 2.12: Anzahl Messstellen pro hydrogeologischer Struktureinheit (links) und Zusammenhänge zwischen der Messstellenanzahl und der Tiefe des Filterausbaues bzw. der hydrogeologischen Struktureinheit (rechts) bei den 221 Messstellen des Grund- und Nitratmessnetzes

## 2.6 Technische Organisation des Grundwassermonitorings

Die Probenahme und Analytik wird zweimal im Jahr durchgeführt: die Frühjahrsbeprobung im Zeitraum von März bis Juni, die Herbstbeprobung von September bis Dezember. Das Spektrum der zu bestimmenden hydrochemischen Messgrößen ist gemäß den LAWA-Richtlinien differenziert aufgebaut. Tab. 2.2 zeigt die Struktur des Messprogramms:

Tab. 2.2: Zusammenstellung des Messprogramms des Grundmessnetzes (Stand: Herbstbeprobung 2005)

Erstbeprobung (im Herbst des Baujahres bzw. der Integration der Messstelle)	Bestimmung 2x jährlich (Frühjahr / Herbst)	Pflanzenschutzmittel (PSM) ausgewählte Messstellen	jedes 5. Jahr (Frühjahr / Herbst)
GW-Stand	GW-Stand	p-p'DDT, p-p'DDD, p-p'DDE	<b>LHKW:</b>
organoleptische Parameter	organoleptische Parameter	alpha-, beta-Endosulfan	Dichlormethan
elektrische Leitfähigkeit	elektrische Leitfähigkeit	alpha-HCH, Lindan	Tri-, Tetrachlormethan
Redoxspannung	Redoxspannung	Aldrin, Heptachlor	1.2-Dichlorethan
pH-Wert	pH-Wert	Azinphos-methyl-, -ethyl	1.1.1-, 1.1.2-Trichlorethan
Temperatur Wasser und Luft	Temperatur Wasser und Luft	Dimethoat	cis-1.2-Dichlorethen
Trübung	Trübung	Trifluralin	Tri-, Tetrachlorethen
Sauerstoff	Sauerstoff	Parathion-ethyl-, -methyl	<b>Aromaten:</b>
m-Wert	m-Wert	Dichlorvos	Benzen, Toluol
UV-Extinktion (Hg 254 nm)	UV-Extinktion (Hg 254 nm)	Fenitrothion, Malathion	Xylen, Cumen
Cl, HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub>	Cl, HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub>	2,4-D-Säure	Ethylbenzen
NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , o-PO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , o-PO <sub>4</sub>	2,4-DB	<b>Metalle Sonderprogramm:</b>
Ca, Mg, Na, K, NH <sub>4</sub>	Ca, Mg, Na, K, NH <sub>4</sub>	2,4,5-T-Säure	As, Pb
Fe gesamt, B	Fe gesamt, B	2,4,5-TP	Cu, Cd
Al gelöst und gesamt	Al gesamt	Dichlorprop	Hg, Cr
TOC, AOX	TOC	Mecoprop	Ni
<b>LHKW (9 Stoffe)</b>	F	MCPA, MCPB	<b>PAK (nach EPA):</b>
<b>Aromaten (5 Stoffe)</b>	Mn gesamt	Bentazon	Fluoranthen
MKW	Zn	Quinmerac	Benzo-(b)-Fluoranthen
<b>PAK (16 Stoffe)</b>	Gesamthärte	Bromoxynil	Benzo-(k)-Fluoranthen
<b>PCB:</b>		Fluroxyppyr	Benzo-(a)-Pyren
PCB 28		Atrazin, Simazin	Benzo-(ghi)-Perylen
PCB 52		Desethylatrazin	Indeno-(1,2,3-cd)-Pyren

Erstbeprobung (im Herbst des Baujahres bzw. der Integration der Messstelle)	Bestimmung 2x jährlich (Frühjahr / Herbst)	Pflanzenschutzmittel (PSM) ausgewählte Messstellen	jedes 5. Jahr (Frühjahr / Herbst)
PCB 101		Desisopropylatrazin	Naphthalin
PCB 138		Metribuzin	Acenaphthylen
PCB 153		Chlortoluron, Diuron	Acenaphthen
PCB 180		Isoproturon	Fluoren
		Metaza-, Metolachlor	Phenanthren
		Chloridazon	Anthracen
		Fenuron	Pyren
Frühjahr des 1. Jahres:	Jedes 2. Jahr:	Terbuthylazin	Benz-(a)-Anthracen
<b>Metalle Sonderpr.</b> (7 Stoffe)	SiO <sub>2</sub> -Si	Desethylterbuthylazin	Chrysen
	AOX	Pirimicarb	Dibenzo-(ah)-Anthracen

Das Messprogramm wird auf der Grundlage der Bewertung der Messwerte von 2001 bis 2005 und mit dem Ziel der Einsparung von Laborkapazität einer kontinuierlichen Überprüfung und ggf. Modifizierung unterzogen. Die Messstellen des PSM-Sondermessprogramms (3. Spalte) und die PSM-Wirkstoffe und -Metabolite werden jedes Jahr neu ausgewählt.

## 2.7 Konzeption des Sondermessnetzes „Nitrat“

Das Sondermessnetz Nitrat wurde im Jahr 2000 neu konzipiert. Ende 2005 umfasste es 16 Messstellen (Lage s. Anhang 1). Die Messstellenauswahl erfolgte nach den Kriterien:

- Nitratgehalte dauerhaft über 25 mg/l,
- unbedeckter Grundwasserleiter (Neubildung, Entlastung und indirekte Neubildung),
- Erfassung des oberflächennahen Grundwassers,
- Einzugsgebiet: möglichst Acker, ggf. aber auch andere Flächennutzungen,
- Untersuchung nur von Messstellen des Landesumweltamtes (Vorliegen der notwendigen Stammdaten).

Tab. 2.3: Messstellenumgruppierungen vom Grund- in das Nitratmessnetz und umgekehrt

MKZ	Grundwasser- messstelle	Fi- OK	Fi- UK	Hydrogeol. Struktur	Flächen- nutzung	Beeinflus- sungstyp	Nitrat (mg/l)		
							Min.	Max.	Ø
<b>Umgruppierung vom Grund- in das Nitratmessnetz</b>									
4344 6000	Züllsdorf	9,5	11,5	Entlastung	Siedlung	Versauerung	11,90	44,00	26,05
2951 9047	Criewen	5	7	Neubildung	Acker	Nährstoffe	23,70	59,00	33,00
3047 0030	Gr. Schöneb. OP	5,1	7,1	Indir. Neub.	Siedlung	Metalle	11,29	50,40	33,01
2747 1020	Boitzenburg	28	30	Durchfluss	Siedlung	Nährstoffe	34,00	46,90	36,94
3650 5189	Fürstenwalde	8,1	10,1	Neubildung	Siedlung	Nährstoffe	19,00	68,00	37,32
3841 3470	Kuhlowitz OP	13	15	Indir. Neub.	Brachland	Versauerung	24,60	54,98	38,36
2847 0002	Petersdorf	14	16	Neubildung	Wald	Nährstoffe	34,00	57,60	43,61
3248 2083	Heckelberg	14,5	16,5	Durchfluss	Acker	Nährstoffe	36,00	49,60	44,88
3943 1430	Lüdenhof	30,1	32,1	Indir. Neub.	Wald	Versauerung	37,32	58,88	46,46
4053 6006	Grabko	8	10	Neubildung	Wald	Nährstoffe	44,40	70,00	56,23
3241 7780	Görne	3,8	5,8	Entlastung	Acker	Nährstoffe	26,20	142,74	61,36
2550 1075	Neuenfeld OP	36	37,1	Indir. Neub.	Acker	Nährstoffe	46,50	82,00	61,39
2942 8250	Basdorf	22,5	24,5	Indir. Neub.	Wald	Nährstoffe	40,77	81,90	64,69
3852 5000	Mixdorf	9	11	Indir. Neub.	Siedlung	Nährstoffe	58,00	75,30	70,03
3643 2850	Plötzin	15,1	17,1	Durchfluss	Obstplan.	Nährstoffe	45,91	96,06	70,39
3650 5183	Rauen OP	15	17	Indir. Neub.	Siedlung	Nährstoffe	64,00	100,0	84,25
3750 5096	Glienicke OP	14	18	Indir. Neub.	Wald	Nährstoffe	85,00	109,0	98,11
2751 1090	Neuschönfeld OP	20	22	Durchfluss	Acker	Nährstoffe	92,50	148,0	122,4
<b>Umgruppierung vom Nitrat- in das Grundmessnetz</b>									
3641 2040	Brdbg.-Neuendorf	5,5	7,5	Entlastung	Siedlung	n. b.	0,22	54,0	21,81
3951 1825	Möllen	8,3	9,3	Neubildung	Acker	n. b.	0,10	103,0	24,98

FiOK = Filteroberkante; FiUK = Filterunterkante; Angaben jeweils in Meter unter Gelände

Im Jahr 2001 wurden in das Nitratmessnetz Messstellen integriert, deren Konzentrationen über 25 mg/l Nitrat betragen und die den hydrogeologischen Strukturen Neubildung bzw. indirekte Neubildung zuzuordnen sind. Aus dem Nitratmessnetz wurden hingegen Messstellen herausgenommen, deren Gehalte in den letzten Jahren deutlich unter 25 mg/l Nitrat lagen. Zudem wurden 2001 aus dem Grundmessnetz Messstellen in das Nitratmessnetz übernommen, bei denen wiederholt Konzentrationen über 100 mg/l Nitrat auftraten. Der Umfang des untersuchten Parameterspektrums entspricht mit Ausnahme der Spurenstoffe demjenigen des Grundmessnetzes. Seit Frühjahr 2001 werden auch PSM-Bestimmungen mit dem gleichen Umfang wie bei ausgewählten Messstellen des Grundmessnetzes durchgeführt.

Auf Grundlage der nun zur Verfügung stehenden Messwerte bis Herbst 2005 wurde erneut eine Überprüfung der Messnetzuordnung aller 221 Messstellen der beiden Messnetze realisiert. Messstellen, bei denen die Nitratkonzentration aktuell und dauerhaft über 25 mg/l liegt, sollten in das Nitratmessnetz eingegliedert werden. Das betrifft 18 Messstellen. Umgekehrt können zwei Messstellen vom Nitrat- in das Grundmessnetz eingegliedert werden. In Tab. 2.3 ist das Ergebnis dieser Sichtung als Vorschlag dokumentiert.

## **2.8 Konzeption des Sondermessnetzes „Geogene Versalzung“**

Oberflächennahe Salzwasseraustritte sind seit dem Mittelalter in einigen Teilen Brandenburgs dokumentiert und z.T. auch wirtschaftlich genutzt worden. Etwa 100 natürliche Austrittsstellen von Salzwasser sind bekannt, die überwiegend durch Botaniker im 19. und 20. Jahrhundert kartiert wurden. Die natürlichen Salzwasseraustritte in Brandenburg konzentrieren sich primär auf die Niederungsgebiete des Baruther und des Berliner Urstromtals, auf die Elbeniederung in der Prignitz und auf die Niederungsgebiete der Ucker in der Uckermark. Durch umfangreiche geologische Erkundungen auch des tieferen Untergrundes hauptsächlich in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts (Erdöl-/ Erdgaserkundung, Untergrundgasspeicher, Grundwasserdargebotserkundungen) besteht heute ein solider Kenntnisstand zum geologischen Schichtenaufbau. Die Lage und Mächtigkeit des als natürliche Barriere von Süß- und Salzwasser geltenden Rupeltons mit seinen Störungszonen (z.B. quartäre Ausräumungsrinnen, Salzstöcke) sind bekannt. Eingeschränkt gilt dies auch für die Lage der Süß-/Salzwasser-Grenze. Probleme für die Wasserwirtschaft, insbesondere die Trinkwassergewinnung, bestehen dort, wo durch eine starke Grundwasserentnahme in geologischen Störungszonen die Süß-/Salzwasser-Grenze bis in die Tiefenlage der Brunnenfilter angehoben wurde bzw. wo die Gefahr hierzu besteht. Einige Brunnen von Wasserwerken bzw. von Galerien (vor allem in der Region Havelland) mussten aufgrund von Überschreitungen der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung in der Vergangenheit bereits geschlossen werden.

Die Größe der Grundwasserneubildung beeinflusst u.a. die Lage der Süß-/Salzwasser-Grenze. Aktuelle Studien zur Klimaentwicklung (z.B. GERSTENGARBE ET AL. 2003) beinhalten auch Szenarien, die langfristig erhebliche Verringerungen der Grundwasserneubildung vorhersagen. Das vom Landesumweltamt betriebene Grundmessnetz ist in seiner Organisationsstruktur und seiner Zielstellung nicht auf das in Norddeutschland verbreitete Phänomen der Grundwasserversalzung ausgerichtet. In Regionen, in denen das oberflächennahe Grundwasser bereits erste saline Einflüsse (z.B. durch eine Verschiebung der molaren Anteile bei den Hauptinhaltsstoffen) zeigt, besteht zusätzlich die wasserwirtschaftlich wichtige Aufgabe, den geogenen Stoffinhalt des genutzten Grundwassers zu überwachen. Dieser kann, wie bereits dargestellt, u.a. in Abhängigkeit von der Grundwasserneubildung und von der Veränderung der Potenzialverhältnisse und damit gegebenenfalls auch des Strömungsfeldes infolge natürlicher oder anthropogener Wasserstandsänderungen (in räumlicher und zeitlicher Hinsicht) stark variieren. Hier sind Stau- und Entwässerungsmaßnahmen von besonderer Bedeutung. Für solche, in Deutschland regional sehr unterschiedliche hydrogeologische Aspekte verweisen die Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser von 1999 (LAWA 2000) auf den Aufbau von Sondermessnetzen.

Es muss davon ausgegangen werden, dass gegenwärtig kein verlässlicher Überblick über das aktuelle Ausmaß der Grundwasserversalzung besteht. Somit ergeben sich auch keine Möglichkeiten, entsprechende Trends zu erkennen. Aus diesem Grund wird vom Landesumweltamt seit 2003 eine langfristig orientierte Überwachung des Salzwassereinflusses in gefährdeten Gebieten durchgeführt (LUA 2004). In einem ersten Schritt wurden in bekannten Teilbereichen versalzungsgefährdeter Gebiete des Havel-, Oder- und Spreeeinzugsgebietes die aktuellen hydrologischen bzw. hydrogeolo-

gischen Informationen zusammengetragen, vorhandene Daten von geeigneten Grundwasseraufschlüssen recherchiert und Vor-Ort-Arbeiten zur Auswahl von Messstellen durchgeführt. Diese wurden zusammenfassend zwecks Übernahme in den Messbetrieb bewertet. Geeignete bzw. hydrogeologisch und hydrogeochemisch interessante Messstellen wurden zusätzlich durch das LBGR beprobt, auf die Hauptinhaltsstoffe analysiert und genetisch ausgewertet.

Im Ergebnis dieser Arbeiten der Jahre 2003 bis 2005 wurden Grundwassermessstellen ausgewählt, die für die Übernahme in das Salzwassermessnetz geeignet sind. Die Messstellen wurden ab 2004 zunächst zweimal jährlich beprobt. Große Bedeutung besitzt die exakte Laboranalytik. Abweichungen der Ionenbilanzen über 2 % können die genetische Interpretation der Analysen erheblich beeinflussen bzw. verhindern. Seit 2005 wurden zudem in Bereichen, in denen keine geeigneten Messstellen zur Verfügung standen, neue Messstellen gebaut. Das Messnetz „Geogene Versalzung“ umfasst Ende 2006 49 Messstellen (HANNAPPEL ET AL. 2007).

### 3 Prüfung der Analyseergebnisse

#### 3.1 Vorbemerkungen

Hydrochemische Analyseergebnisse sind umfangreichen Plausibilitätsprüfungen zu unterziehen. Plausibilitätsprüfungen wurden in folgender Reihenfolge durchgeführt:

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

#### 3.2 Behandlung von Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze

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

- lautet das Analyseergebnis „< BG“ (Bestimmungsgrenze) und existiert eine numerische Angabe zur BG, wird ein Ersatzwert gebildet mit:  $\text{Ersatzwert} = 0,5 * \text{BG}$ ,
- lautet das Analyseergebnis „< BG“ und existieren mehrere numerische Angaben zur BG, wird ein Ersatzwert gebildet mit:  $\text{Ersatzwert} = 0,5 * \text{häufigste BG}$ .

#### 3.3 Plausibilitätsgrenzen zur Erkennung von Ausreißern

Zur Ableitung von Plausibilitätsgrenzen für die Validierung der Daten wurden die in UBA (2000) enthaltenen Extremwerte (Minimum bzw. Maximum) verwendet. Diese dienen dazu, in einem ersten Testdurchlauf grobe Fehler im Datensatz zu erkennen (z.B. Dimensionen, Kommafehler), die bei der Eingabe aufgetreten sein können.

Die Tests wurden nicht nach den dort verwendeten Grundwassereinheiten (in Brandenburg: hydrogeologischen Struktureinheiten) differenziert durchgeführt, um dem Charakter dieses Tests als einer ersten groben Prüfung Rechnung zu tragen. Insgesamt wurden 572 Überschreitungen der in UBA (2000) angegebenen oberen Plausibilitätsgrenzen festgestellt.

Bei Überschreitungen der Plausibilitätsgrenze wurden die Analyseergebnisse messstellenbezogen im zeitlichen Verlauf überprüft. Werte, die im zeitlichen Vergleich auffällig waren, wurden von der weiteren Bewertung ausgeschlossen.

gischen Informationen zusammengetragen, vorhandene Daten von geeigneten Grundwasseraufschlüssen recherchiert und Vor-Ort-Arbeiten zur Auswahl von Messstellen durchgeführt. Diese wurden zusammenfassend zwecks Übernahme in den Messbetrieb bewertet. Geeignete bzw. hydrogeologisch und hydrogeochemisch interessante Messstellen wurden zusätzlich durch das LBGR beprobt, auf die Hauptinhaltsstoffe analysiert und genetisch ausgewertet.

Im Ergebnis dieser Arbeiten der Jahre 2003 bis 2005 wurden Grundwassermessstellen ausgewählt, die für die Übernahme in das Salzwassermessnetz geeignet sind. Die Messstellen wurden ab 2004 zunächst zweimal jährlich beprobt. Große Bedeutung besitzt die exakte Laboranalytik. Abweichungen der Ionenbilanzen über 2 % können die genetische Interpretation der Analysen erheblich beeinflussen bzw. verhindern. Seit 2005 wurden zudem in Bereichen, in denen keine geeigneten Messstellen zur Verfügung standen, neue Messstellen gebaut. Das Messnetz „Geogene Versalzung“ umfasst Ende 2006 49 Messstellen (HANNAPPEL ET AL. 2007).

### 3 Prüfung der Analysenergebnisse

#### 3.1 Vorbemerkungen

Hydrochemische Analysenergebnisse sind umfangreichen Plausibilitätsprüfungen zu unterziehen. Plausibilitätsprüfungen wurden in folgender Reihenfolge durchgeführt:

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

#### 3.2 Behandlung von Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze

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

- lautet das Analysenergebnis „< BG“ (Bestimmungsgrenze) und existiert eine numerische Angabe zur BG, wird ein Ersatzwert gebildet mit:  $\text{Ersatzwert} = 0,5 * \text{BG}$ ,
- lautet das Analysenergebnis „< BG“ und existieren mehrere numerische Angaben zur BG, wird ein Ersatzwert gebildet mit:  $\text{Ersatzwert} = 0,5 * \text{häufigste BG}$ .

#### 3.3 Plausibilitätsgrenzen zur Erkennung von Ausreißern

Zur Ableitung von Plausibilitätsgrenzen für die Validierung der Daten wurden die in UBA (2000) enthaltenen Extremwerte (Minimum bzw. Maximum) verwendet. Diese dienen dazu, in einem ersten Testdurchlauf grobe Fehler im Datensatz zu erkennen (z.B. Dimensionen, Kommafehler), die bei der Eingabe aufgetreten sein können.

Die Tests wurden nicht nach den dort verwendeten Grundwassereinheiten (in Brandenburg: hydrogeologischen Struktureinheiten) differenziert durchgeführt, um dem Charakter dieses Tests als einer ersten groben Prüfung Rechnung zu tragen. Insgesamt wurden 572 Überschreitungen der in UBA (2000) angegebenen oberen Plausibilitätsgrenzen festgestellt.

Bei Überschreitungen der Plausibilitätsgrenze wurden die Analysenergebnisse messstellenbezogen im zeitlichen Verlauf überprüft. Werte, die im zeitlichen Vergleich auffällig waren, wurden von der weiteren Bewertung ausgeschlossen.

### 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 Monitoringmessnetzen der neuen Bundesländer in den 1990er Jahren festgestellt werden (UBA 1995), dass Stoffe, die mit der Einstellung des Redoxgleichgewichtes in Verbindung stehen (z.B. Eisen/Mangan), deutlich stärkeren Konzentrationsschwankungen unterliegen als redoxpotenzial-unabhängige Stoffe wie z.B. Chlorid.

Die Kenntnis derartiger Zusammenhänge sowie das Vorliegen eines Mindestumfangs an Werten pro 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)

Diese Art der Plausibilitätsprüfung ist im engeren Sinne nur anwendbar, wenn die Messwerte keinen zeitlichen Trend aufweisen, da diese oftmals auf anthropogene Beeinträchtigungen hindeuten. Voraussetzung für eine zuverlässige Zeitreihenanalyse ist jedoch das Vorliegen einer Messreihe mit einer Dauer von 20 bis 30 Jahren bzw. einer entsprechenden Anzahl von Messwerten (DVWK 1999).

Abb. 3.1 zeigt die Anzahl der Analysen je Messstelle im Zeitraum von 2001 bis 2005. Von insgesamt 221 Messstellen liegen für 171 Messstellen zehn oder mehr Analysen im betrachteten Zeitraum vor.

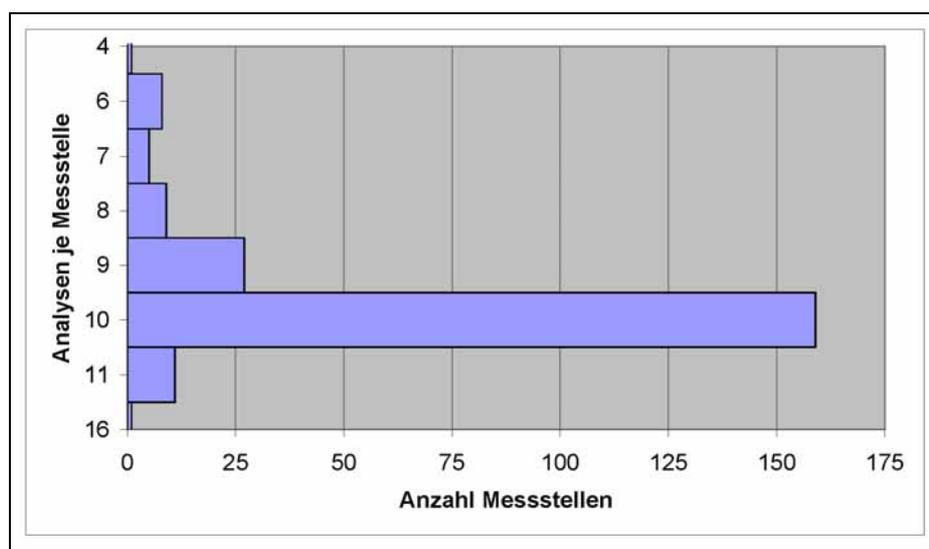


Abb. 3.1: Anzahl der Analysen je Messstelle im Zeitraum von 2001 bis 2005

Nach LAWA (1993) wurde zunächst die doppelte Standardabweichung als Akzeptanzintervall angesetzt. Die Intervallgrenzen wurden bei 87,3 % der Messwerte (1858 Fälle, s. letzte Zeile Tab. 3.1) überschritten. Aufgrund dieses hohen Anteils von Überschreitungen wurde die 2,5-fache bzw. 3-fache Standardabweichung als Akzeptanzintervall berechnet (UBA 2000). Die 2,5-fache Standardabweichung wurde von 28,1 % der Messwerte (599 Fälle) überschritten. Eine 3-fache Über- bzw. Unterschreitung der Standardabweichung tritt nur bei 0,5 % (11 Fälle) der Analysen auf.

Die Ergebnisse der zeitlichen Plausibilitätsprüfung sind in Tab. 3.1 dargestellt. Die häufigsten Überschreitungen treten bei der 2- bzw. 2,5-fachen Standardabweichung für Nitrat auf. Bei der 3-fachen Standardabweichung liegt die häufigste Überschreitung für Sauerstoff vor. Die häufigste Unterschreitung weist der pH-Wert bei der 2- bzw. 2,5-fachen Standardabweichung auf. Für die 3-fache Standardabweichung zeigt kein Parameter eine Unterschreitung.

**Tab. 3.1: Ergebnisse der zeitlichen Plausibilitätsprüfungen: 2-, 2,5- bzw. 3-fache Überschreitungen der messstellenspezifischen Standardabweichung**

Parameter	2-fach			2,5-fach			3-fach		
	Unter-schrei-tung	Über-schrei-tung	Gesamt	Unter-schrei-tung	Über-schrei-tung	Gesamt	Unter-schrei-tung	Über-schrei-tung	Gesamt
pH-Wert	64	61	125	13	6	19	-	-	-
Elektrische Leitfähigkeit	24	28	52	6	5	11	-	-	-
Redoxspannung	22	56	78	-	15	15	-	-	-
Sauerstoff	12	106	118	1	48	49	-	3	3
Sulfat	23	40	63	5	8	13	-	-	-
Hydrogenkarbonat	25	39	64	10	12	22	-	-	-
Chlorid	23	32	55	5	5	10	-	-	-
Phosphat	10	108	118	2	46	48	-	1	1
Natrium	22	56	78	2	18	20	-	1	1
Kalium	33	48	81	6	16	22	-	1	1
Magnesium	21	59	80	4	17	21	-	1	1
Kalzium	45	37	82	10	3	13	-	1	1
Mangan	28	49	77	9	12	21	-	-	0
Eisen	37	82	119	7	40	47	-	1	1
Aluminium	1	103	104	-	35	35	-	-	-
Zink	2	108	110	-	46	46	-	-	-
Bor	27	48	75	1	15	16	-	-	-
Nitrat	4	124	128	1	73	74	-	2	2
Nitrit	1	59	60	1	33	34	-	-	-
Ammonium	25	50	75	1	12	13	-	-	-
TOC	10	106	116	1	49	50	-	-	-
<b>Summe</b>	<b>459</b>	<b>1399</b>	<b>1858</b>	<b>85</b>	<b>514</b>	<b>599</b>	<b>-</b>	<b>11</b>	<b>11</b>

Die ermittelten Überschreitungen der 3-fachen Standardabweichung wurden im Einzelfall überprüft. Falls diese als unplausibel eingeschätzt wurden, erfolgte ein Ausschluss des Parameters von der Bewertung. Für die Parameter elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Nitrat, Ammonium, Kalium, Chlorid, Sulfat, Bor, TOC und Sauerstoff wurden Einzelfallprüfungen vorgenommen. Es wurde je Messstelle die einzelnen Analysen im zeitlichen Verlauf auf extreme Abweichungen überprüft und gegebenenfalls aus dem Datensatz entfernt. Die Ergebnisse der wertepaarbezogenen Plausibilitätsprüfung nach DVWK (1999) zeigt Tab. 3.2. Sauerstoffkonzentrationen oberhalb von 5 mg/l (1. Prüfung) treten in den brandenburgischen Grundwässern nur selten auf.

**Tab. 3.2: Plausibilitätsprüfung von Wertepaaren nach DvWK (1999)**

unplausibel, wenn	und wenn	Anzahl
O <sub>2</sub> > 5 mg/l	NO <sub>2</sub> > 0,05 mg/l	5
	NH <sub>4</sub> > 0,1 mg/l	39
pH < 5,5	Ca + Mg > 1,0 mmol	23

### 3.5 Plausibilität von Grundwasseranalysen

Die Berechnung der Ionenbilanz bzw. des Ionenbilanz- (oder: Ionensummen-)fehlers ist die wichtigste Plausibilitätsprüfung für Grundwasserdaten. Voraussetzung zur Berechnung der Ionenbilanz ist die

Vollständigkeit der Analysen. Mindestens für die Kationen Ca, Mg, Na, K und für die Anionen Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub> müssen Werte vorliegen.

Der Ionensummenfehler wird nach folgender Formel anhand der molekularen Äquivalentgehalte aller Kationen (Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, NH<sub>4</sub>) und Anionen (Cl, SO<sub>4</sub>, Säurekapazität bzw. HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub>) berechnet:

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

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 Analysenfehler hin.

Die Ergebnisse der Ionenbilanzrechnungen werden in Abhängigkeit von der Mineralisation der Grundwässer bewertet. Nach DVWK (1999) liegt eine Analyse innerhalb des plausiblen Vertrauensbereichs, wenn der Ionensummenfehler folgende Bereiche nicht übersteigt:

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

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

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

Ob einige dieser Gründe zutreffen, muss im Einzelfall näher untersucht werden. In LAWA (1993) werden für die Bewertung folgende Grenzen der Ionenbilanzen angegeben:

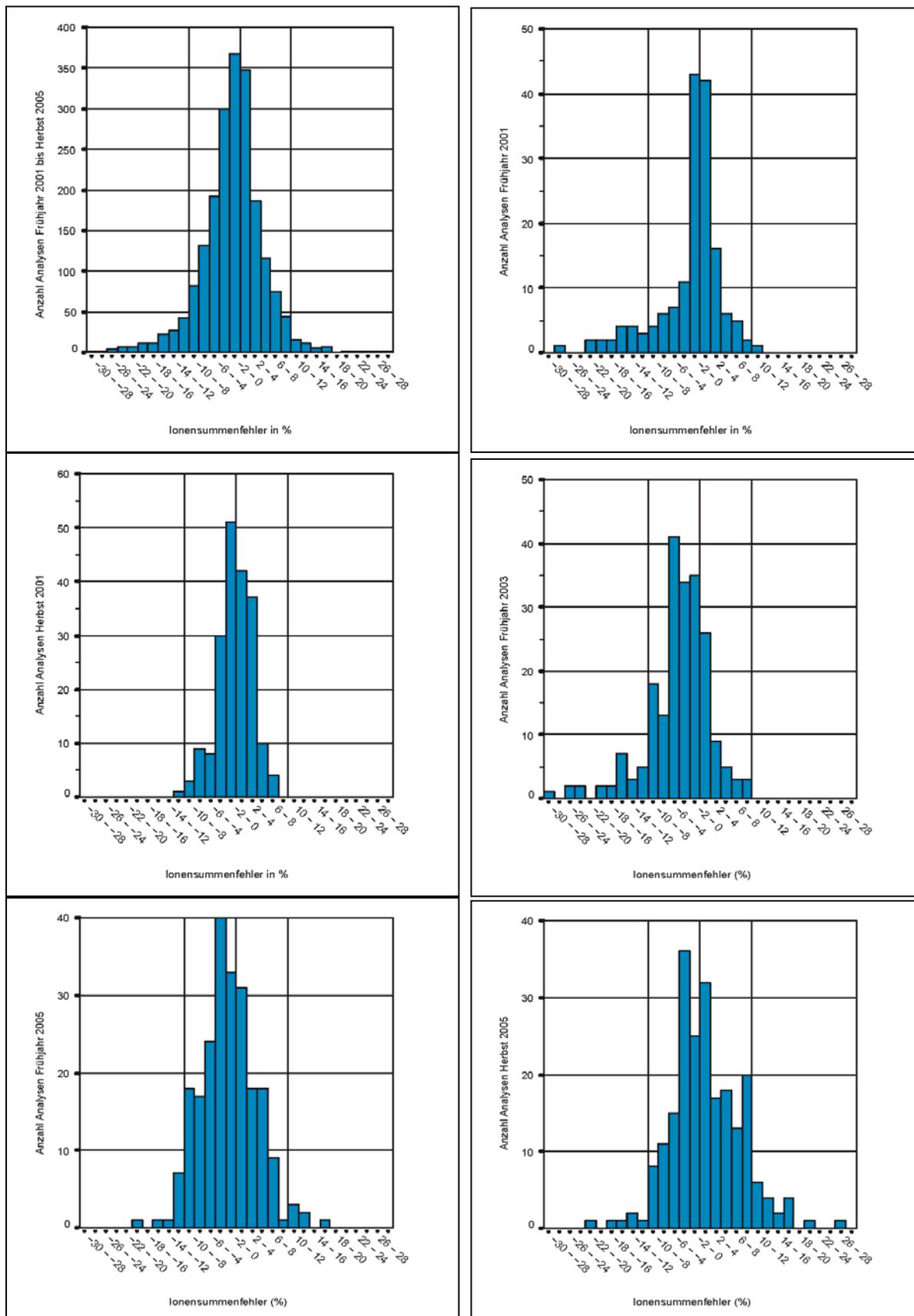
- 5 % bei Wässern mit einer Ionensumme > 5 mmol/l (eq) bzw.
- 10 % bei Wässern mit einer Ionensumme < 5 mmol/l (eq).

Die strikte Einhaltung dieser Grenzen der Ionenbilanzabweichung wird in der Praxis nicht durchgeführt. In UBA (1995) wurden 20 % Abweichung als Kriterium 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 Nebeneinhaltsstoffe analysiert wurden, folgende Grenzen genannt:

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

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

Insgesamt standen 2.036 Analysen für die Ionenbilanzberechnungen zur Verfügung, die der Voraussetzung der Analysenvollständigkeit bei den oben genannten Parametern genügten. Für 716 Analysen (35,2 %) liegt der Ionensummenfehler unter 2 %, für 1.367 (67,1 %) Analysen liegt der Ionensummenfehler unter 5 %. Das Kriterium einer tolerierten Ionenbilanzabweichung von 10 % erfüllen insgesamt 90,5 % aller Analysen, d.h. 9,5 % der Messwerte wurden von der weiteren statistischen Bewertung ausgeschlossen. In Abb. 3.2 werden für die Analysen aus dem gesamten Beobachtungszeitraum von 2001 bis 2005, Frühjahr bzw. Herbst 2001, Frühjahr 2003 und Frühjahr bzw. Herbst 2005 die Ergebnisse der Ionenbilanzberechnungen in Form von Histogrammen dargestellt. Diese zeigen einheitlich den Bereich eines Ionensummenfehlers von -30 % bis +30 % (Anionen- bzw. Kationenüberschuss). Die Anzahl der Analysen innerhalb dieses Bereichs ist in den Diagrammen dargestellt.



**Abb. 3.2:** Analysenbezogene Häufigkeitsverteilungen des Ionensummenfehlers zu verschiedenen Messkampagnen

Auffällig ist bei allen Beispielen, dass die Anionen- in der Regel höher als die Kationenüberschüsse sind. Die Ausnahme bildet die Herbstbeprobung von 2005. Hier weisen 20 der 219 Analysen einen Kationenüberschuss von 10 % auf. Von allen Analysen (n = 2.036) aus dem gesamten Beobachtungszeitraum von 2001 bis 2005 weisen neun Analysen einen Anionenüberschuss über 30 % auf. Einen Kationenüberschuss über 30 % zeigen fünf Analysen. Von den insgesamt 194 Analysen (9,5 %), deren Ionensummenfehler über 10 % liegen und nicht für die weitere Bewertung akzeptiert werden, weisen 144 Analysen einen Anionenüberschuss über 10 % und 50 Analysen einen Kationenüberschuss über 10 % auf.

Im Herbst 2001 liegt bei keiner, im Frühjahr 2001 bei einer Analyse ein Kationenüberschuss > 10 % vor. Der Anionenüberschuss liegt jedoch bei der Frühjahrsbeprobung 2001 mit 21 von 196 Analysen über 10 % deutlich höher als bei der Herbstbeprobung 2001 mit vier von 164 Analysen.

In den Histogrammen ist auch deutlich zu sehen, dass 2001 (Herbst und Frühjahr) die Anzahl der Analysen mit einem Kationen- bzw. Anionenüberschuss von über 2 % geringer ist als die Anzahl der Abweichungen im Jahr 2005 (Herbst und Frühjahr). So liegen im Frühjahr 2001 29,9 % der Analysen bei mehr als 2 % Anionenüberschuss, während im Frühjahr 2005 48,4 % der Analysen einen Anionenüberschuss über 2 % aufweisen.

## **4 Bewertung der Analyseergebnisse**

### **4.1 Statistische Maßzahlen der hydrochemischen Messgrößen**

#### **4.1.1 Grundmessnetz**

Analysen mit einer Abweichung von > 10 % wurden von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen. Die statistischen Kennwerte arithmetischer Mittelwert (MW), Median, Minimum, Maximum sowie die 5-, 10-, 25-, 75-, 90- und 95-Perzentile der hydrochemischen Milieuparameter und der Hauptinhaltsstoffe für das Grundmessnetz sind in Anhang 1 (a – c) tabellarisch zusammengestellt. Sie basieren auf Analysen mit vollständig analysierten Hauptinhaltsstoffen (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, Ca, Mg, Na, K) sowie einem Ionensummenfehler unter 10 %, also jenen Werten, die für die weitergehende statistische und hydrogeochemische Bewertung berücksichtigt werden konnten.

Die Angaben in der Spalte „Anzahl Werte“ beziehen sich auf die Anzahl der Werte, die nach den Plausibilitätskontrollen für weitere Untersuchungen berücksichtigt werden. Der prozentuale Anteil der in die Statistik einbezogenen Werte ist im Verhältnis zu der Gesamtzahl der gemessenen Werte in der Spalte „Anteil“ aufgeführt.

Die Perzentile zeigen die (z.T. gerundeten) rangstatistischen Angaben pro Parameter. Das 90-Perzentil von Kalzium (z.B. 169 mg/l) gibt an, dass 90 % der Messwerte unterhalb und 10 % oberhalb dieser Konzentration liegen. Enthalten die Spalten mit den 90-Perzentilen die Angabe „< BG“ (s. Nebeninhaltsstoffe und Spurenelemente im Anhang 1b, z.B. Cadmium) geht daraus hervor, dass 90 % aller analysierten Messwerte unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze liegen und die Angabe eines Perzentilwertes statistisch nicht signifikant ist. Die zweite Tabelle in Anhang 1 zeigt die statistischen Kennwerte für die anorganischen Spurenstoffe. Die Werte basieren auf den gleichen Analysen wie bei den Milieuparametern und Hauptinhaltsstoffen.

#### **4.1.2 Sondermessnetz Nitrat**

Die statistischen Kennwerte des Nitratmessnetzes (Anhang 1c) wurden – ebenso wie die des Grundmessnetzes – für Analysen mit einem Ionensummenfehler von < 10 % und vollständig analysierten Hauptinhaltsstoffen (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, Ca, Mg, Na, K) berechnet.

Die Messstellen des Nitratmessnetzes werden auf die Milieuparameter und die Hauptinhaltsstoffe untersucht (s. Kap. 2.7), so dass Angaben zu statistischen Kennwerten von Nebeninhaltsstoffen und Spurenelementen – im Gegensatz zu den Werten der Messstellen des Grundmessnetzes – hier nicht möglich sind (Ausnahmen: AOX, Fluorid, Bor). Die Werte der Tabelle des Nitratmessnetzes unter-

Auffällig ist bei allen Beispielen, dass die Anionen- in der Regel höher als die Kationenüberschüsse sind. Die Ausnahme bildet die Herbstbeprobung von 2005. Hier weisen 20 der 219 Analysen einen Kationenüberschuss von 10 % auf. Von allen Analysen (n = 2.036) aus dem gesamten Beobachtungszeitraum von 2001 bis 2005 weisen neun Analysen einen Anionenüberschuss über 30 % auf. Einen Kationenüberschuss über 30 % zeigen fünf Analysen. Von den insgesamt 194 Analysen (9,5 %), deren Ionensummenfehler über 10 % liegen und nicht für die weitere Bewertung akzeptiert werden, weisen 144 Analysen einen Anionenüberschuss über 10 % und 50 Analysen einen Kationenüberschuss über 10 % auf.

Im Herbst 2001 liegt bei keiner, im Frühjahr 2001 bei einer Analyse ein Kationenüberschuss > 10 % vor. Der Anionenüberschuss liegt jedoch bei der Frühjahrsbeprobung 2001 mit 21 von 196 Analysen über 10 % deutlich höher als bei der Herbstbeprobung 2001 mit vier von 164 Analysen.

In den Histogrammen ist auch deutlich zu sehen, dass 2001 (Herbst und Frühjahr) die Anzahl der Analysen mit einem Kationen- bzw. Anionenüberschuss von über 2 % geringer ist als die Anzahl der Abweichungen im Jahr 2005 (Herbst und Frühjahr). So liegen im Frühjahr 2001 29,9 % der Analysen bei mehr als 2 % Anionenüberschuss, während im Frühjahr 2005 48,4 % der Analysen einen Anionenüberschuss über 2 % aufweisen.

## **4 Bewertung der Analyseergebnisse**

### **4.1 Statistische Maßzahlen der hydrochemischen Messgrößen**

#### **4.1.1 Grundmessnetz**

Analysen mit einer Abweichung von > 10 % wurden von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen. Die statistischen Kennwerte arithmetischer Mittelwert (MW), Median, Minimum, Maximum sowie die 5-, 10-, 25-, 75-, 90- und 95-Perzentile der hydrochemischen Milieuparameter und der Hauptinhaltsstoffe für das Grundmessnetz sind in Anhang 1 (a – c) tabellarisch zusammengestellt. Sie basieren auf Analysen mit vollständig analysierten Hauptinhaltsstoffen (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, Ca, Mg, Na, K) sowie einem Ionensummenfehler unter 10 %, also jenen Werten, die für die weitergehende statistische und hydrogeochemische Bewertung berücksichtigt werden konnten.

Die Angaben in der Spalte „Anzahl Werte“ beziehen sich auf die Anzahl der Werte, die nach den Plausibilitätskontrollen für weitere Untersuchungen berücksichtigt werden. Der prozentuale Anteil der in die Statistik einbezogenen Werte ist im Verhältnis zu der Gesamtzahl der gemessenen Werte in der Spalte „Anteil“ aufgeführt.

Die Perzentile zeigen die (z.T. gerundeten) rangstatistischen Angaben pro Parameter. Das 90-Perzentil von Kalzium (z.B. 169 mg/l) gibt an, dass 90 % der Messwerte unterhalb und 10 % oberhalb dieser Konzentration liegen. Enthalten die Spalten mit den 90-Perzentilen die Angabe „< BG“ (s. Nebeninhaltsstoffe und Spurenelemente im Anhang 1b, z.B. Cadmium) geht daraus hervor, dass 90 % aller analysierten Messwerte unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze liegen und die Angabe eines Perzentilwertes statistisch nicht signifikant ist. Die zweite Tabelle in Anhang 1 zeigt die statistischen Kennwerte für die anorganischen Spurenstoffe. Die Werte basieren auf den gleichen Analysen wie bei den Milieuparametern und Hauptinhaltsstoffen.

#### **4.1.2 Sondermessnetz Nitrat**

Die statistischen Kennwerte des Nitratmessnetzes (Anhang 1c) wurden – ebenso wie die des Grundmessnetzes – für Analysen mit einem Ionensummenfehler von < 10 % und vollständig analysierten Hauptinhaltsstoffen (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, Ca, Mg, Na, K) berechnet.

Die Messstellen des Nitratmessnetzes werden auf die Milieuparameter und die Hauptinhaltsstoffe untersucht (s. Kap. 2.7), so dass Angaben zu statistischen Kennwerten von Nebeninhaltsstoffen und Spurenelementen – im Gegensatz zu den Werten der Messstellen des Grundmessnetzes – hier nicht möglich sind (Ausnahmen: AOX, Fluorid, Bor). Die Werte der Tabelle des Nitratmessnetzes unter-

scheiden sich von denjenigen des Grundmessnetzes bei vielen hydrochemischen Parametern durch höhere statistische Kennwerte. Das wird schon bei einer mittleren elektrischen Leitfähigkeit von 660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  im Grundmessnetz gegenüber 892  $\mu\text{S}/\text{cm}$  im Nitratmessnetz deutlich. So liegt z.B. der arithmetische Mittelwert von Kalium, das durch Düngemittel in das Grundwasser eingetragen werden kann, im Nitratmessnetz bei 12,88 mg/l, während er beim Grundmessnetz 5,81 mg/l beträgt. Für Nitrat ist der arithmetische Mittelwert im Nitratmessnetz 109,34 mg/l und im Grundmessnetz 5,81 mg/l. Auch die mittleren Kalzium- und Sulfatkonzentrationen sind im Nitratmessnetz gegenüber dem Grundmessnetz erhöht.

Geringere pH-Werte und höhere Sauerstoffgehalte im Nitratmessnetz gegenüber dem Grundmessnetz hängen vermutlich mit der Auswahl der Messstellen (unbedeckter Grundwasserleiter, Berücksichtigung des oberflächennahen Grundwassers) zusammen.

## **4.2 Häufigkeitsverteilungen von Messwerten ausgewählter Parameter des Grundmessnetzes**

Die nachfolgenden Histogramme in den Abb. 4.1 bis 4.3 enthalten für die Haupt- und Nebenelemente der Messwerte des Grundmessnetzes Häufigkeitsverteilungen der Konzentrationen aus dem Zeitraum von 2001 bis 2005. Die Datengrundlage ist identisch mit jener, für die in Anhang 1a die statistischen Parameter ermittelt wurden. Die Histogramme zeigen für die dargestellten Konzentrationsbereiche typische extrem schiefe Verteilungen mit einem steilen Anstieg von Null gegen das Maximum der Verteilungsfunktion und mit flachem Abfall nach rechts zu einzelnen extrem hohen Konzentrationen. Dies hat seine Ursache in der methodisch bedingten Bestimmungsgrenze, die eine Verschiebung des Verteilungsmaximums in Richtung der Bestimmungsgrenze bewirkt. Deshalb zeigen Histogramme, bei denen keine oder nur wenige Analysen unter der Bestimmungsgrenze liegen (z.B. Chlorid, Kalzium und Hydrogenkarbonat), nicht diese extrem schiefe Verteilung wie jene für die anderen Parameter. Die Häufigkeitsverteilung für den pH-Wert bildet mit einer annähernd normalen bis linksschiefen Verteilung eine Ausnahme. Dies beruht darauf, dass der pH-Wert ein logarithmierter Wert ist und das Histogramm somit eine lognormale Verteilung wiedergibt. Bimodale Verteilungen, wie sie für die Redoxspannung, Hydrogenkarbonat, Chlorid und Sulfat vorliegen, geben Hinweise auf verschiedene geochemische Milieus.

### **Ionensumme**

Die Ionensumme (Summe der Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe in  $\text{mmol}(\text{eq})/\text{l}$ ) gibt einen Überblick über die Höhe der Mineralisation des Grundwassers. Das Minimum der gemessenen Werte liegt bei 1,95  $\text{mmol}(\text{eq})/\text{l}$ , das Maximum bei 46,66  $\text{mmol}(\text{eq})/\text{l}$ . Das Verteilungsmaximum liegt zwischen 6 und 7  $\text{mmol}(\text{eq})/\text{l}$  und nimmt dann gleichmäßig ab.

### **Redoxpotenzial (aus der Redoxspannung berechnet durch Addition von 200 mV)**

Die Werte der Redoxpotenziale liegen in einem Bereich zwischen -138 und 506 mV, wobei sich die Werte überwiegend im positiven Bereich befinden. Das Verteilungsmaximum liegt zwischen 40 und 60 mV. Ein zweites kleineres Maximum zeigt sich im Intervall von 340 bis 360 mV. Diese Werte treten überwiegend in Analysen aus dem oberflächennahen Bereich auf (Ausnahme Neusorgefeld OP).

### **Gelöster Sauerstoff**

Bei etwa 56 % der Analysen liegt der Sauerstoffgehalt unterhalb der Bestimmungsgrenze, was sich in einem Verteilungsmaximum zwischen Null und der Bestimmungsgrenze 0,1 mg/l niederschlägt. 89 % der gemessenen Gehalte liegen unter 1 mg/l. Der höchste Wert ist 13 mg/l. Wie beim Redoxpotenzial weisen Gebiete mit indirekter Neubildung die höchsten Sauerstoffgehalte auf.

### **Elektrische Leitfähigkeit**

Die elektrische Leitfähigkeit hat ihr Verteilungsmaximum zwischen 400 und 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Das Minimum ist 106  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , das Maximum 2.120  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Die höchsten Werte ( $> 1.500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) wurden in Durchflussgebieten, die geringsten Werte ( $< 200 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) in Neubildungs- und ebenfalls in (anderen) Durchflussgebieten gemessen.

### **TOC (Total Organic Carbon)**

Dieser Parameter ist ein Indikator für den Gesamtkohlenstoffgehalt des Grundwassers. Das Verteilungsmaximum liegt im Bereich zwischen 1 bis 2 mg/l. Durch die stark rechtsschiefe Verteilung be-

trägt der Mittelwert jedoch 4 mg/l. Die Werte der Konzentrationen liegen zwischen 0,3 mg/l und 41 mg/l. Bei 5,4 % der gemessenen Werte ist die Konzentration höher als 10 mg/l.

#### **pH-Wert**

Hier bewegen sich die Werte in einem Bereich zwischen pH 4,7 und 8,7. Das Histogramm zeigt eine normale bis linksschiefe Verteilung. Die pH-Werte liegen überwiegend im neutralen bis basischen Bereich. Bei 10,4 % der gemessenen Werte sind die pH-Werte unter 6,5. Das Maximum der Verteilung liegt zwischen 7,2 und 7,4, ein zweites kleineres Maximum tritt im Bereich zwischen 7,8 und 8,0 auf.

#### **AOX**

AOX-Werte < 6 µg/l gelten als natürlicher Hintergrund (SCHLEYER & KERNDORFF 1992). 49 % der Analysen liegen unter der Bestimmungsgrenze von 5 bzw. 10 µg/l. 12 % weisen Konzentrationen zwischen 20 und 60 µg/l auf und gelten als mäßig belastet. Die höchste Konzentration mit 70 µg/l an der Messstelle Kienhorst im oberflächennahen Grundwasser wird als stärker belastet eingestuft.

#### **Hydrogenkarbonat**

Hier liegen die Werte zwischen 3,7 mg/l und 668,3 mg/l. Die geringen Konzentrationen < 20 mg/l gehen mit den niedrigen pH-Werten unter 6,5 einher und verweisen auf eine geringe Pufferkapazität im Grundwasserleiter. Das Maximum der Verteilung liegt zwischen 120 mg/l und 140 mg/l. Ein zweites kleineres Maximum zeigt sich im Konzentrationsbereich zwischen 500 mg/l und 520 mg/l. Die hohen Konzentrationen treten zumeist an Messstellen hoher Gesamtmineralisation auf. Eine Besonderheit ist die Messstelle in Pritzwalk, wo ein tertiärer Grundwasserleiter in einer Tiefe von 198 Meter fast vollständig reduzierte Natriumhydrogenkarbonatwässer mit ebenfalls sehr hohen Konzentrationen von Hydrogenkarbonat führt.

#### **Chlorid**

Chlorid zeigt eine rechtsschiefe bimodale Verteilung mit einem Maximum zwischen 10 und 15 mg/l, das zweite kleinere Maximum liegt zwischen 50 und 55 mg/l. Chloridkonzentrationen können sowohl durch anthropogene Einträge als auch infolge geogener Beeinflussung auftreten. Werte über 250 mg/l, dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TRINKWV 2001, im Folgenden: „TrinkwV“) treten nur am Standort Wernikow auf. Dort wurde die höchste Konzentration mit 354 mg/l Chlorid gemessen. Da diese Messstelle im oberflächennahen Bereich ausgebaut ist, liegt vermutlich eine anthropogene Beeinflussung vor. Werte über 150 mg/l treten ebenfalls an den Messstellen Arendsee OP und Ottenhagen OP auf. Dort wurden auch erhöhte Werte für Hydrogenkarbonat und die elektrische Leitfähigkeit ermittelt. Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze (5 bzw. 7 mg/l) treten vereinzelt an Messstellen mit einer mittleren Filtertiefe über 20 Meter auf (Ausnahme Ullersdorf).

#### **Sulfat**

Die Sulfat- zeigen wie die Chloridgehalte eine rechtsschiefe bimodale Verteilung. Die Konzentrationen liegen zwischen < Bestimmungsgrenze und 530 mg/l. 11,8 % der gemessenen Analysen weisen eine Konzentration über 240 mg/l (Grenzwert TrinkwV) auf. Diese Gehalte wurden bei Messstellen mit mittleren Filtertiefen von weniger als 37 Meter unter Gelände ermittelt. Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze (4,5 % der Analysen) sind überwiegend in Durchflussgebieten zu finden. Im Mittel liegen die Sulfatgehalte bei 117 mg/l. Dies entspricht etwa dem Hintergrundwert Brandenburgs.

#### **Nitrat**

Hier liegen 51 % der Analysen unter der Bestimmungsgrenze. Dementsprechend ist die Verteilung extrem rechtsschief. Das Verteilungsmaximum liegt in einem Intervall zwischen 0 und 2,5 mg/l. Konzentrationen über 25 mg/l treten bei 9,3 % der Analysen auf, Werte über 50 mg/l (Grenzwert TrinkwV) bei 4,6 % der Analysen. Die höchste Konzentration mit 148 mg/l wurde an der Messstelle Neuschönfeld OP in der Uckermark gemessen.

#### **ortho-Phosphat**

Die Gehalte zeigen ein ähnliches Verteilungsbild wie Nitrat. 30 % der Analysen liegen unter der Bestimmungsgrenze. Das Verteilungsmaximum liegt zwischen 0 und 0,1 mg/l. Die Messstelle Groß Schönebeck OP weist mit 6,45 mg/l die höchste gemessene Konzentration auf. Erhöhte Gehalte über 0,5 mg/l treten bei 3,8 % der Messwerte auf.

### **Kalzium**

Kalzium ist neben Natrium das häufigste Kation im Grundwasser. Die Konzentrationen liegen im Bereich zwischen 10 und 347 mg/l. Die Gehalte weisen annähernd eine Normalverteilung auf. Das Verteilungsmaximum liegt in einem Intervall von 50 bis 70 mg/l. Konzentrationen über 200 mg/l sind in Durchflussgebieten zu finden.

### **Magnesium**

Die Verteilung der Magnesium- ähnelt jenen der Kalziumkonzentrationen, zeigt sich jedoch etwas stärker rechtsschief. Ursache ist das Auftreten von Analysen mit Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze, was bei Kalzium nicht der Fall war. Die höchsten Gehalte mit mehr als 40 mg/l wurden, wie bei Chlorid und Hydrogenkarbonat, an den Messstellen Arendsee OP und Ottenhagen OP bestimmt. Das Verteilungsmaximum liegt zwischen 2 und 6 mg/l.

### **Natrium**

Natrium ist insbesondere in versalzten Grundwässern stark konzentrationserhöht. Da diese im Grundmessnetz jedoch kaum vertreten sind, liegen die Natriumkonzentrationen zwischen 1,96 und 230 mg/l. Werte über 200 mg/l (Grenzwert TrinkwV) treten nur an der Messstelle Pritzwalk UP auf. Sie ist die tiefste Messstelle des Grundmessnetzes (mittlere Filtertiefe von 197 Meter unter GOK) und befindet sich in den Schichten des Miozäns. Das Verteilungsmaximum von Natrium liegt in dem Bereich zwischen 5 und 10 mg/l.

### **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. Bei der Häufigkeitsverteilung liegt das Verteilungsmaximum in einem Bereich zwischen 1 und 2 mg/l. Für 2,2 % der Analysen konnte kein Kalium nachgewiesen werden. Bei 11 % der Analysen sind die Konzentrationen größer 12 mg/l (ehemaliger Grenzwert der TrinkwV). An der Messstelle Nennhausen im Westen Brandenburgs im bedeckten Grundwasserleiter wurde mit 111 mg/l der höchste Kaliumgehalt analysiert. Die übrigen erhöhten Konzentrationen wurden alle im oberflächennahen Grundwasser mit unbedeckten Grundwasserleitern gemessen, was auf einen anthropogenen Eintrag hinweist.

### **Ammonium**

Ammonium tritt in den oftmals reduzierten Grundwässern Brandenburgs in erhöhten Konzentrationen auf. Die Werte liegen in einem Bereich zwischen von unterhalb der Bestimmungsgrenze (2,7 % der Analysen) und 24 mg/l (Messstelle Gülpe Wolsier UP). 31,3 % der gemessenen Analysen haben Werte über 0,5 mg/l (Grenzwert TrinkwV). Bereits der arithmetische Mittelwert ist mit 0,7 mg/l größer als der Grenzwert der TrinkwV.

### **Bor**

Bor ist bei Gehalten über 0,08 mg/l ein wichtiger Leitparameter zur Erkennung anthropogener Einflüsse im Grundwasser (z.B. durch Siedlungsabwässer). Die Verteilung der Borkonzentrationen im Grundmessnetz ist rechtsschief. Bei 3,9 % der Analysen konnte Bor nicht bestimmt werden. Das Verteilungsmaximum befindet sich im Intervall zwischen 0,01 und 0,02 mg/l. 15 % der Werte liegen über 0,08 mg/l. Der höchste Gehalt mit 0,66 mg/l wurde an der tiefsten Messstelle Pritzwalk UP (s. Natrium) bestimmt. Dies ist auf geogene Einflüsse zurückzuführen. Konzentrationen, die den Grenzwert der TrinkwV (1 mg/l) überschreiten, wurden in den untersuchten Grundwässern nicht nachgewiesen.

### **Aluminium**

Dieses Halbmetall kann insbesondere in versauerten Grundwässern mit erhöhten Konzentrationen auftreten (über 100 µg/l; der Grenzwert der TrinkwV ist 200 µg/l). Die Mehrheit der brandenburgischen Grundwässer ist davon nicht betroffen. Das Verteilungsmaximum für die Gehalte von Aluminium befindet sich zwischen 0 bis 5 µg/l. 13,9 % der Werte befinden sich unterhalb der Bestimmungsgrenze. Bei 4,6 % der Analysen liegen die Konzentrationen über 100 µg/l, bei 1,8 % über 200 µg/l. Der höchste Aluminiumgehalt mit 1264 µg/l wurde an der Messstelle Döbern-Eichwege im Südosten des Landes bestimmt. Diese Messstelle erfasst oberflächennahes Grundwasser in einem Neubildungsgebiet. Der pH-Wert ist hier mit 6,1 im sauren Bereich. Allgemein ist bei den untersuchten Grundwässern aber kein signifikant nachweisbarer Zusammenhang zwischen erhöhten Aluminiumkonzentrationen und geringen pH-Werten erkennbar.

### **Arsen**

Arsen tritt nicht geogen im Grundwasser Brandenburgs auf. Bei 50 % der Analysen liegen die Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l. Der Grenzwert der TrinkwV (10 µg/l) wird von 2,4 % der Analysen überschritten. Die erhöhten Werte weisen auf einen anthropogenen Ursprung hin. Der höchste Gehalt mit 27 µg/l wurde an der Messstelle Hirschfeld ermittelt.

### **Eisen**

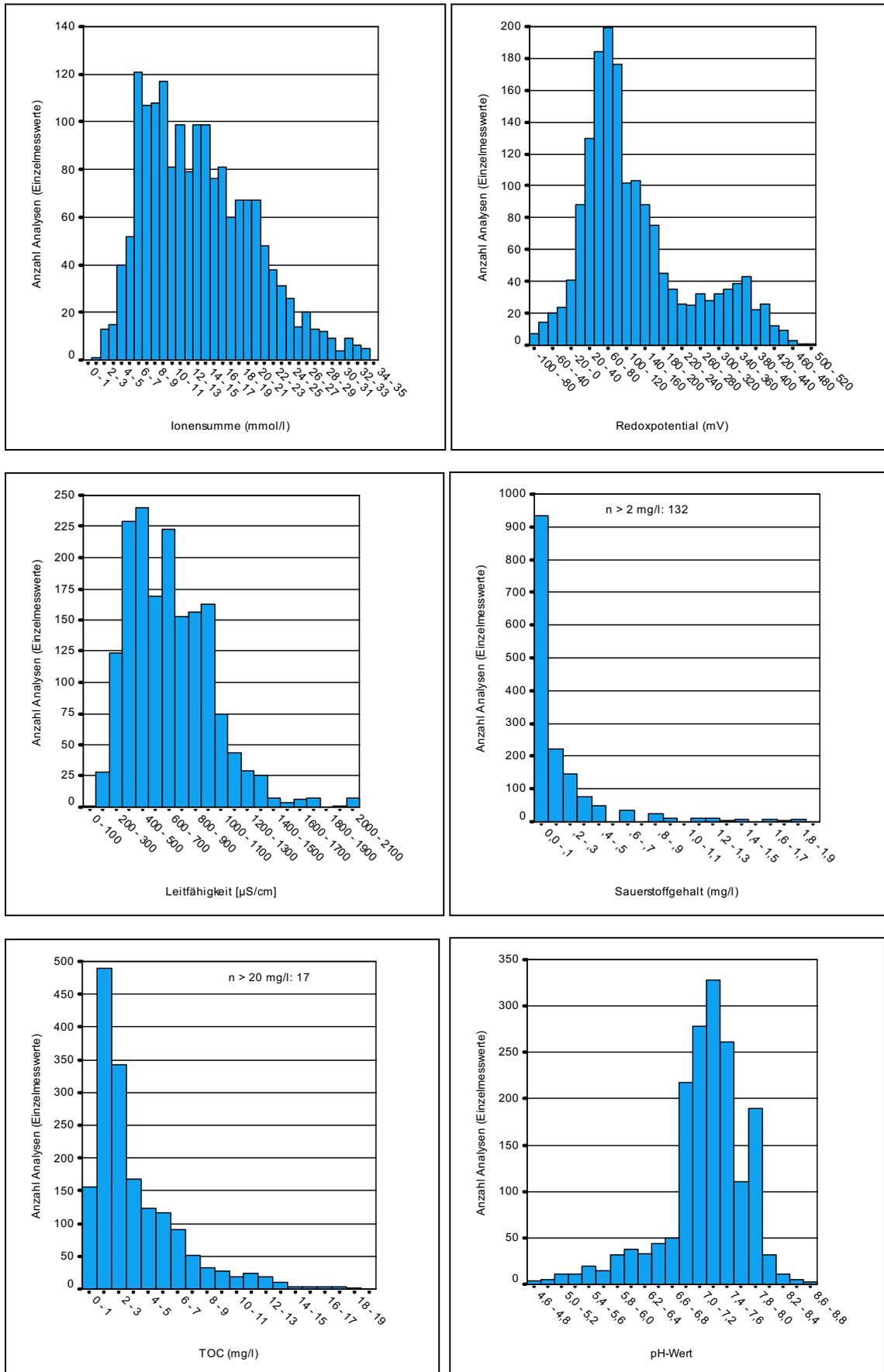
Die Konzentrationen von Eisen im Grundwasser sind abhängig vom Redoxpotenzial und dem pH-Wert. In den zumeist anoxischen Grundwässern Brandenburgs wird Eisen zu dem leichter löslichen Fe<sup>2+</sup> reduziert. Zudem nimmt bei Eisen die Löslichkeit mit abnehmenden pH-Wert zu. Das Verteilungsmaximum liegt im Bereich zwischen 0 und 2 mg/l. 11,5 % der Analysen haben Gehalte unter der Bestimmungsgrenze. Bei 83 % der untersuchten Proben des Grundmessnetzes liegen die Konzentrationen über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (0,2 mg/l). Der höchste Wert wurde mit 49,7 mg/l an der Messstelle Wittenberge ermittelt. Sie befindet sich oberflächennah in einem Entlastungsgebiet nahe der Elbe.

### **Mangan**

Die Löslichkeit ist vom Redoxpotenzial und pH-Wert abhängig. Daher treten oft erhöhte Mangan-gehalte in Verbindung mit höheren Eisenkonzentrationen auf. 2,3 % der gemessenen Werte liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Das Verteilungsmaximum befindet sich zwischen 0 und 0,5 mg/l. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung (0,05 mg/l) wird von 87 % der Analysen überschritten. Die höchste Mangankonzentration mit 9,01 mg/l wurde im Oderbruch an der Messstelle Herrenwiese im oberflächennahen Grundwasserleiter bestimmt.

### **Zink**

Die Zinkgehalte hängen weniger von der Löslichkeit des Stoffes, als von dessen Verfügbarkeit im Untergrund ab. Im Grundmessnetz liegen 24,6 % der Analysen unter der Bestimmungsgrenze von 1 mg/l. Der größte Teil der Analysen weist Konzentrationen unter 10 µg/l auf.



**Abb. 4.1:** Häufigkeitsverteilungen der Konzentrationen von allgemeinen Milieuparametern und eines Summenparameters (n ... Anzahl der Analysen)

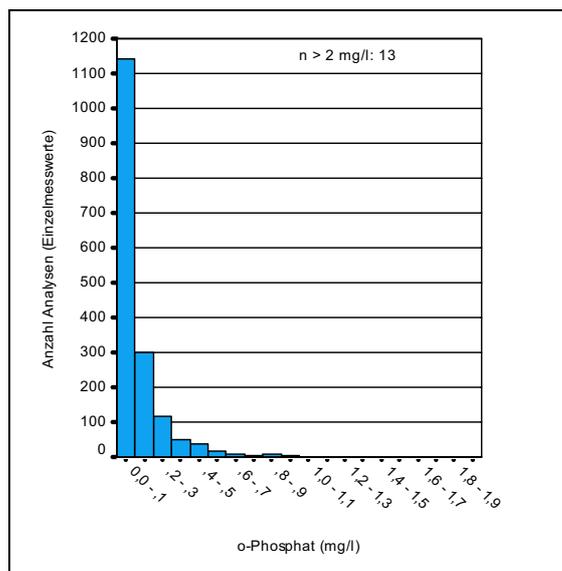
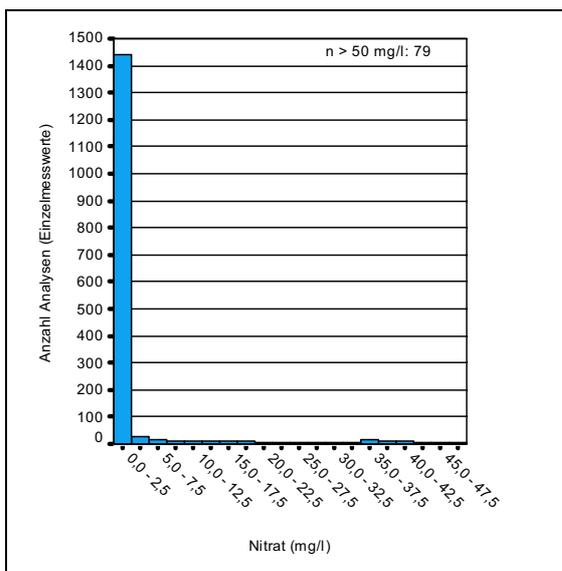
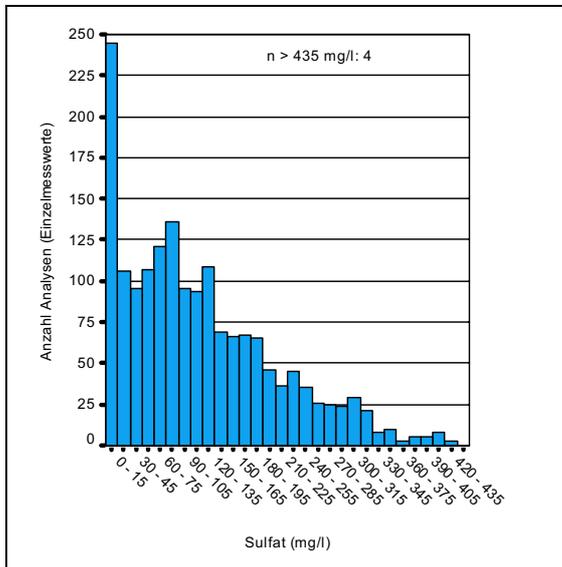
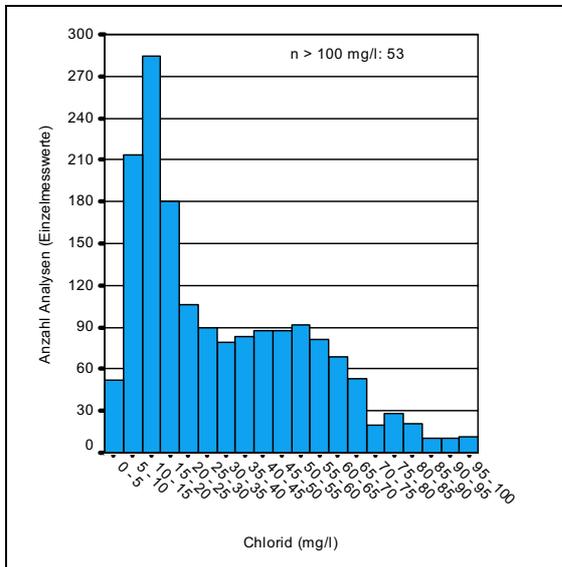
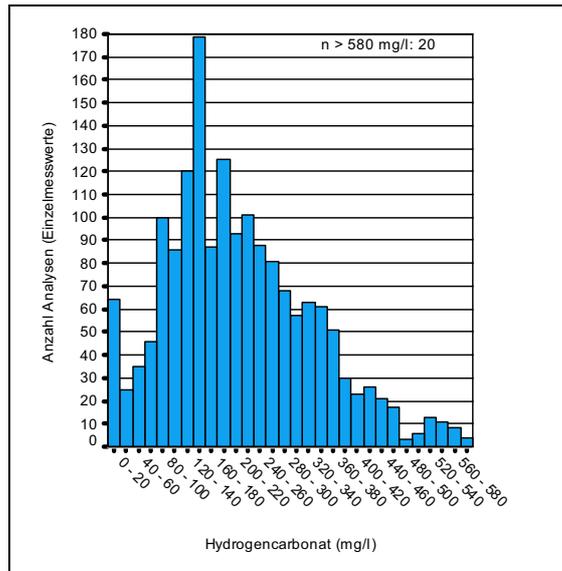
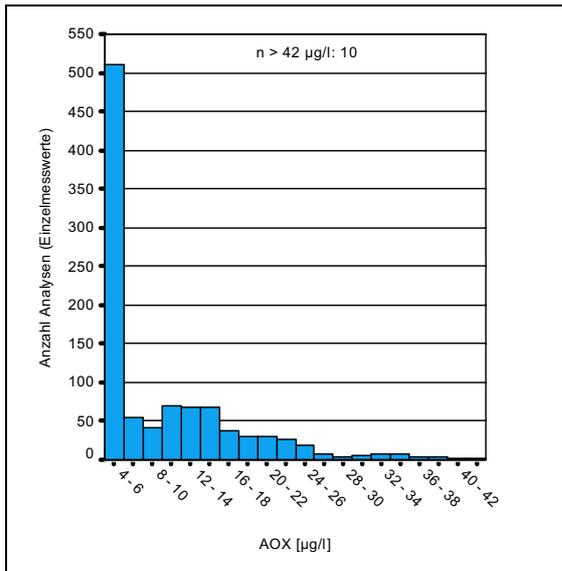
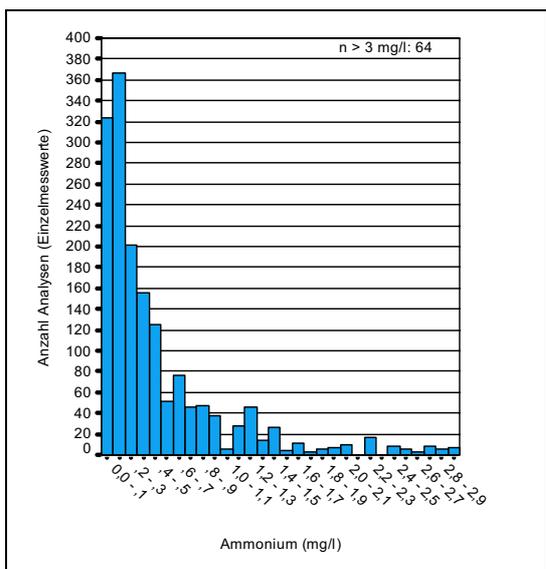
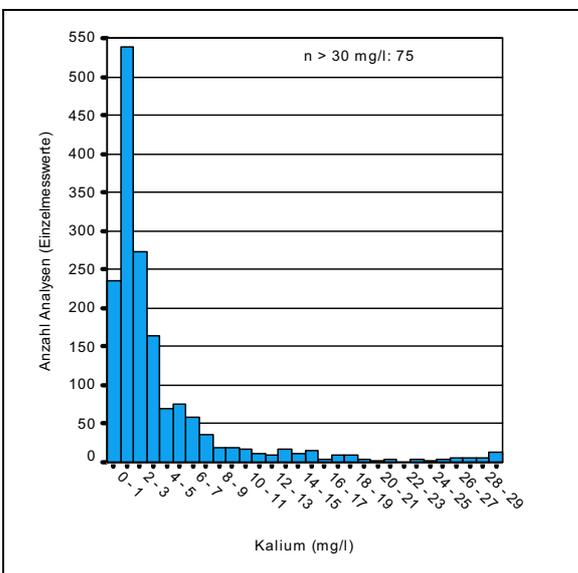
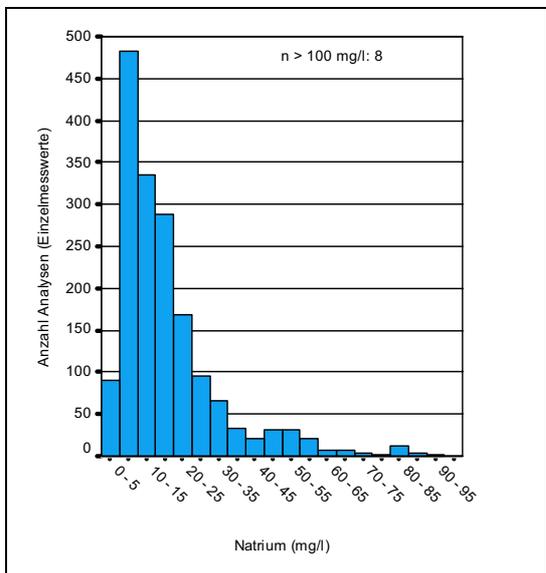
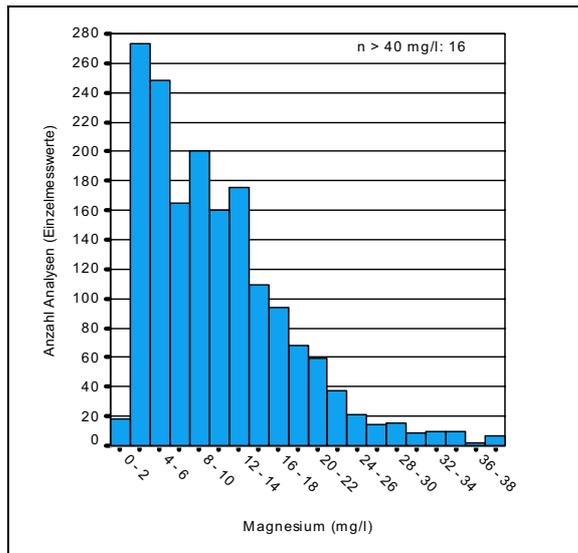
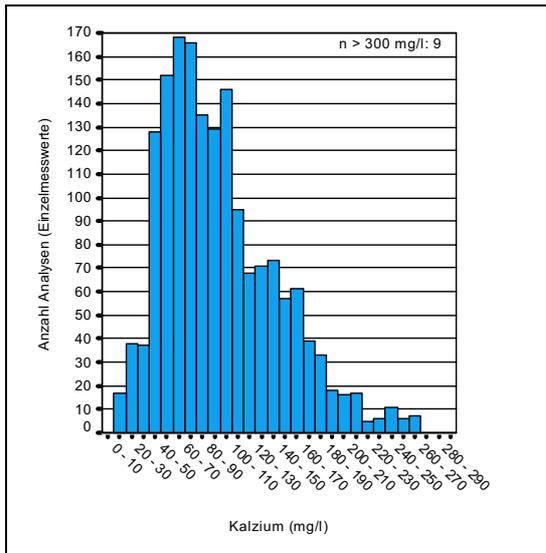


Abb. 4.2a: Häufigkeitsverteilungen der Konzentrationen eines Summenparameters sowie von Hauptinhaltsstoffen (n ... Anzahl der Analysen)



**Abb. 4.2b: Häufigkeitsverteilungen der Konzentrationen von Hauptinhaltsstoffen (n ... Anzahl der Analysen)**

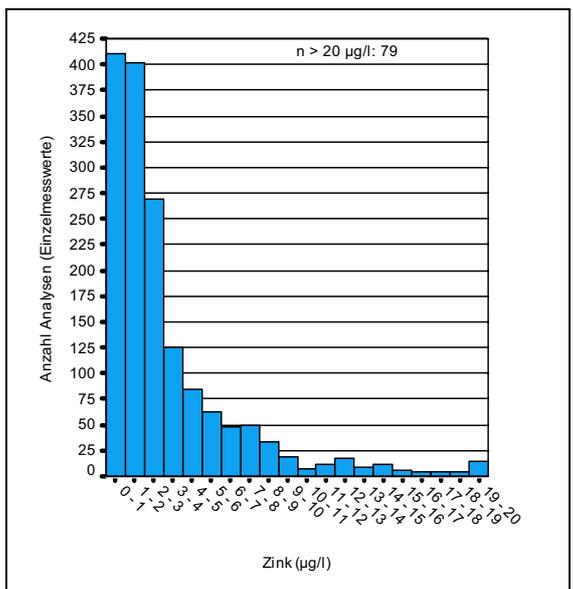
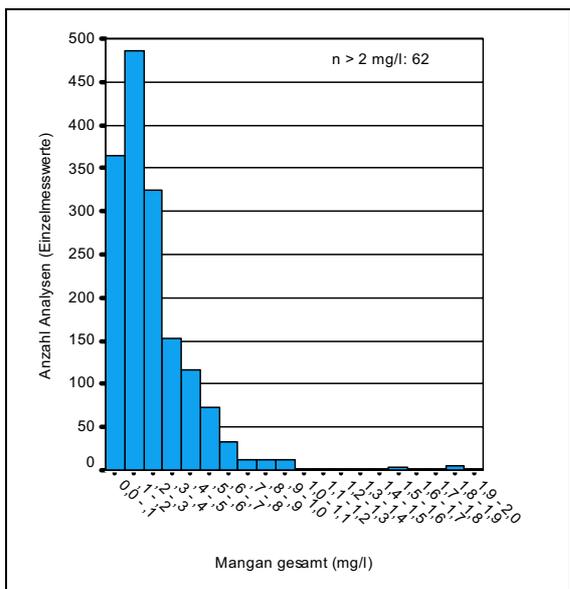
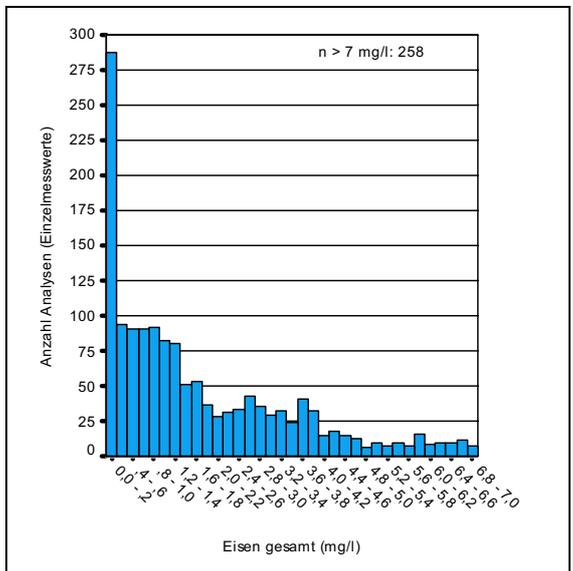
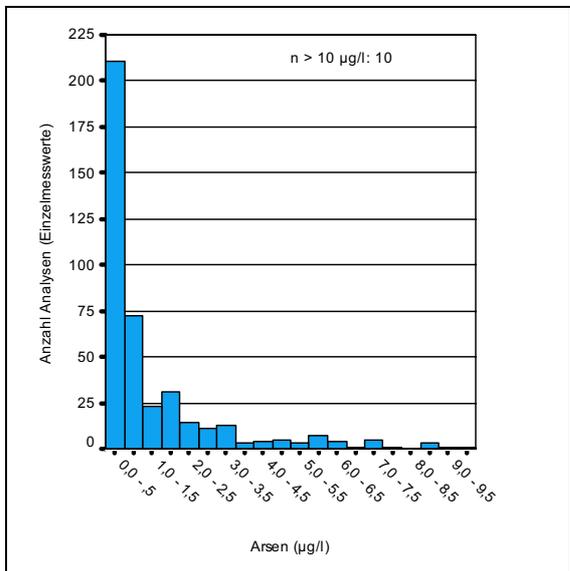
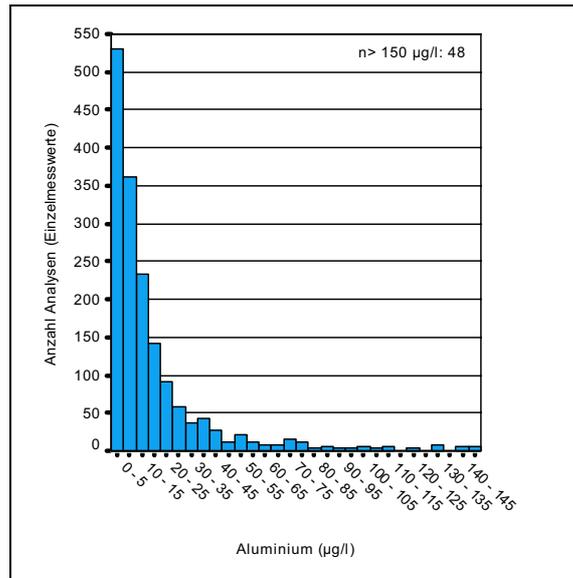
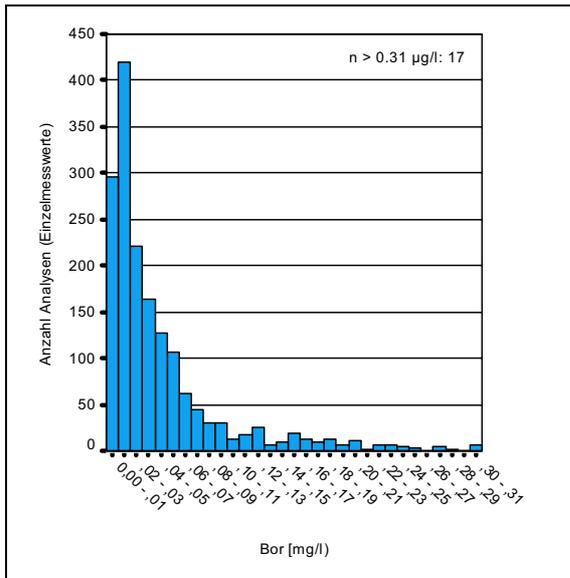


Abb. 4.3: Häufigkeitsverteilungen der Konzentrationen von Nebeninhaltsstoffen und Spurenelementen (n ... Anzahl der Analysen)

### 4.3 Spannweitendiagramme ausgewählter Messgrößen des Grundmessnetzes

Die nachfolgenden Boxplot-Diagramme (definiert in Abb. 4.4) enthalten für die Messwerte der Haupt- und Nebeninhaltsstoffe des Grundmessnetzes im Zeitraum von 2001 bis 2005 die Spannweiten der Konzentrationen in Bezug auf die Stammdatenparameter „mittlere Tiefe des Filterausbaus“, „hydrogeologische Struktureinheit“ und „Flächennutzung in der Umgebung der Messstelle“ (s. Abb. 4.5 bis 4.8). Die Datengrundlage ist identisch mit jener, für die in Anhang 2 die statistischen Parameter ermittelt wurden.

#### **Redoxpotenzial**

Das Grundwasser in Neubildungsgebieten mit mittleren Filtertiefen zwischen 20 und 50 Meter weist bei den Medianwerten die geringsten Redoxpotenziale auf. Dagegen haben die Mediane der Gebiete mit indirekter Neubildung der gleichen Tiefenklasse die höchsten Redoxpotenziale, was auf einen schnelleren Stoffeintrag und einen geringeren biologischen Umsatz in den Störungszonen hinweist. Die Medianwerte innerhalb aller dargestellten Gruppen liegen zwischen 0 und 200 mV.

#### **Sauerstoff**

Auch der Sauerstoffgehalt ist in Bezug auf den Medianwert in Gebieten mit indirekter Neubildung im Filtertiefenbereich zwischen 20 und 50 Meter unter Gelände deutlich höher als bei den anderen hydrogeologischen Struktureinheiten.

#### **pH-Wert**

Die geringsten pH-Werte sind in Gebieten mit indirekter Neubildung und in Neubildungsgebieten bei Messstellen mit mittleren Filtertiefen von weniger als 50 Meter zu beobachten. Bei Analysen aus Tiefenbereichen zwischen 20 und 50 Meter unter Gelände in Neubildungsgebieten weisen die pH-Werte den höchsten Median auf. Das oberflächennahe Grundwasser der Entlastungsgebiete hat hinsichtlich des Medians die geringsten pH-Werte. Die Medianwerte der pH-Werte liegen aber bei allen Tiefen und hydrogeologischen Struktureinheiten über 6,5, dem unteren Grenzwert der TrinkwV.

#### **Elektrische Leitfähigkeit**

Die Mineralisation und damit auch der Medianwert für die elektrische Leitfähigkeit im Grundwasser sind oberflächennah in Entlastungsgebieten bzw. Gebieten mit indirekter Neubildung am höchsten. Geringere Mediane weisen hingegen Grundwässer aus tieferen Bereichen der Neubildungs- und Durchflussgebiete auf. In Durchflussgebieten bei Messstellen mit einer mittleren Tiefe zwischen 20 und 50 Meter unter Gelände variieren die gemessenen Werte am stärksten. Dort wurden sowohl die geringsten als auch die höchsten Werte der Leitfähigkeit nachgewiesen.

#### **Chloridcarbonat**

Das Grundwasser in Durchflussgebieten weist im Vergleich zu den Gebieten anderer hydrogeologischer Struktureinheiten beim Median die höchsten Werte auf, besonders in den tiefen Bereichen von über 100 Meter unter Gelände. Hier sind die Messstellen überwiegend in tertiären Schichten ausgebaut. Geringe Konzentrationen treten im Grundwasser des Tiefenbereiches zwischen 20 und 50 Meter in Neubildungs- und indirekten Neubildungsgebieten auf.

#### **Sulfat**

Bei Sulfat weist das Grundwasser in fast allen hydrogeologischen Strukturen im oberflächennahen Bereich hinsichtlich der Mediane höhere Konzentrationen als in den tieferen Bereichen auf. Die Medianwerte der Sulfatkonzentrationen in Gebieten mit indirekter Neubildung sind in Bereichen unter 10 Meter jedoch am höchsten. In den tiefsten Grundwasserbereichen (> 100 Meter) liegt die geringste Konzentration von Sulfat vor. Innerhalb der Flächennutzung ist der Median bei Wiesen in einer Tiefe von 20 bis 50 Meter am höchsten. Hier liegt der Median von 32 Analysen sogar über dem Grenzwert der TrinkwV von 240 mg/l.

#### **Kalzium**

Bei Kalzium ist ebenfalls eine deutliche Abnahme der Konzentration mit der Tiefe zu beobachten. Auch hier sind in Gebieten mit indirekter Neubildung die Konzentrationen des oberflächennahen Grundwassers in Bezug auf den Median am höchsten.

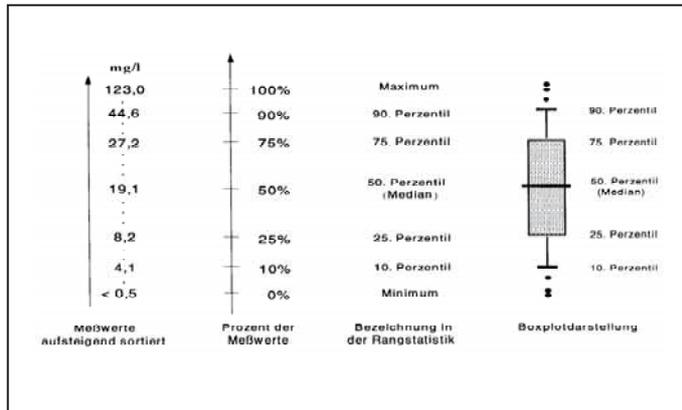


Abb. 4.4: Definition von Boxplot-Diagrammen

### Magnesium

Magnesium zeigt ein ähnliches Bild. Jedoch hat das Grundwasser in den tertiären bis elsterglazialen Schichten (mittlerer Filtertiefe > 100 Meter unter Gelände) höhere Gehalte.

### Natrium

Die Werte liegen im unauffälligen Bereich. Die große Streuung der Konzentrationen, welche in dem Boxplot für das Durchflussgebiet bei einer mittleren Filtertiefe von über 100 Meter unter Gelände erkennbar ist, wird - wie bei den Histogrammen beschrieben - durch die hohen Konzentrationen des Grundwassers aus miozänen Schichten (Messstelle Pritzwalk UP) verursacht.

### Chlorid

Wie bei Natrium werden in der Darstellung der Chloridkonzentrationen die erhöhten Werte der Messstelle Pritzwalk UP sichtbar. Bei den anderen Spannweitendiagrammen zeigen die oberflächennahen Grundwässer höhere Chloridkonzentrationen als die tieferen Bereichen, was auf anthropogenen Einfluss hindeutet. Innerhalb der Flächennutzungen liegt wie bei den Sulfatkonzentrationen der Medianwert in dem Tiefenbereich zwischen 20 und 50 Meter unter Gelände bei der Klasse Wiese am höchsten.

### Kalium

Die Kaliumkonzentrationen haben im oberflächennahen Grundwasser von Neubildungs- und Entlastungsgebieten eine große Spannweite, während Grundwässer in Durchflussgebieten Konzentrationen unter 12 mg/l aufweisen. Innerhalb der Flächennutzungseinheiten zeigen sich für das oberflächennahe Grundwasser in Siedlungsgebieten und bei Wiesen große Streuungen. Im oberflächennahen Grundwasser liegt der Median im Siedlungsgebiet am höchsten.

### Nitrat

Bei Nitrat tritt bei den Analysen aus den Gebieten der indirekten Neubildung die größte Spannweite bei den einzelnen Konzentrationen auf. Die Streuung nimmt mit der Tiefe zu. Bei Proben aus dem Tiefenbereich zwischen 20 und 50 Meter unter Gelände beträgt das 75-Perzentil über 15 mg/l. Der Median liegt beim Grundwasser in allen Tiefenbereichen unter 0,5 mg/l. Die größten Spannweiten der Nitratkonzentrationen in Bezug auf die Flächennutzung treten oberflächennah bei den Klassen Acker, Wiese und Siedlung auf.

### ortho-Phosphat

Die große Spannweite der ortho-Phosphatkonzentrationen von Messstellen aus Tiefenbereichen über 100 Meter werden - wie bei Natrium und Hydrogenkarbonat - durch hohe Werte aus tertiären Schichten verursacht. In den übrigen Bereichen liegen die 75-Perzentile unter 0,25 mg/l. Der Medianwert in Neubildungsgebieten ist im Tiefenbereich zwischen 20 und 50 Meter mit 0,1 mg/l am höchsten. Innerhalb der Flächennutzungseinheiten zeigen die Konzentrationen des oberflächennahen Grundwassers im Siedlungsbereich die größte Streuung der Werte. Hier liegt das 75-Perzentil über 0,3 mg/l.

### Bor

Auch bei Bor treten im Grundwasser der tiefsten Messstelle (Pritzwalk UP) im Durchflussgebiet die höchsten Gehalte auf. In den übrigen hydrogeologischen Struktureinheiten sind die Konzentrationsspannen oberflächennah am größten. In Gebieten mit indirekter Neubildung beträgt das 75-Perzentil

0,18 mg/l. In Bezug auf die Flächennutzung zeigt das Grundwasser oberflächennah und in Tiefenbereichen zwischen 50 und 100 Meter unter Siedlungsgebieten hinsichtlich des Medians die höchsten Konzentrationen. In Bereichen landwirtschaftlicher Nutzung (Acker) sind auch in tiefen Bereichen die Medianwerte höher als in den anderen Landnutzungsklassen. An der tiefen Messstelle in Pritzwalk ist jedoch neben dem anthropogenen auch salinärer Einfluss zu vermuten.

### **Ammonium**

Die Konzentrationen weisen oberflächennah (< 10 Meter) in Entlastungsgebieten (geringer Flurabstand) die größte Streuung der Konzentrationen auf. Hier liegen nur 25 % der Proben unter dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (0,5 mg/l). In Durchflussgebieten steigen hingegen die Werte des 75-Perzentils mit der Tiefe. Hinsichtlich der Flächennutzung liegen die Mediane in den tiefen Bereichen (50 bis 100 Meter) und oberflächennah (< 10 Meter) bei Acker- und Siedlungsgebieten am höchsten. Die erhöhten Konzentrationen im tiefen Bereich sind möglicherweise durch die Reduktion von Nitrat anthropogenen Ursprungs bedingt.

### **TOC**

Die TOC-Gehalte zeigen ein ähnliches Bild wie die Ammoniumwerte. Auch hier sind die Konzentrationsspannen im oberflächennahen Grundwasserbereich von Entlastungsgebieten am größten. Die Mediane nehmen in Entlastungs-, Neubildungs- und indirekten Neubildungsgebieten mit der Tiefe ab. Dagegen erfolgt in Durchflussgebieten eine Zunahme der Medianwerte mit steigender Tiefe.

### **Eisen**

Die Medianwerte der Eisenkonzentrationen liegen in allen Tiefenbereichen und hydrogeologischen Struktureinheiten über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (0,2 mg/l). In Entlastungsgebieten treten wiederum die größten Spannweiten auf. Im oberflächennahen Grundwasser der Entlastungsgebiete ist der Median mit über 7,5 mg/l am höchsten.

### **Mangan**

Auch hier liegen die Mediane in allen Tiefenbereichen und hydrogeologischen Struktureinheiten über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (0,05 mg/l). Die Entlastungsgebiete weisen die größten Spannweiten auf.

### **Aluminium**

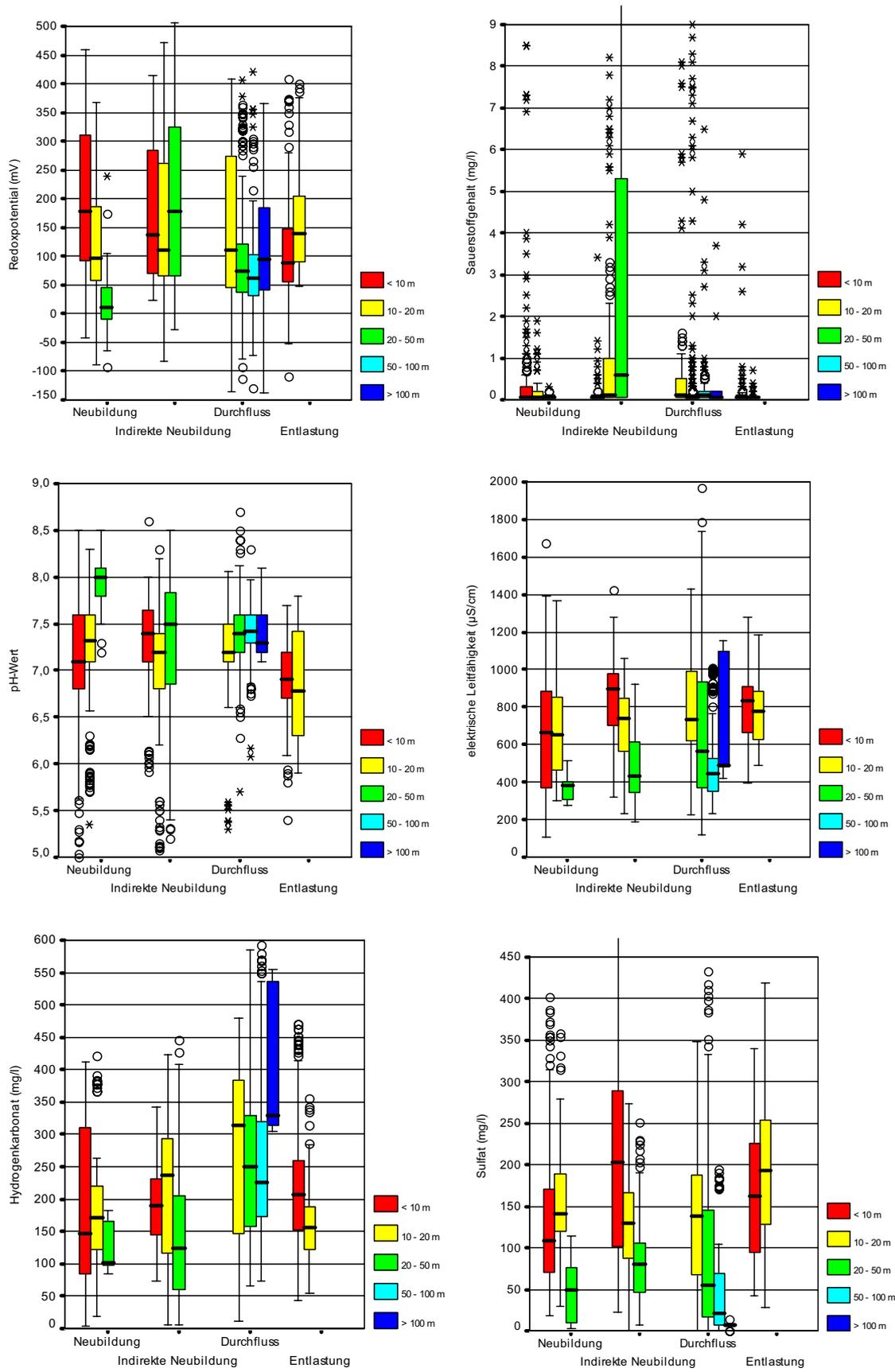
In den Spannweitendiagrammen wird wie schon bei den Histogrammen deutlich, dass sich die Aluminiumwerte in einem unauffälligen Konzentrationsbereich befinden. Die Medianwerte liegen in allen Tiefenbereichen der hydrogeologischen Struktureinheiten zwischen 5 und 13 µg/l.

### **Zink**

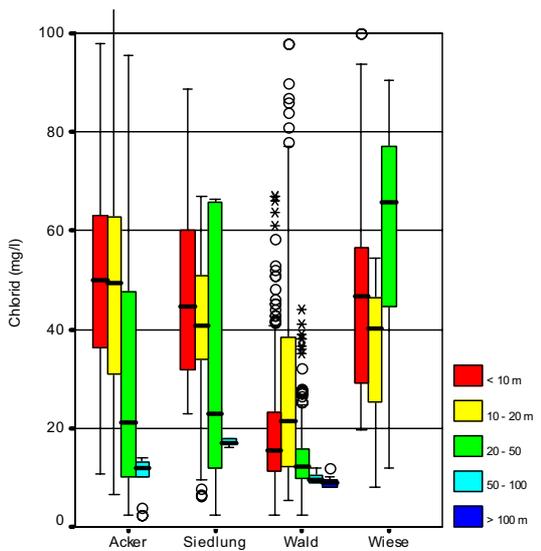
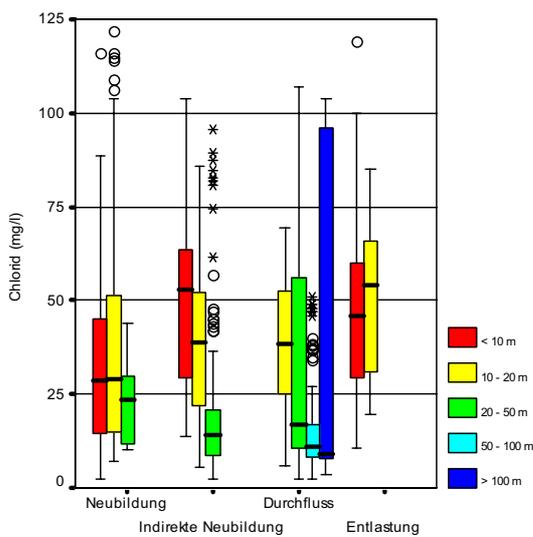
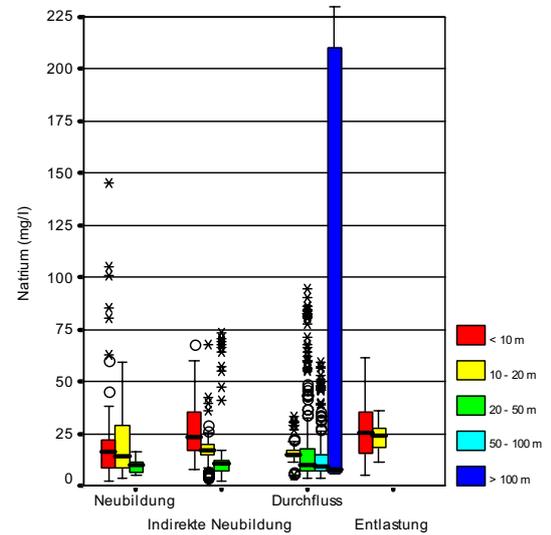
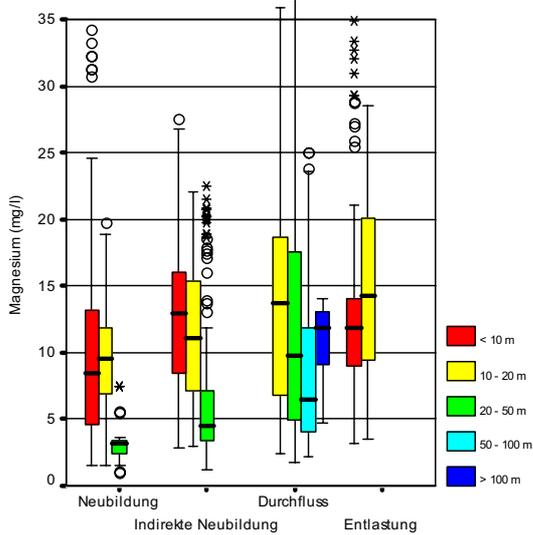
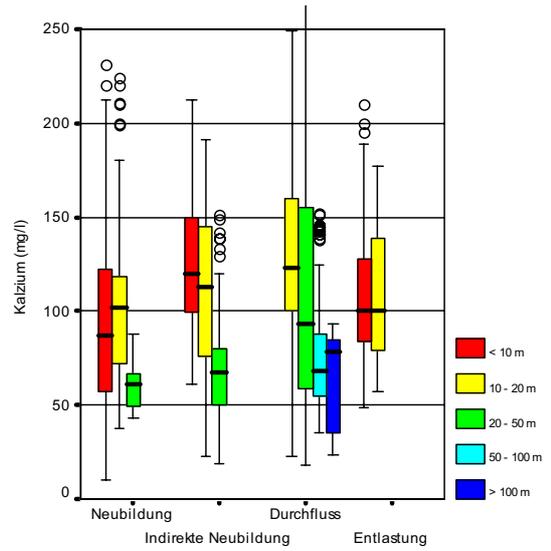
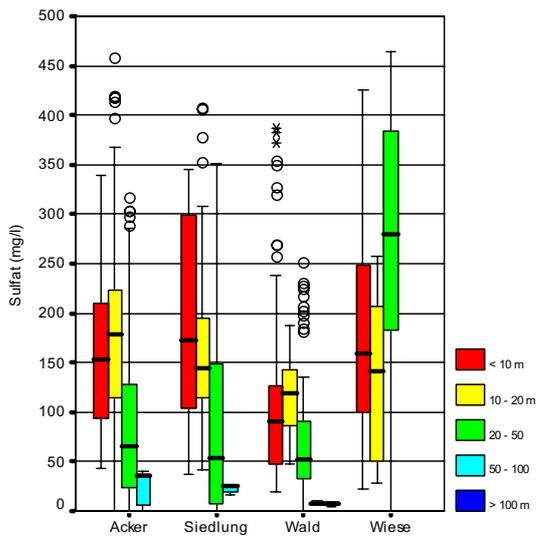
Die Medianwerte aller Tiefenbereiche der hydrogeologischen Struktureinheiten liegen unter 5 µg/l und damit im unauffälligen Konzentrationsbereich.

### **Zusammenfassung**

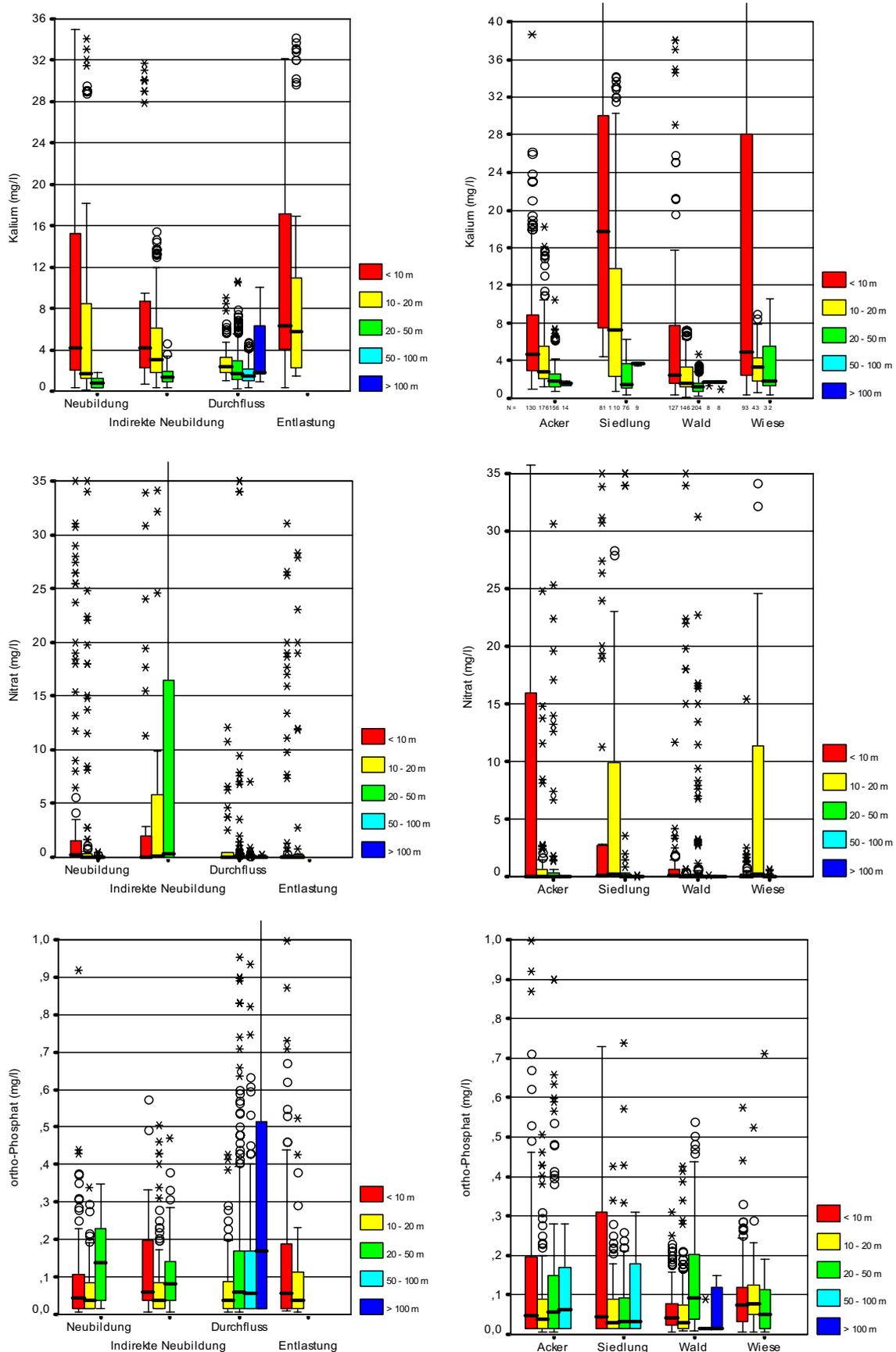
Beim Vergleich der Untersuchungsergebnisse innerhalb der hydrogeologischen Struktureinheiten sind die Mediane in Entlastungsgebieten gegenüber den anderen Gebieten bei den Parametern Ammonium, Eisen, Mangan und TOC höher, beim pH-Wert, Redoxpotenzial und Sauerstoff hingegen niedriger. Größere Spannweiten der Konzentrationen sind bei einer mittleren Filtertiefe der Messstellen (20 bis 50 Meter unter Gelände) in Gebieten mit indirekter Neubildung für Sauerstoff und Nitrat erkennbar. Hier weist der Median für Ammonium den geringsten Wert auf. Eine Abnahme der Werte mit zunehmender Tiefe tritt bei der elektrischen Leitfähigkeit, Sulfat, Magnesium, Kalzium, Kalium und Bor auf. Die großen Spannweiten der Konzentrationen von Hydrogenkarbonat, Natrium, Chlorid, Bor und Phosphat in den tiefen Bereichen der Durchflussgebiete lassen sich auf die Analysen des Grundwassers aus miozänen Schichten (z.B. Messstelle Pritzwalk UP) zurückführen. Beim Vergleich der Konzentrationen bezüglich der Flächennutzung weisen die Mediane für Sulfat und Chlorid im Tiefenbereich zwischen 20 und 50 Meter bei Grünland den höchsten Wert auf. Für Kalium liegt der Median in Siedlungsgebieten im oberflächennahen Bereich am höchsten. Nitrat zeigt oberflächennah unter Ackerflächen die größte Streuung. Bei Ammonium und Bor liegen die höchsten Medianwerte im Siedlungsbereich sowohl oberflächennah als auch in größeren Tiefen (50 bis 100 Meter unter Gelände). Unter landwirtschaftlichen Nutzflächen sind dort sogar die Medianwerte bei der größten Tiefenlage am höchsten.



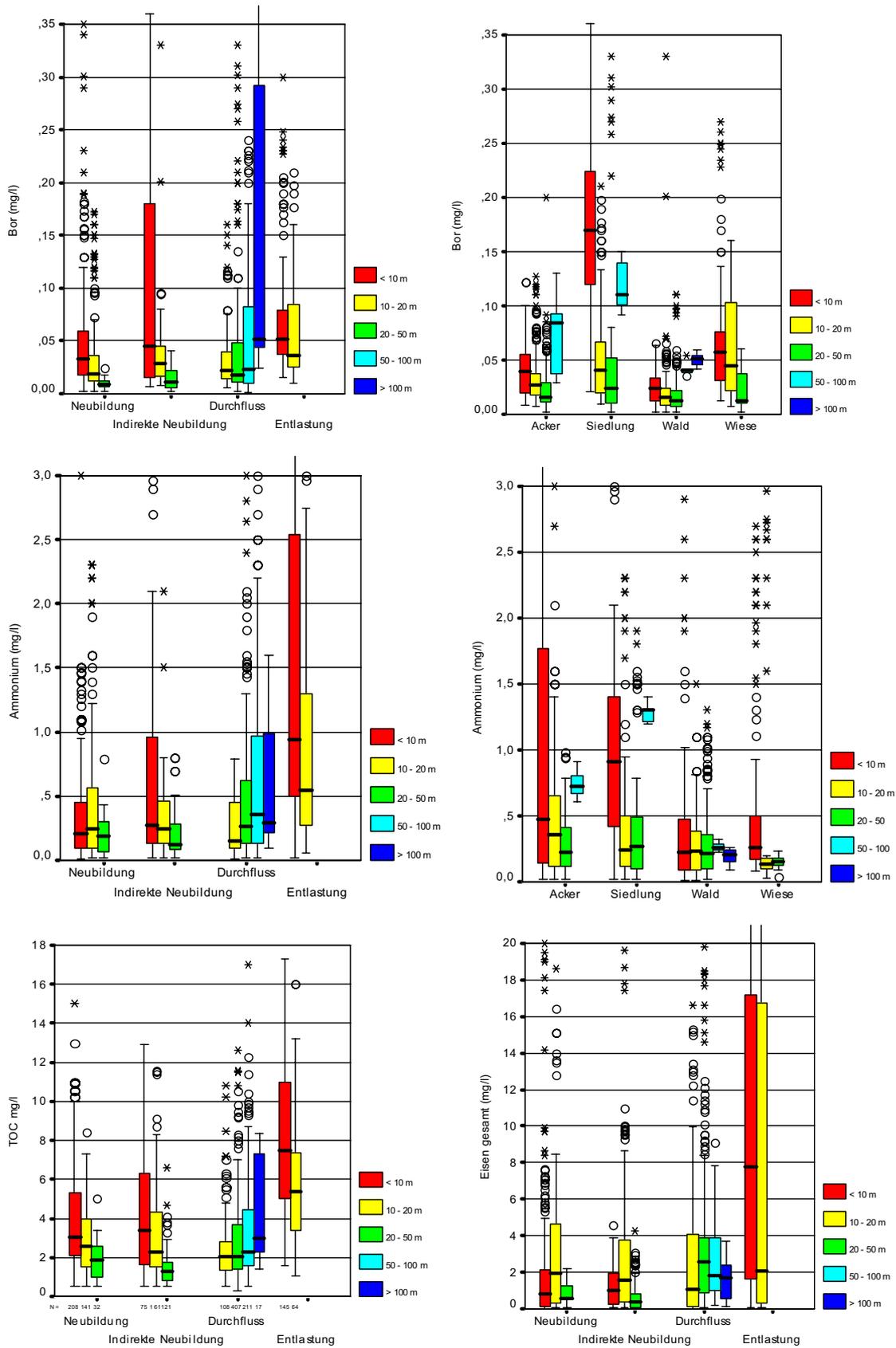
**Abb. 4.5a:** Spanweitendiagramme (Boxplots) der Konzentrationen von allgemeinen Milieuparametern und Hauptinhaltsstoffen des Grundwassers in Abhängigkeit von der Tiefe des Rterausbaus (n Meter unter Erde) und der hydrogeologischen Struktureinheit



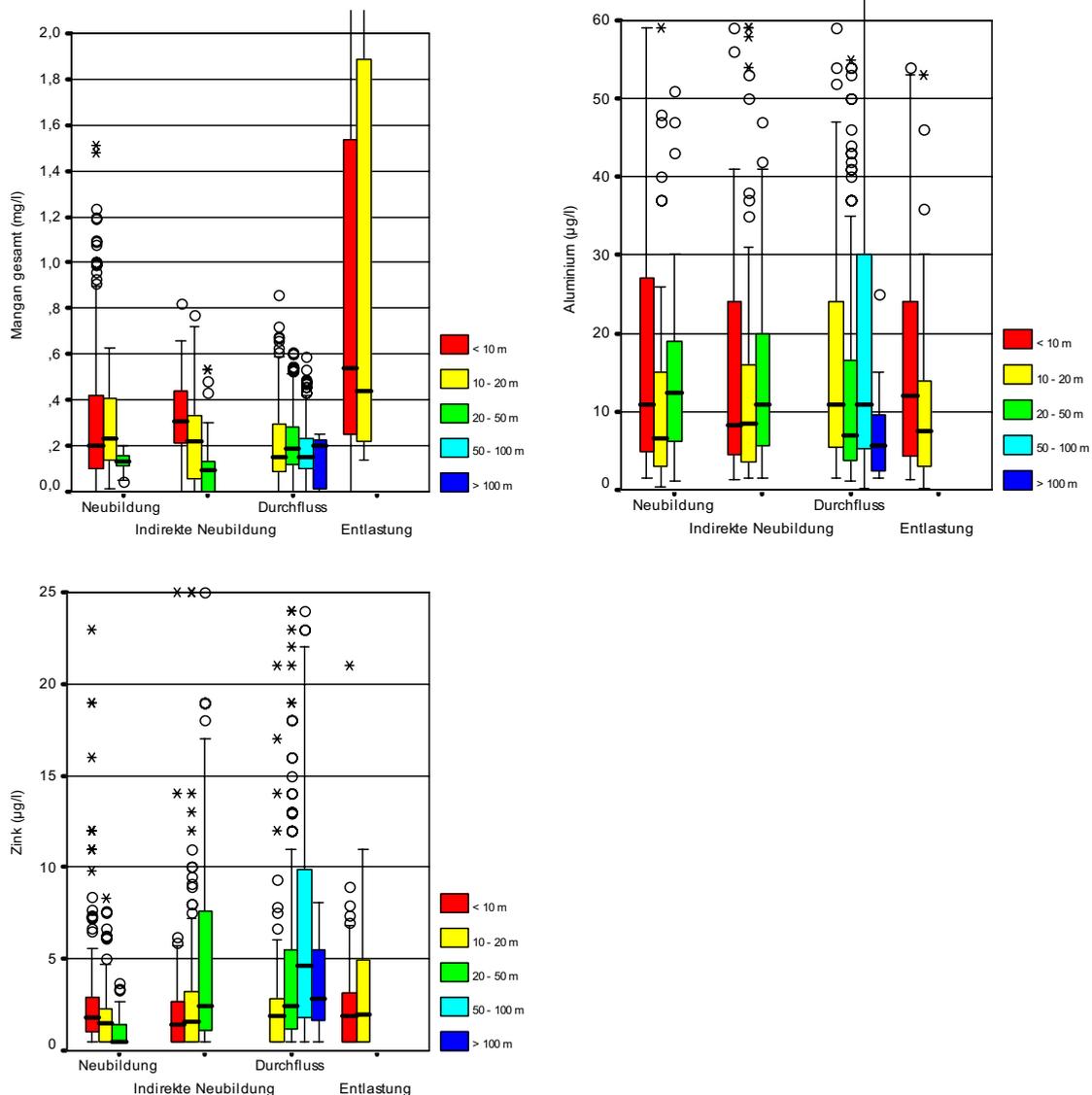
**Abb. 4.5b:** Spanweitendiagramme (Boxplots) der Konzentrationen von Hauptinhaltsstoffen des Grundwassers in Abhängigkeit von der Tiefe des Rterausbaus (n Meter unter Erde) und der Föhennutzung bzw. der hydrogeologischen Struktureinheit



**Abb. 4.5c:** Spannweitendiagramme (Boxplots) der Konzentrationen von Haupt- und Nebeninhaltsstoffen des Grundwassers in Abhängigkeit von der Tiefe des Filterausbaus (in Meter unter Gelände) und der Flächennutzung bzw. der hydrogeologischen Struktureinheit



**Abb. 4.5d:** Spannweitendiagramme (Boxplots) der Konzentrationen von Nebeninhaltsstoffen und eines Summenparameters des Grundwassers in Abhängigkeit von der Tiefe des Filterausbaus (in Meter unter Gelände) und der Flächennutzung bzw. der hydrogeologischen Struktureinheit



**Abb. 4.5e:** Spannweitendiagramme (Boxplots) der Konzentrationen von Spurenelementen im Grundwasser in Abhängigkeit von der Tiefe des Pflanzbaus (n Meter unter Erde) und der hydrogeologischen Struktureinheit

## 4.4 Grenzwertüberschreitungen der Trinkwasserverordnung

### 4.4.1 Grundmessnetz

In den nachfolgenden beiden Tabellen 4.1 und 4.2 werden die Analysenwerte von Messstellen des Grundmessnetzes in Relation zu den Grenzwerten der seit 2003 gültigen Trinkwasserverordnung (TRINKWV 2001) gesetzt. Diesen Angaben liegen genau wie den berechneten statistischen Kennwerten Analysen mit einem Ionensummenfehler von weniger als 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 liegen (s. Spalte „Grenzwert“) liegen. Die Spalte „Anteil > GW TrinkwV“ enthält prozentuale Angaben dieser Überschreitungen im Verhältnis zur Gesamtzahl der bewerteten Analysen. Im Folgenden wird exemplarisch bei einigen Parametern auf Überschreitungen hingewiesen.

Wie bereits in den Jahren 1992 bis 1995 und 1995 bis 2000 liegt etwa ein Drittel der **Ammonium**-werte oberhalb des Grenzwertes der TrinkwV (86 von 205 Messstellen). Bei 15 Mehrfachmessstellen lassen sich die Überschreitungen in verschiedene Tiefenbereiche verfolgen, wobei an fünf Messstellen eine Zunahme mit der Tiefe auftritt.

Beim Parameter **Sulfat** überschreiten 11,8 % der Analysen den Grenzwert, wovon 34 Messstellen betroffen sind. Dabei handelt es sich überwiegend um Messstellen im oberflächennahen Grundwasser. Bei zwei Mehrfachmessstellen setzt sich die Überschreitung des Grenzwerts mit steigender Tiefe fort.

**Kalium** ist zwar in der aktuellen Fassung der TrinkwV nicht mehr als Parameter mit einem Grenzwert aufgeführt, wird hier aber als ein charakteristischer Parameter für den diffusen Stoffeintrag weiterhin geprüft. An 24 Messstellen überschreiten die Analysen den ehemaligen Grenzwert der TrinkwV. Diese Messstellen weisen fast alle eine mittlere Filtertiefe von weniger als 11 Meter unter Gelände auf. An der Messstelle in Groß Breesen setzen sich die hohen Kaliumwerte mit durchschnittlich 30,5 mg/l bis zum Mittelpegel (mittlere Filtertiefe 18 Meter unter Gelände) fort.

Bei sieben Messstellen liegt sowohl Kalium als auch Sulfat oberhalb des Grenzwertes der TrinkwV. Der Grenzwert für **Chlorid** wird nur von zwei Analysen überschritten. Die geogen salinar geprägten Messstellen, bei denen im Untersuchungszeitraum von 1996 bis 2000 Grenzwertüberschreitungen ermittelt wurden, sind aktuell dem Sondermessnetz „Geogene Versalzung“ (s. Kap. 2.8) zugeordnet und hier nicht Gegenstand der Betrachtung.

Da Messstellen mit hohen **Nitrat**konzentrationen dem Sondermessnetz „Nitrat“ zugeordnet sind, liegt der Anteil der Grenzwertüberschreitungen von Nitrat im Grundmessnetz lediglich bei 4,6 % der Analysen. Betroffen davon sind 18 Messstellen (s. Tab. 2.3). Diese Messstellen, bei denen die Konzentration dauerhaft über 25 mg/l liegen, sollten in das Nitratmessnetz integriert werden.

Die hohen Anteile der Grenzwertüberschreitungen für **Eisen** und **Mangan** mit 82,8 % bzw. 87,2 % sind auf geogen bedingte hohe Konzentrationen zurückzuführen. Die Grenzwertüberschreitungen für den **pH-Wert** von 10,4 % der Analysen beziehen sich fast ausschließlich auf das Auftreten von Werten unter 6,5. Davon sind 34 Messstellen überwiegend aus dem oberflächennahen Grundwasserbereich betroffen. In den auf **Arsen** und **Aluminium** untersuchten Proben überschreiten 2,4 % bzw. 1,8 % der Analysen den jeweiligen Grenzwert, wovon fünf bzw. 20 Messstellen betroffen sind. Bei 14 Analysen bzw. sieben Messstellen wird der Summengrenzwert für **PSM** überschritten. In den Proben der Messstelle Schönwalde-Siedlung nordwestlich von Berlin werden auch die Grenzwerte für Sulfat, Kalium und Ammonium überschritten.

**Benzo-(a)Pyren** hat in der neuen Trinkwasserverordnung einen eigenen Grenzwert erhalten. Dieser wird bei zehn Analysen an zehn Messstellen überschritten. An drei Mehrfachmessstellen treten Überschreitungen des Grenzwertes im Ober- und Unterpegel auf.

Bei den allgemeinen **Milieuparametern** wird der Grenzwert des pH-Wertes mit 10,4 % der Analysen am häufigsten über- bzw. unterschritten. Die elektrische Leitfähigkeit hingegen zeigt für über 99 % der Proben keine Grenzwertüberschreitung.

Hinsichtlich der **Hauptinhaltsstoffe** ist Ammonium bei weitem am häufigsten von Grenzwertüberschreitungen betroffen. Sulfat und Kalium sind weitere Hauptinhaltsstoffe, bei denen häufiger Messwerte über den Grenzwerten liegen. Nitrat- und Chloridanalysen weisen hingegen in mehr als 95 % der Fälle Werte unterhalb der Grenzwerte auf.

In Bezug auf die **Metalle** Eisen und Mangan treten geogen bedingt bei einer hohen Anzahl der Proben Grenzwertüberschreitungen auf. Bei Arsen und Aluminium sind bei etwa 1,5 % der Analysen Grenzwertüberschreitungen zu verzeichnen. Die Messergebnisse der anderen Metalle sind in Bezug auf die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung unauffällig.

Bei den **organischen Inhaltsstoffen** zeigen die Analysen für den Summenparameter PAK einen geringeren Anteil Grenzwertüberschreitungen als im vorherigen Betrachtungszeitraum. Dies liegt in der Änderung der Trinkwasserverordnung begründet. Für „Σ Einzelstoffe PAK“ werden nur noch vier einzelne Stoffe berücksichtigt. Bei etwa 2 bis 3 % der Analysen sind Überschreitungen der Grenzwerte für die PSM (Summe aller Stoffe) und für den Einzelstoff Benzo-(a)-Pyren zu verzeichnen.

**Tab. 4.1: Anzahl der Analysen, Anzahl und prozentuale Anteile von Überschreitungen der Grenzwerte (GW) nach Trinkwasserverordnung im Grundmessnetz (Milieuparameter sowie Haupt- und Nebeninhaltsstoffe)**

Parameter	Anzahl Analysenwerte	Grenzwert (GW)	Anzahl Werte > GW TrinkwV	Anteil Werte > GW TrinkwV
pH-Wert	1.694	< 6,5 / > 9,5	177 / 1	10,4 %
elektrische Leitfähigkeit	1.692	2.000 µS/ cm	8	0,5 %
Chlorid	1.708	250 mg/l	2	0,1 %
Sulfat	1.708	240 mg/l	202	11,8 %
Mangan	1.674	0,05 mg/l	1.459	87,2 %
Natrium	1.708	200 mg/l	5	0,3 %
Kalium	1.708	12 mg/l *	189	11,1 %
Eisen	1.704	0,2 mg/l	1.411	82,8 %
Ammonium	1.705	0,5 mg/l	533	31,3 %
Nitrat	1.708	50 mg/l	78	4,6 %
Nitrit	1.708	0,5 mg/l	1	0,1 %
(Nitrat/50) + (Nitrit/3)	1.708	1 mg/l	84	4,9 %
Arsen	423	10 µg/l	10	2,4 %
Blei	418	10 µg/l	1	0,2 %
Cadmium	418	5 µg/l	-	-
Chrom	417	50 µg/l	-	-
Nickel	423	20 µg/l	2	0,5 %
Quecksilber	410	1 µg/l	-	-
Aluminium	1.703	200 µg/l	31	1,8 %
Bor	1.695	1 mg/l	-	-
Kupfer	418	2.000 µg/l	-	-
Fluorid	1.689	1,5 mg/l	-	-
Benzo-(a)-Pyren	436	0,01 µg/l	10	2,3 %
Σ Einzelstoffe PAK	899	0,1 µg/l	2	0,2 %
Σ Einzelstoffe PSM	432	0,5 µg/l	14	3,2 %
Benzol	671	0,001 mg/l	-	-
1,2-Dichlorethan	676	0,003 mg/l	-	-
Trichlormethan	673	50 µg/l	-	-

\* = ehemaliger, in der seit 2003 geltenden TrinkwV (2001) nicht mehr aufgeführter Grenzwert

Tab. 4.2 dokumentiert Angaben zu der Häufigkeit bzw. den prozentualen Anteilen von Überschreitungen des Grenzwertes für einzelne PSM-Wirkstoffe bzw. -Metabolite nach der TrinkwV. Eine Messstelle erscheint in der Spalte „Anzahl Mst. > GW“, wenn mindestens eine Analyse den Grenzwert überschreitet. Die Spalte „Anzahl Mst. analysiert“ gibt die Anzahl der Messstellen an, deren Proben auf den PSM-Einzelstoff analysiert wurden. Berücksichtigt sind in der Tabelle nur jene PSM, für die Analysen mit Werten über der Bestimmungsgrenze vorliegen. Sortiert ist die Tabelle nach der relativen Häufigkeit der messstellenbezogenen Überschreitungen.

**Mecoprop** ist das am häufigsten quantifizierte PSM im Land Brandenburg. Es traten bei 31 von 851 Analysen Gehalte über der Bestimmungsgrenze auf (entspricht etwa 3,6 % aller Analysen). 15 der 31 ermittelten Konzentrationen liegen auch über dem Grenzwert der TrinkwV für PSM-Einzelstoffe.

Hiervon sind 11 von 159 Messstellen betroffen, von denen Proben auf diesen Stoff analysiert wurden (6,9 %).

Das mit höheren Konzentrationen am zweithäufigsten nachgewiesene PSM ist **Fenuron**. Es wurde in 15 von 195 Analysen mit Werten über der Bestimmungsgrenze analysiert (entspricht etwa 7,7 %). Zehn der 15 Messwerte liegen auch über dem Grenzwert der TrinkwV. Hiervon betroffen sind vier von 91 Messstellen, deren Proben auf diesen Wirkstoff untersucht wurden (4,4 %). Alle übrigen PSM wurden bei jeweils weniger als 2 % der Messstellen mit Gehalten über dem Grenzwert nachgewiesen. Trotz der vorliegenden Funde kann zu den in Tab. 4.2 dokumentierten Ergebnissen eingeschätzt werden, dass die Grundwasserbeschaffenheit im Land Brandenburg bezüglich des Vorhandenseins von PSM an den Messstellen des Grundmessnetzes nicht als problematisch zu bewerten ist. Durch eine

gezielte PSM-Überwachung ist jedoch auch zukünftig der Belastungszustand des Grundwassers zu erfassen, insbesondere in den landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten.

**Tab. 4.2: Überschreitungen der Grenzwerte für einzelne PSM nach TrinkwV im Grundmessnetz, sortiert nach der relativen Häufigkeit der messstellenbezogenen Überschreitungen**

Parameter (PSM- Wirkstoff)	Anzahl Analysenwerte	Anzahl Werte < BG	Anzahl Werte > BG	Anteil Werte > BG [%]	Anzahl Werte > GW	Anteil Werte > GW [%]	Anzahl Mst. > GW	Anzahl Mst. analys.	Anteil Mst. > GW [%]
Mecoprop	851	820	31	3,6	15	1,8	11	159	6,9
Fenuron	195	180	15	7,7	10	5,1	4	91	4,4
MCPA	851	839	12	1,4	3	0,4	3	159	1,9
2,4,5-T-Säure	851	849	2	0,2	2	0,2	2	159	1,3
Dichlorprop	851	843	8	0,9	2	0,2	2	159	1,3
MCPB	850	847	3	0,4	2	0,2	2	159	1,3
Atrazin	898	887	11	1,2	6	0,7	2	169	1,2
Desethylatrazin	899	881	18	2,0	2	0,2	2	169	1,2
Isoproturon	899	897	2	0,2	2	0,2	2	169	1,2
Bromoxynil	298	295	3	1,0	1	0,3	1	92	1,1
Quinmerac	302	300	2	0,7	1	0,3	1	92	1,1
Bentazon	588	587	1	0,2	1	0,2	1	157	0,6
2,4-D-Säure	851	849	2	0,2	1	0,1	1	159	0,6
Simazin	899	888	11	1,2	1	0,1	1	169	0,6
Desisopropylatrazin	899	877	22	2,4	1	0,1	1	169	0,6
Chloridazon	899	895	4	0,4	1	0,1	1	169	0,6
Aldrin	388	384	4	1,0	-	-	-	-	-
Chlortoluron	899	896	3	0,3	-	-	-	-	-
DDD, p,p'-	385	383	2	0,5	-	-	-	-	-
DDE, p,p'-	386	377	9	2,3	-	-	-	-	-
DDT, p,p'-	385	366	19	4,9	-	-	-	-	-
Diuron	899	898	1	0,1	-	-	-	-	-
Endosulfan, alpha	308	301	7	2,3	-	-	-	-	-
Endosulfan, beta	318	315	3	0,9	-	-	-	-	-
Fluroxypyr	247	246	1	0,4	-	-	-	-	-
HCH, alpha	387	381	6	1,6	-	-	-	-	-
Heptachlor	375	372	3	0,8	-	-	-	-	-
Lindan	387	386	1	0,3	-	-	-	-	-
Metazachlor	899	891	8	0,9	-	-	-	-	-
Metribuzin	899	895	4	0,4	-	-	-	-	-
Desethylterbutylazin	81	80	1	1,2	-	-	-	-	-
Terbuthylazin	705	703	2	0,3	-	-	-	-	-

GW = Grenzwert für einzelne PSM nach TrinkwV

BG = Bestimmungsgrenze; in der Tabelle sind nur PSM mit Werten über der BG berücksichtigt

#### 4.4.2 Sondermessnetz Nitrat

Tab. 4.3 dokumentiert die Grenzwertüberschreitungen nach Trinkwasserverordnung für die Analysen des Nitratmessnetzes. Der prozentuale Anteil der Messwerte, die über dem Grenzwert von Nitrat liegen, ist im Vergleich zu den Überschreitungen des Grundmessnetzes entsprechend der Messnetzausrichtung deutlich höher (69 % gegenüber 4,6 %).

Im Vergleich zum Grundmessnetz ist der prozentuale Anteil der Grenzwertüber- bzw. -unterschreitungen für die Parameter Nitrat, Kalium (Kalium wird aufgrund seiner hydrochemischen Relevanz auch weiterhin bewertet) und pH-Wert deutlich höher. Bei den Grenzwertüberschreitungen von Nitrat

sind 15 von 16 Messstellen betroffen. Für Kalium und den pH-Wert sind es acht bzw. sieben, also etwa die Hälfte der Messstellen. Bei Ammonium, Eisen und Mangan hingegen treten Überschreitungen der Grenzwerte seltener als im Grundmessnetz auf. Dies hängt mit dem hydrogeochemischen Verhalten unter bestimmten Redoxbedingungen zusammen.

Der höhere prozentuale Anteil der Grenzwertüberschreitungen beim pH-Wert hängt mit der Lage der Messstellen in oberflächennahen Neubildungs- bzw. indirekten Neubildungsgebieten zusammen. Hier herrschen oxidierende Verhältnisse vor, in denen gelöste reduzierte Stoffe ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) nur mit sehr geringen Gehalten enthalten sind.

**Tab. 4.3: Anzahl der Analysen, Anzahl und prozentuale Anteile von Überschreitungen der Grenzwerte nach TrinkwV im Nitratmessnetz (Milieuparameter sowie Haupt- und Nebeninhaltsstoffe)**

Parameter	Anzahl Analysenwerte	Grenzwert (GW)	Anzahl Werte > GW TrinkwV	Anteil Werte > GW TrinkwV
pH-Wert	134	< 6,5 / > 9,5	26 / 0	19 %
Leitfähigkeit	132	2.000 µS/ cm	-	-
Chlorid	134	250 mg/l	-	-
Sulfat	134	240 mg/l	5	4 %
Mangan	38	0,05 mg/l	17	45 %
Natrium	134	200 mg/l	-	-
Kalium	134	12 mg/l	50	37 %
Eisen	133	0,2 mg/l	28	21 %
Ammonium	133	0,5 mg/l	4	3 %
Nitrat	134	50 mg/l	93	69 %
Nitrit	134	0,5 mg/l	1	1 %
(Nitrat/50) + (Nitrit/3)	134	1 mg/l	95	71 %
Fluorid	132	1,5 mg/l	-	-
Bor	38	1 mg/l	-	-

In Tab. 4.4 sind Angaben zu den Häufigkeiten bzw. zu den prozentualen Überschreitungen der Grenzwerte der einzelnen PSM nach TrinkwV dargestellt. Für zwölf PSM wurden Gehalte über der BG nachgewiesen. Die Hälfte davon weist Konzentrationen über dem Grenzwert der TrinkwV auf. Die Konzentration von Dichlorprop liegt in Proben von drei der 16 Messstellen über dem Grenzwert. An zwei Messstellen wurde Desethylatrazin wiederholt mit Gehalten über dem Grenzwert der TrinkwV nachgewiesen. Allein sechs Analysen der Messstelle Meseberg im Norden Brandenburgs weisen Grenzwertüberschreitungen auf.

**Tab. 4.4: Überschreitungen der Grenzwerte für einzelne PSM nach TrinkwV im Nitratmessnetz, sortiert nach der relativen Häufigkeit der messstellenbezogenen Überschreitungen**

Parameter (PSM-Wirkstoff)	Anzahl Analysenwerte	Anzahl Werte < BG	Anzahl Werte > BG	Anteil Werte > BG [%]	Anzahl Werte > GW	Anteil Werte > GW [%]	Anzahl Mst. > GW	Anzahl Mst. > gesamt	Anteil Mst. > GW [%]
Dichlorprop	125	121	4	3,2	3	2,4	3	16	18,8
Desethylatrazin	130	114	16	12,3	7	5,4	2	16	12,5
MCPA	125	122	3	2,4	2	1,6	2	16	12,5
Mecoprop	125	118	7	5,6	2	1,6	2	16	12,5
MCPB	124	122	2	1,6	1	0,8	1	16	6,3
Desisopropylatrazin	130	113	17	13,1	1	0,8	1	16	6,3
Atrazin	130	123	7	5,4	-	-	-	-	-
Chlortoluron	130	128	2	1,5	-	-	-	-	-
Metazachlor	130	129	1	0,8	-	-	-	-	-
Simazin	130	124	6	4,6	-	-	-	-	-
Bromoxynil	47	45	2	4,3	-	-	-	-	-

GW = Grenzwert für einzelne PSM nach TrinkwV  
 BG = Bestimmungsgrenze; in der Tabelle sind nur PSM mit Werten über der BG berücksichtigt

## 4.5 Beeinflussungstypen der Grundwasserbeschaffenheit

Die in den Jahren 2001 bis 2005 betriebenen Messstellen des Grundmessnetzes wurden anhand ihrer Beschaffenheitsdaten in Bezug auf potenzielle anthropogene Beeinflussungen bewertet. Die Beeinflussungstypen sind ein Maß für die Einordnung von Messstellen in das Grundmessnetz. Die natürliche chemische Beschaffenheit von Umweltmedien wird in der deutschsprachigen Fachliteratur als Hintergrundkonzentration definiert. Diese kann z.B. als ausschließliche gesteins-/mineralbürtige Konzentration vorliegen. Häufig rechnet man jedoch auch die ubiquitäre Belastung hinzu, welcher das oberflächennahe Grundwasser heute flächendeckend ausgesetzt ist (KUNKEL ET AL. 2004).

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

Ein darauf aufbauendes, ebenfalls rangstatistisches Verfahren wurde anhand der Bewertung von brandenburgischen Altdaten aus hydrogeologischen Erkundungsarbeiten entwickelt (LUA 1996B) und in LUA (1996C UND 2002) modifiziert. Dieses Verfahren definiert „Typen der Grundwasserbeeinflussung“, die anthropogen (z.B. „Schadstoffe“), geogen (z.B. „Versalzung“) oder nicht eindeutig (z.B. „diffus“) überprägt sind.

### 4.5.1 Methodische Vorbemerkungen

Den ausgewiesenen Typen der Grundwasserbeeinflussung liegen pro Typ jeweils Schwellenwerte (s. LUA 1996B) zu Grunde, die in einer definierten Reihenfolge der Zuordnung angewendet werden. Für die Zuordnung der Messstellen des Grundmessnetzes wurde eine zweistufige Herangehensweise gewählt:

1. Zunächst wurden sämtliche Einzelanalysen anhand des Algorithmus und der Schwellenwerte einem Typ der Beeinflussung zugeordnet.
2. Anschließend wurde bei unterschiedlichen Zuordnungsergebnissen pro Messstelle nach fachlichen Kriterien (z.B. Tiefe des Filterausbaues) 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 anhand der Schwellenwerte für eine Messstelle oft unterschiedliche Ergebnisse pro Analyse lieferte.

### Zuordnung der Einzelanalysen anhand des Algorithmus und der Schwellenwerte

Die Typen der Grundwasserbeeinflussung und die definierten Schwellenwerte, die im Bericht 1995 bis 2000 (LUA 2000, 1996B) verwendet wurden, sind für den vorliegenden Bericht geprüft und teilweise modifiziert worden. Sieben Typen der Beeinflussung wurden ausgewiesen. Die zugrunde gelegten Schwellenwerte zur Abgrenzung der Beeinflussungstypen sind in Tab. 4.5 je hydrogeologischer Struktureinheit dargestellt.

- (1) **Versalzung:** Nachweis geogener Versalzung liegt vor, wenn die Cl-Werte  $> 142$  mg sind und die Ionenquotienten  $Cl/Na$  zwischen  $> 1$  und  $< 1,3$  bzw.  $SO_4/Cl < 1$  liegen.
- (2) **Schadstoffe:** Dieser Beeinflussungstyp wurde ausgewiesen, wenn in den Analysen organische Verbindungen anthropogenen Ursprungs wie LHKW, PAK, Aromaten oder PSM nachgewiesen wurden. Eine Analyse wird diesem Beeinflussungstyp zugeordnet, wenn die Konzentration eines Schadstoffes den Grenzwert der TrinkwV überschreitet oder über den Wert der Geringfügigkeitsschwellen- bzw. Besorgniswerte für Schadstoffgehalte im Grundwasser (LFUG 2002) liegt.
- (3) **Metalle:** Die Schwellenwerte für den Beeinflussungstyp „Metalle“ wurden über die Hintergrundwerte für Metalle der Sande und Kiese in Norddeutschland ermittelt, indem aus den Werten der verschiedenen Tiefenbereiche der arithmetische Mittelwert gebildet wurde.
- (4) **Versauerung:** Hier gilt als Schwellenwert der untere Grenzwert der TrinkwV (pH-Wert 6,5), der als „Initialstadium der Grundwasserversauerung im Lockergestein“ postuliert wird (Anmerkung:

Die Verwendung der typischen Intensitätsgröße pH-Wert ist nach MERTEN (2003) in Lockergesteinsgrundwasserleitern als Versauerungsindikator generell möglich).

- (5) **Nährstoffe:** Wird in einer Grundwasseranalyse ein Schwellenwert (s. Tab. 4.5) der Nährstoffgehalte (N, P, K) überschritten, wird sie dem Beeinflussungstyp „Nährstoffe“ zugeordnet. Die Schwellenwerte (LUA 1996A) sind hier nach der hydrogeologischen Struktureinheit gegliedert.
- (6) **Diffus:** Die Schwellenwerte für die Leitparameter elektrische Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat, Ammonium und Kalium sind ebenfalls nach der hydrogeologischen Struktureinheit gegliedert. Die Grundwässer liegen nach SCHLEYER & KERNDORFF (1992) im Übergangsbereich zwischen dem geogenen Hintergrund und der anthropogenen Beeinflussung.
- (7) **Natrium-Hydrogenkarbonat-Typ:** Er liegt bei einem geogenen Ionenaustausch, d.h. höheren (äquivalenten) Hydrogencarbonat- als Erdalkali- (Ca + Mg) Konzentrationen, vor.

**Tab 4.5: Schwellenwerte zur Abgrenzung der Beeinflussungstypen je hydrogeologischer Struktureinheit**

Parameter	Einheit	Neubildung	Indirekte Neubildung	Durchfluss	Entlastung
<b>1. Versalzung</b>					
Chlorid	mg/l			> 142	> 142
Cl/Na				> 1 / < 1,3	> 1 / < 1,3
SO <sub>4</sub> /Cl				< 1	< 1
<b>2. Schadstoffe</b>					
PAK, LHKW, Aromaten, PSM		Grenzwerte der TrinkwV und Geringfügigkeitsschwellen- bzw. Besorgniswerte für Schadstoffgehalte im Grundwasser			
<b>3. Metalle</b>					
Al	µg/l	175	175	175	175°
As	µg/l	3,1	3,1	3,1	3,1
B	µg/l	188	188	188	188
Cd	µg/l	0,41	0,41	0,41	0,41
Cr	µg/l	2,80	2,80	2,80	2,80
Cu	µg/l	9,30	9,30	9,30	9,30
Hg	µg/l	0,38	0,38	0,38	0,38
Ni	µg/l	11,10	11,10	11,10	11,10
Pb	µg/l	6,23	6,23	6,23	6,23
Zn	µg/l	112	112	112	112
<b>4. Versauerung</b>					
pH		< 6,5	< 6,5	< 6,5	< 6,5
<b>5. Nährstoffe</b>					
Nitrat	mg/l	> 10	> 12	> 1,7	> 4,1
Nitrit	mg/l	> 0,2	> 0,34	> 0,3	> 0,22
Ammonium	mg/l	> 1,0	> 1,2	> 1,5	> 2,6
Ortho-Phosphat	mg/l	> 0,3	> 0,5	> 0,6	> 0,54
K/Na	mg/l	> 0,35	> 0,38	> 0,24	> 0,37
<b>6. Diffus</b>					
Leitfähigkeit	µS/cm	> 740	> 852	> 917	> 904
Chlorid	mg/l	> 58	> 77	> 99	> 85
Sulfat	mg/l	> 120	> 167	> 117	> 176
Ammonium	mg/l	> 0,7	> 0,7	> 1,0	> 1,4
Kalium	mg/l	> 5,0	> 6,6	> 6,2	> 6,9
<b>7. Na-HCO<sub>3</sub>-Typ</b>					
HCO <sub>3</sub> /(Ca + Mg)		> 1	> 1	> 1	> 1

#### 4.5.2 Ergebnisse der Ausweisung

- Ergebnisse für Einzelanalysen, die anhand des Algorithmus und der Schwellenwerte einem Beeinflussungstyp zugeordnet wurden

In Abb. 4.6 sind die prozentualen Anteile der jedem Beeinflussungstyp zugeordneten Analysen dargestellt. Mit der Einbeziehung der Geringfügigkeitsschwellen- bzw. Besorgniswerte für Schadstoffgehalte im Grundwasser (LFUG 2002) konnten auch Schadstoffe bei der Zuordnung berücksichtigt werden, für die keine oder höhere Grenzwerte in der Trinkwasserverordnung vorliegen. In Tab. 4.6 ist

die Anzahl der zugeordneten und nicht zugeordneten Analysen angegeben. In der zweiten Spalte ist die Anzahl der Analysen festgehalten, die aufgrund des jeweiligen Schwellenwerts einem Beeinflussungstyp in definierter Reihenfolge zugeordnet wurde. In der dritten Spalte ist die Anzahl der verbleibenden Analysen aufgeführt.

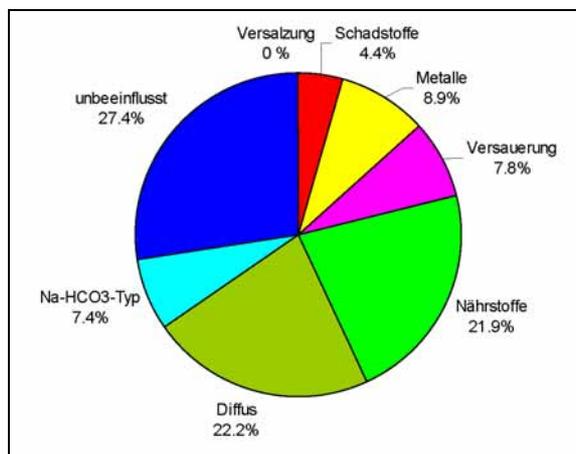


Abb. 4.6 Analysebezogene Anteile der Beeinflussungstypen des Grundmessnetzes

Tab 4.6 Anzahl der zugeordneten und nicht zugeordneten Analysen

Beeinflussungstyp	Anzahl Analysen zugeordnet	Anzahl Analysen nicht zugeordnet	Anteil Analysen zugeordnet (%)
1. Versalzung	0	1.705	0
2. Schadstoffe	75	1.630	4,4
3. Metalle	151	1.479	8,9
4. Versauerung	133	1.346	7,8
5. Nährstoffe	373	973	21,9
6. Diffus	379	594	22,2
7. Na-HCO <sub>3</sub> -Typ	127	467	7,4
unbeeinflusst	467	0	27,4

- **Ergebnisse für Zuordnung der Messstellen zu einem Beeinflussungstyp**

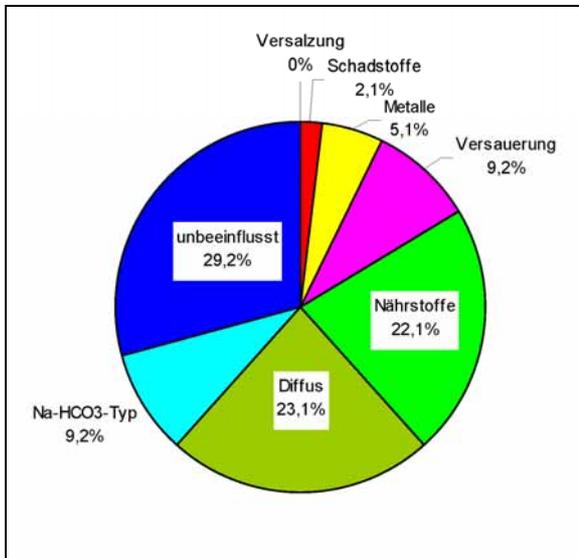
Die Ergebnisse sind in Abb. 4.7 und Tab. 4.7 dargestellt. Abb. 4.7 zeigt die Anteile der Beeinflussungstypen von 195 der 205 Messstellen des Grundmessnetzes. Zehn Messstellen konnten aufgrund zu heterogener Ergebnisse der einzelnen Analysen keinem Beeinflussungstyp zugeordnet werden. Diese Messstellen sind in Abb. 4.7 nicht berücksichtigt. Bei den Angaben in der Tab. 4.7 sind in der Spalte Anzahl und prozentualer Anteil jedoch die zehn Messstellen berücksichtigt, so dass die Angaben gegenüber Abb. 7 abweichen.

Dem Typ der Versalzung wurden keine Analysen zugewiesen. Messstellen, die eine geogene Versalzung aufweisen, sind dem Sondermessnetz „Geogene Versalzung“ zugeordnet (s. Kap. 2.8).

Bei 62 % der zugewiesenen Messstellen des Grundmessnetzes wurde eine Belastung festgestellt. Nur für 38 % der 195 Messstellen wurde keine anthropogene Beeinträchtigung (Typen: „unbeeinflusst“ und Na-HCO<sub>3</sub>) nachgewiesen.

Den Zusammenhang zwischen den Anteilen der ausgewiesenen Typen und den Tiefenbereichen, aus denen die Grundwasserproben entnommen wurden, zeigt Abb. 4.8. Erkennbar ist eine deutliche Abnahme der Anteile der als „beeinflusst“ bewerteten Messstellen mit zunehmender Tiefe. Bei oberflächennah ausgebauten Messstellen sind über 55 % nährstoff- bzw. diffus beeinflusst. Insgesamt 28 % der Messstellen aus diesem Tiefenbereich weisen eine Belastung durch Versauerung, Metalle und Schadstoffe auf. Nur 17 % sind unbeeinflusst. Die Beeinträchtigung des Grundwassers in diesem Tiefenbereich durch Metalle wird überwiegend aufgrund erhöhter Konzentrationen von Bor und Arsen hervorgerufen.

Die Typen „Versauerung“ und „Schadstoffe“ weisen ebenfalls einen deutlichen Bezug zur Tiefe auf. Es zeigt sich, dass die Versauerung bereits bis in den Bereich zwischen 20 und 50 Meter unter Gelände reicht. Umgekehrt nehmen die Ionenaustausch- und unbeeinflussten Messstellen mit zunehmender Tiefe deutlich zu. Ab 50 Meter Tiefe treten die anthropogen beeinflussten Messstellen deutlich zurück. Erhöhte Borgehalte in diesem Tiefenbereich führten zu der Ausweisung des Typs „Metalle“.



Tab. 4.7 Anzahl und Anteil der zugeordneten Messstellen pro Beeinflussungstyp

Beeinflussungstyp	Anzahl Messstellen zugeordnet	Anteil %
Versalzung	0	0
Schadstoffe	4	1,9
Metalle	10	4,9
Versauerung	18	8,8
Nährstoffe	43	21,0
Diffus	45	21,9
Na-HCO <sub>3</sub> -Typ	18	8,8
unbeeinflusst	57	27,8
nicht zuzuordnen	10	4,9

Abb. 4.7 Messstellenbezogene Anteile der Beeinflussungstypen

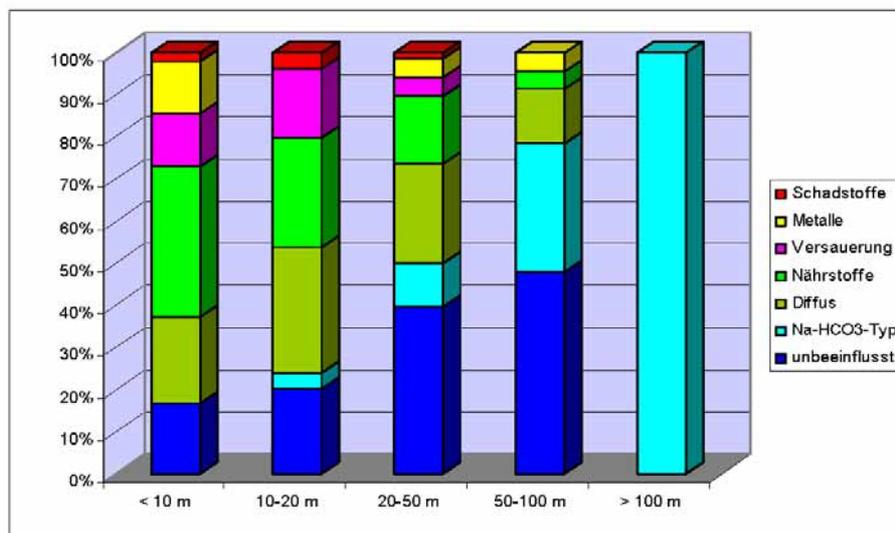


Abb. 4.8 Zusammenhang zwischen den Anteilen der ausgewiesenen Beeinflussungstypen und den Tiefenbereichen, aus denen die Grundwasserproben entnommen wurden

In Abb. 4.9 sind die den Messstellen zugewiesenen Beeinflussungstypen in ihrer regionalen Verteilung dargestellt. Bei Mehrfachmessstellen wurden nur die oberflächennächsten Messstellen berücksichtigt. Im südlichen bis südwestlichen Teil Brandenburgs treten Messstellen des Typs „Versauerung“ gehäuft auf. Nährstoff- und diffus beeinflusste Messstellen sind gleichmäßig über das Land Brandenburg verteilt.

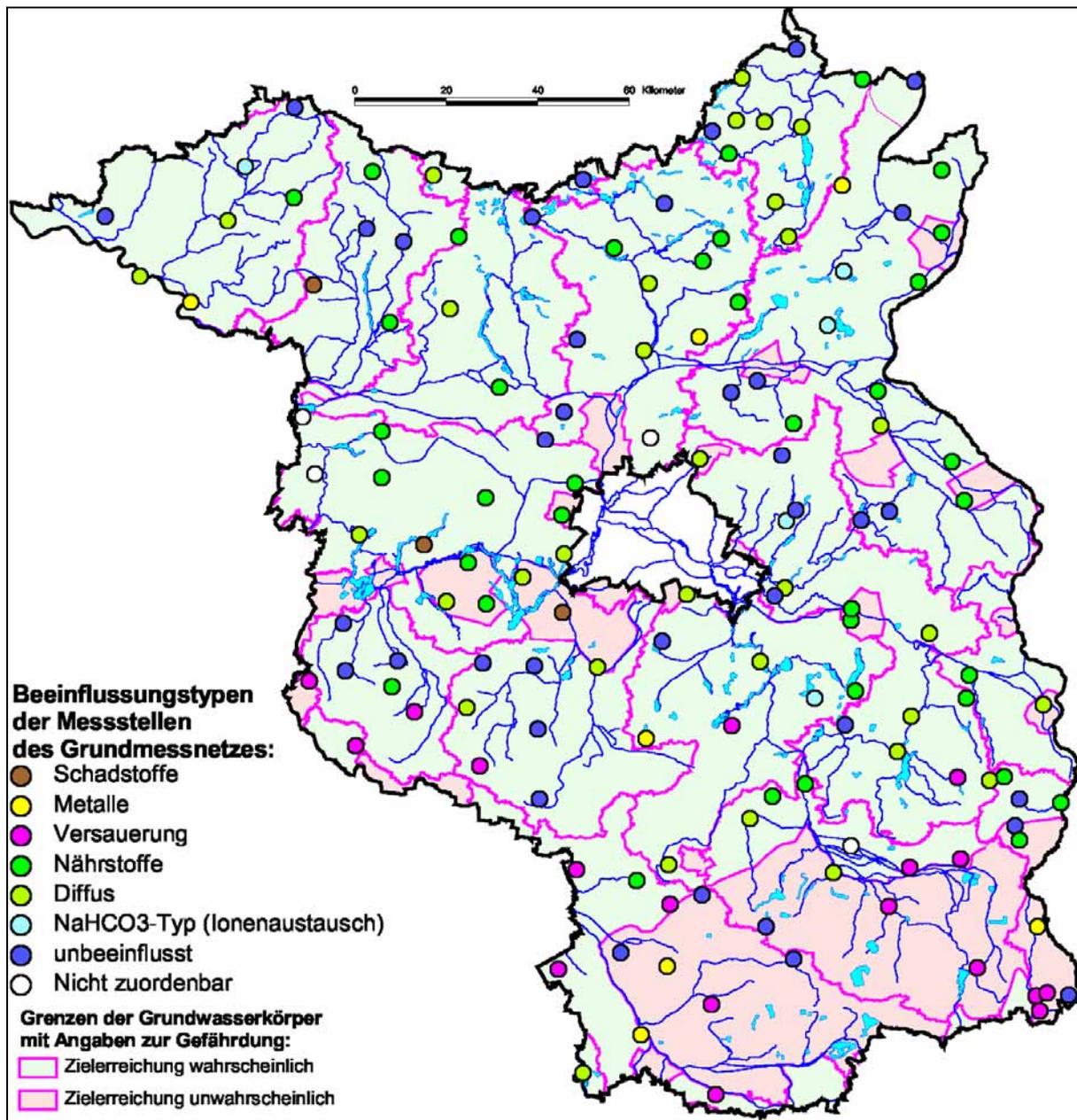


Abb. 4.9: Regionale Verteilung der ausgewiesenen Beeinflussungstypen

#### 4.5.3 Vergleich mit den Ergebnissen des Berichtes von 1995 bis 2000

Die Ausweisung der Beeinflussungstypen wurde gegenüber dem Beobachtungszeitraum 1995 bis 2000 neu definiert und die Schwellenwerte z.T. modifiziert. Außerdem hat sich die Datenbasis der Messstellen seit dem Jahr 2000 leicht verändert. Trotz dieser nicht uneingeschränkt vergleichbaren Datengrundlage kann festgestellt werden, dass der vor fünf Jahren konstatierte und in LUA (2002) dokumentierte Trend einer zunehmenden Belastung des Grundwassers in Brandenburg durch Stoffeinträge anhält.

Im Vergleich der in LUA (2002) dokumentierten Verteilung (dort Abb. 4.12) zeigt sich ein geringerer Anteil des unbeeinflussten Grundwassers (Summe „unbeeinflusst“ + „Natrium-Hydrogenkarbonat-Typ“) von 38 % (44 % in LUA 2002) und ein höherer Anteil des Nährstoff-Typs von 22 % (13 % in LUA 2002). Auch der Anteil des durch Versauerung beeinflussten Grundwassers ist von 5 auf 9 % angestiegen.

Bei 11 % der Messstellen, die im Untersuchungszeitraum 1995 bis 2000 noch als unbeeinflusst ausgewiesen wurden, ist nun eine diffuse Belastung festgestellt worden. Diese Belastung lässt sich auf eine Zunahme der Sulfatkonzentration in Durchflussgebieten zurückführen.

Neun Messstellen hingegen, die bisher den Typen „diffuse Beeinflussung“ oder „kommunale Abwässer“ zugeordnet waren, werden aktuell als unbeeinflusst ausgewiesen. An drei Messstellen lässt sich ein Sulfatrückgang in Neubildungs- bzw. Entlastungsgebieten verzeichnen. Bei den restlichen Messstellen wurden aufgrund der Modifikation von Schwellenwerten unterschiedliche Typen ausgewiesen: So wurde für den Zeitraum von 1995 bis 2000 für Bor ein Schwellenwert von 0,08 mg/l (LUA 2002) angewandt, während für die Analysen im aktuellen Zeitraum ein Schwellenwert von 0,188 mg/l zugrunde gelegt wurde.

Bei fünf Messstellen nahm der pH-Wert ab. Der höhere Anteil von Messstellen beim Beeinflussungstyp „Nährstoffe“ im aktuellen Beobachtungszeitraum gegenüber 1995 bis 2000 liegt überwiegend an der Modifikation des Schwellenwertes für Bor.

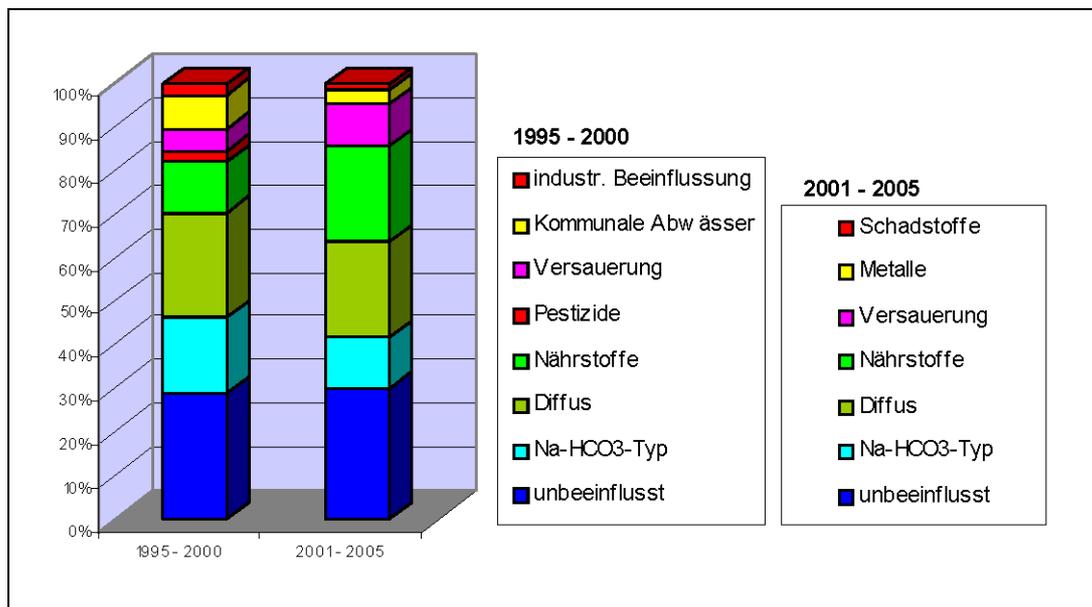


Abb. 4.10: Vergleich der Anteile der ausgewiesenen Beeinflussungstypen zwischen den Zeiträumen 1995 bis 2000 und 2001 bis 2005

## 5 Regionale Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit

### 5.1 Einteilung in parameterbezogene Konzentrationsbereiche

Für die 211 Messstellen des Grund- und Nitratmessnetzes wurden in Bezug auf 20 Parameter Konzentrationsbereiche ermittelt und Trendanalysen durchgeführt. Zuvor erfolgte pro Parameter eine fünfstufige Einteilung der Messwerte. Die Klassifizierung der Konzentrationsbereiche entspricht den Wertebereichen des Berichtes für den Zeitraum von 1995 bis 2000 (LUA 2002). Bei Nitrat wurden die Konzentrationsbereiche der Klassen neu definiert. In Tab. 5.1 sind die jeweiligen Konzentrationsbereiche dargestellt. Die farbigen Balken entsprechen der Farbgebung von den Bereichen in den parameterbezogenen Kartendarstellungen der nachfolgenden Abbildungen. Die Konzentrationsbereiche mit dem größten Anteil der Messstellen je Parameter sind in der Tabelle fett markiert.

Der einzustufende Wert wurde pro Parameter als arithmetischer Mittelwert aus der Frühjahrs- bzw. Herbstuntersuchungskampagne des letzten Messjahres (2005) berechnet. Fehlte im Frühjahr oder Herbst 2005 eine Analyse, wurde sie durch die entsprechende Analyse des Vorjahres kompensiert. Bei Mehrfachmessstellen wurden in den Karten die Konzentrationsklassen des jeweiligen oberflächennächsten Pegels (meist Oberpegel) dargestellt. Dagegen sind im Anhang 3 die Mittelwerte aller

Bei 11 % der Messstellen, die im Untersuchungszeitraum 1995 bis 2000 noch als unbeeinflusst ausgewiesen wurden, ist nun eine diffuse Belastung festgestellt worden. Diese Belastung lässt sich auf eine Zunahme der Sulfatkonzentration in Durchflussgebieten zurückführen.

Neun Messstellen hingegen, die bisher den Typen „diffuse Beeinflussung“ oder „kommunale Abwässer“ zugeordnet waren, werden aktuell als unbeeinflusst ausgewiesen. An drei Messstellen lässt sich ein Sulfatrückgang in Neubildungs- bzw. Entlastungsgebieten verzeichnen. Bei den restlichen Messstellen wurden aufgrund der Modifikation von Schwellenwerten unterschiedliche Typen ausgewiesen: So wurde für den Zeitraum von 1995 bis 2000 für Bor ein Schwellenwert von 0,08 mg/l (LUA 2002) angewandt, während für die Analysen im aktuellen Zeitraum ein Schwellenwert von 0,188 mg/l zugrunde gelegt wurde.

Bei fünf Messstellen nahm der pH-Wert ab. Der höhere Anteil von Messstellen beim Beeinflussungstyp „Nährstoffe“ im aktuellen Beobachtungszeitraum gegenüber 1995 bis 2000 liegt überwiegend an der Modifikation des Schwellenwertes für Bor.

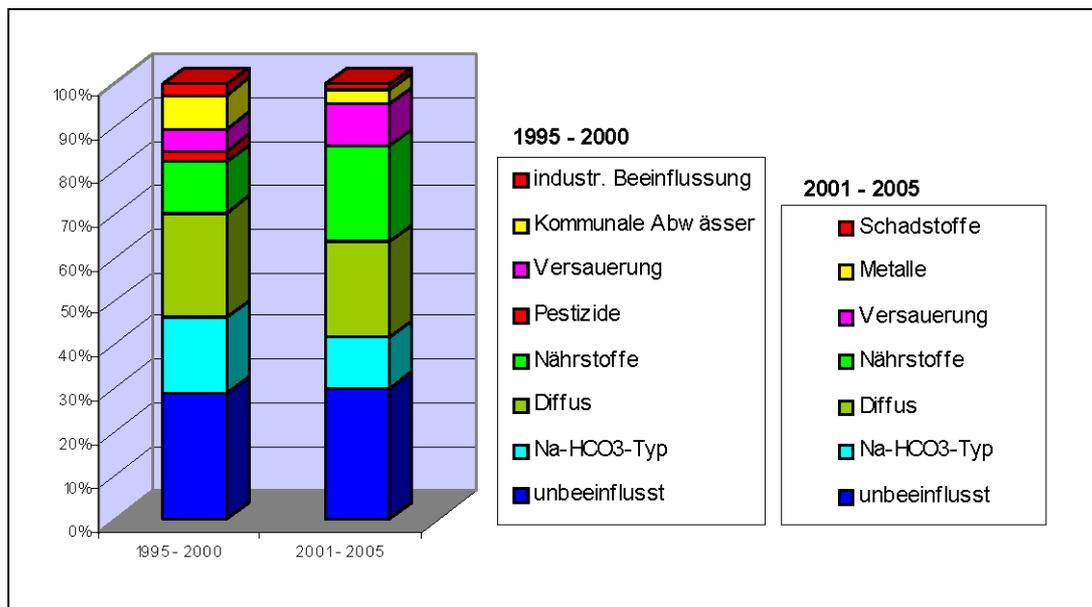


Abb. 4.10: Vergleich der Anteile der ausgewiesenen Beeinflussungstypen zwischen den Zeiträumen 1995 bis 2000 und 2001 bis 2005

## 5 Regionale Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit

### 5.1 Einteilung in parameterbezogene Konzentrationsbereiche

Für die 211 Messstellen des Grund- und Nitratmessnetzes wurden in Bezug auf 20 Parameter Konzentrationsbereiche ermittelt und Trendanalysen durchgeführt. Zuvor erfolgte pro Parameter eine fünfstufige Einteilung der Messwerte. Die Klassifizierung der Konzentrationsbereiche entspricht den Wertebereichen des Berichtes für den Zeitraum von 1995 bis 2000 (LUA 2002). Bei Nitrat wurden die Konzentrationsbereiche der Klassen neu definiert. In Tab. 5.1 sind die jeweiligen Konzentrationsbereiche dargestellt. Die farbigen Balken entsprechen der Farbgebung von den Bereichen in den parameterbezogenen Kartendarstellungen der nachfolgenden Abbildungen. Die Konzentrationsbereiche mit dem größten Anteil der Messstellen je Parameter sind in der Tabelle fett markiert.

Der einzustufende Wert wurde pro Parameter als arithmetischer Mittelwert aus der Frühjahrs- bzw. Herbstuntersuchungskampagne des letzten Messjahres (2005) berechnet. Fehlte im Frühjahr oder Herbst 2005 eine Analyse, wurde sie durch die entsprechende Analyse des Vorjahres kompensiert. Bei Mehrfachmessstellen wurden in den Karten die Konzentrationsklassen des jeweiligen oberflächennächsten Pegels (meist Oberpegel) dargestellt. Dagegen sind im Anhang 3 die Mittelwerte aller

Messstellen (einschließlich der Mittel- und Unterpegel) den Konzentrationsbereichen zugeordnet (Anhang 3.1) und ist die Summe der Messstellen pro Bereich (Anhang 3.2) angegeben worden.

**Tab. 5.1: Klassifizierung der Konzentrationen für die regionale Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit**

Parameter	Einheit	Konzentrationsbereiche				
		sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	< 250	250 - 500	<b>500 – 1.000</b>	1.000 - 2.000	> 2.000
gelöster Sauerstoff	mg/l	> 5	1 - 5	0,5 - 1	0,1 - 0,5	<b>&lt; 0,1</b>
Redoxpotenzial	mV	> 300	200 - 300	<b>100 - 200</b>	0 - 100	< 0
pH-Wert		> 8	7,5 - 8	<b>7 - 7,5</b>	6,5 - 7	< 6,5
TOC	mg/l	< 1	<b>1 - 2,5</b>	2,5 - 5	5 - 10	> 10
Hydrogenkarbonat	mg/l	< 50	50 - 150	<b>150 - 250</b>	250 - 400	> 400
Sulfat	mg/l	< 30	30 - 60	60 - 120	<b>120 - 240</b>	> 240
Chlorid	mg/l	< 10	<b>10 - 50</b>	50 - 100	100 - 250	> 250
Nitrat	mg/l	<b>&lt; 1</b>	1 - 10	10 - 25	25 - 50	> 50
Kalzium	mg/l	< 60	<b>60 - 120</b>	120 - 180	180 - 240	> 240
Magnesium	mg/l	<b>&lt; 10</b>	10 - 20	20 - 30	30 - 40	> 40
Natrium	mg/l	< 10	<b>10 - 15</b>	15 - 30	30 - 50	> 50
Kalium	mg/l	< 1	<b>1 - 4</b>	4 - 8	8 - 12	> 12
Ammonium	mg/l	< 0,1	<b>0,1 - 0,25</b>	0,25 - 0,5	0,5 - 2	> 2
ortho-Phosphat	mg/l	<b>&lt; 0,05</b>	0,05 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5
Bor	mg/l	< 0,01	<b>0,01 - 0,04</b>	0,04 - 0,08	0,08 - 0,2	> 0,2
Aluminium	µg/l	<b>&lt; 20</b>	20 - 50	50 - 100	100 - 200	> 200
Eisen gesamt	mg/l	< 0,1	0,1 - 0,15	0,15 - 0,2	0,2 - 0,5	<b>&gt; 0,5</b>
Mangan gesamt	mg/l	< 0,005	0,005 - 0,01	0,01 - 0,025	0,025 - 0,05	<b>&gt; 0,05</b>
Zink	µg/l	<b>&lt; 2</b>	2 - 10	10 - 100	100 - 500	> 500

## 5.2 Ermittlung zeitlicher Trends

Für die 20 Parameter wurden Trends für den Zeitraum seit Nutzungsbeginn der Messstellen ermittelt. Dazu wurde eine fünfstufige Klassifizierung mit den Stufen stark steigend, leicht steigend, stabil, leicht abnehmend und stark abnehmend genutzt. Die Stufen wurden zuvor (siehe Kapitel 5.2.1) definiert. Im Anhang 3.3 ist den fünf definierten Trendstufen die Anzahl der Messstellen pro Parameter zugeordnet worden.

### 5.2.1 Methodische Vorbemerkungen

Deutschlandweit liegt zur Ermittlung zeitlicher Konzentrationsschwankungen keine allgemeingültige Methode vor. Die gewählte Methodik wurde eng an den „Nitratbericht der Bundesrepublik Deutschland“ aus dem Jahr 2004 (BMUNR 2004) angelehnt.

Im Folgenden wurden neben den aktuellen Konzentrationen der 20 Parameter die zeitliche Entwicklung der Konzentrationen seit Nutzungsbeginn jeder Messstelle des Grund- bzw. Nitratmessnetzes ermittelt. Dazu wurden die statistischen Kennwerte der Parameter aus dem Fünfjahreszeitraum 1996 bis 2000 mit dem aktuellen Zeitraum 2001 bis 2005 verglichen. Somit stehen zum Vergleich zwei gleich große Zeiträume zur Verfügung.

Die Veränderungen der Konzentrationen zwischen den Zeiträumen wurden dann durch die Differenzen der statistischen Kennwerte ermittelt und der entsprechenden Trendstufe zugeordnet. Die Wahl des statistischen Kennwertes sollte auf die größtmögliche Anzahl der Messstellen anwendbar sein und die zwei jährlichen Messkampagnen gut repräsentieren. Dazu wurden vier statistische Kennwerte geprüft und die Veränderungen der Konzentrationen in den betrachteten Zeiträumen berechnet.

### 5.2.1 Messstellen- und parameterbezogene Ausweisung zeitlicher Trends

Als geeigneter statistischer Kennwert hat sich nach vergleichenden Untersuchungen der Median erwiesen. Alle Analysen seit 1996 wurden berücksichtigt und die größtmögliche Anzahl von Messstellen einbezogen. Je nach Parameter konnten 160 bis 180 der insgesamt 221 Messstellen des Grund- und Nitratmessnetzes mit dem vorherigen Zeitraum verglichen werden.

### 5.2.3 Definition der fünf Trendstufen

Die Definition der einzelnen Stufen erfolgte unter Berücksichtigung des 50- (Median) und des 75-Perzentils der Messwerte aus dem Zeitraum von 2001 bis 2005 und der Hintergrundwerte Brandenburgs (LUA 1996A). Für die erste Stufe (stabil) wurden 10 %, für die zweite Stufe (leicht steigend bzw. leicht abnehmend) 20 % der oben ermittelten Werte festgelegt (s. Tab. 5.2). Am Beispiel von Chlorid wird im Folgenden das Verfahren genauer erläutert: Der Hintergrundwert für Chlorid liegt bei etwa 40 mg/l. Dieser Gehalt liegt zwischen dem 50-Perzentil (26 mg/l) und dem 75-Perzentil (51 mg/l) der Messwerte aus dem aktuellen Beobachtungszeitraum (s. Anhang 1). 10 % vom Wert 40 mg/l wurden für die Stufe „stabil“ festgelegt. Somit umfasst diese Klasse Änderungen der Konzentrationen von -4 bis +4 mg/l. Für die Obergrenze der 2. Stufe (leicht steigend bzw. leicht abnehmend) ergibt sich mit 20 % des Hintergrundes die Spanne von 8 mg/l. Die Klasse „leicht steigend“ liegt damit zwischen 4 und 8 mg/l, die Klasse „leicht abnehmend“ zwischen -4 und -8 mg/l. Ergibt die Differenz der Mediane aus den Messwerten der Zeiträume 2001 bis 2005 und 1996 bis 2000 z.B. den Wert 5, so wird die Messstelle also der Klasse „leicht steigend“ zugeordnet.

Die Klassifizierung der Trendstufen für Nitrat wurde aus dem „Nitratbericht“ von Deutschland (BMUNR 2004) übernommen. Für den pH-Wert wurde im Gegensatz zu anderen Parametern die Änderung der Wasserstoffkonzentration um ein Vielfaches berechnet. Weist die Differenz des Medians einen Wert von -0,2 bzw. -0,5 auf, hat die Wasserstoffionenkonzentration um das 1,5-fache bzw. 3-fache zugenommen.

**Tab. 5.2: Klasseneinteilung der fünf Trendstufen für die untersuchten Parameter der Grundwasserbeschaffenheit**

Parameter	Einheit	stark abnehmend	leicht abnehmend	stabil	leicht steigend	stark steigend
elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	< -100	-100 – -50	-50 – 50	50 – 100	> 100
gelöster Sauerstoff	mg/l	< -0,1	-0,1 – -0,05	-0,05 – 0,05	0,05 – 0,1	> 0,1
Redoxpotenzial	mV	< -50	-50 – -25	-25 – 25	25 – 50	> 50
pH-Wert *		< -0,5	-0,5 – -0,2	-0,2 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5
TOC	mg/l	< -1	-1 – -0,5	-0,5 – 0,5	0,5 – 1	> 1
Hydrogenkarbonat	mg/l	< -50	-50 – -25	-25 – 25	25 – 50	> 50
Sulfat	mg/l	< -20	-20 – -10	-10 – 10	10 – 20	> 20
Chlorid	mg/l	< -8	-8 – -4	-4 – 4	4 – 8	> 8
Nitrat	mg/l	< -5	-5 – -1	-1 – 1	1 – 5	> 5
Kalzium	mg/l	< -20	-20 – -10	-10 – 10	10 – 20	> 20
Magnesium	mg/l	< -3	-3 – -1,5	-1,5 – 1,5	1,5 – 3	> 3
Natrium	mg/l	< -4	-4 – -2	-2 – 2	2 – 4	> 4
Kalium	mg/l	< -1	-1 – -0,5	-0,5 – 0,5	0,5 – 1	> 1
Ammonium	mg/l	< -0,1	-0,1 – -0,05	-0,05 – 0,05	0,05 – 0,1	> 0,1
Ortho-Phosphat	mg/l	< -0,1	-0,1 – -0,05	-0,05 – 0,05	0,05 – 0,1	> 0,1
Bor	mg/l	< -0,01	-0,01 – 0,005	-0,005 – 0,005	0,005 – 0,01	> 0,01
Aluminium	µg/l	< -10	-10 – -5	-5 – 5	5 – 10	> 10
Eisen	mg/l	< -0,6	-0,6 – -0,3	-0,3 – 0,3	0,3 – 0,6	> 0,6
Mangan	mg/l	< -0,05	-0,05 – -0,025	-0,025 – 0,025	0,025 – 0,05	> 0,05
Zink	µg/l	< -20	-20 – -10	-10 – 10	10 – 20	> 20

\* Eine Abnahme des pH-Wertes um 0,2 bedeutet eine Zunahme der Wasserstoffionenkonzentration um das 1,5-fache. Eine Abnahme um 0,5 bedeutet eine Zunahme der Wasserstoffkonzentration um das 3-fache.

## 5.3 Punktbezogene regionale Beschreibung innerhalb der Grundwasserkörper

In den folgenden Kartendarstellungen (Abb. 5.1 bis 5.13) wurden von den 20 Parametern 13 betrachtet, die anthropogene Beeinflussungen gut widerspiegeln und gegenüber der Hintergrundbelastung erhöhte (bzw. beim pH-Wert auch verringerte) Werte aufweisen. In den Karten wurden die Konzentrationsklassen des letzten Messjahres 2005 (siehe Kap. 5.1) und die Veränderungen der Messwerte aus dem Zeitraum von 2001 bis 2005 gegenüber dem Zeitraum von 1995 bis 2000 (siehe Kap. 5.2) dargestellt. Wurde eine Veränderung der Konzentration für einen Parameter an einer Messstelle ermittelt, ist dies durch einen dunkelgrauen Pfeil mit entsprechender Richtung wiedergegeben. Hat die Messstelle keinen Pfeil, ist die Konzentration an dieser Messstelle stabil. Messstellen, für die keine Veränderungen berechnet wurden, sind mit einem schwarzen Halbmond markiert. Bei Mehrfachmessstellen sind in den Kartendarstellungen nur die oberflächennächsten Messstellen berücksichtigt. Dadurch können 124 der 180 Messstellen für den regionalen Vergleich der Konzentrationen dargestellt werden. Bei den nachfolgenden Angaben wird immer auf die Gesamtanzahl der Messstellen Bezug genommen (bei Konzentrationsangaben meist 221 und bei Trendangaben meist 180 Messstellen).

### 5.3.1 Allgemeine Milieuparameter

#### Elektrische Leitfähigkeit (s. Abb. 5.1)

Die elektrische Leitfähigkeit 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 Wasser aus einem anderen Horizont. Die Messstelle Arendsee OP weist die höchste elektrische Leitfähigkeit mit über 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf. Diese Messstelle zeigte sich auch für die Parameter Chlorid und Hydrogencarbonat mit hohen Konzentrationen auffällig. Messstellen mit einer Leitfähigkeit zwischen 1.000 und 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  liegen überwiegend im nördlichen Teil Brandenburgs, besonders im Gebiet der Unteren Havel, westlich von Berlin. Auch die Messstellen des Nitratmessnetzes haben überwiegend Leitfähigkeiten zwischen 1.000 und 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf. Der größte Anteil der Messstellen (52 %) weist Leitfähigkeiten von 500 bis 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf.

Bei den Grundwasserkörpern (GWK) im Westen des Landes (Schwarze Elster, Buckau/Plane, Stepenitz/Löcknitz) liegt die Leitfähigkeit im Bereich zwischen 250 und 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sehr gering mineralisierte Grundwässer (< 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) finden sich vor allem in den altpleistozänen Grundwasserleitern Südbrandenburgs (z.B. im GWK Mittlere Spree).

Im Vergleich zum vorherigen Beobachtungszeitraum von 1995 bis 2000 zeigt die Leitfähigkeit für zwei Drittel der Messstellen keine Veränderung. 13 % der Messstellen weisen eine Zunahme auf, während sich bei 20 % eine Abnahme verzeichnen lässt. Messstellen, bei denen die Veränderung der Leitfähigkeit als „stark steigend“ klassifiziert wurde, befinden sich überwiegend im südlichen Teil Brandenburgs.

#### Gelöster Sauerstoff (s. Abb. 5.2)

Die Sauerstoffgehalte und Redoxpotenziale hängen von einer Vielzahl geogener und anthropogener Einflussfaktoren ab. Die bisher ermittelten geringen Sauerstoffgehalte im Grundwasser Brandenburgs (LUA 1996B, 1996C, 2002) bestätigen sich im Beobachtungszeitraum von 2001 bis 2005. Bei 83 % aller Messstellen beträgt die mittlere Sauerstoffkonzentration im Jahr 2005 maximal 0,5 mg/l (Abb. 5.2). In den Grundwasserkörpern im Westen Brandenburgs (Buckau/Plane) und deren angrenzenden Gebieten treten Sauerstoffgehalte über 1 mg/l, im GWK Dahme über 5 mg/l auf. Die Mehrzahl der Nitratmessstellen (ca. 62 %) zeigt mittlere Sauerstoffgehalte über 1 mg/l.

Im Vergleich zum Beobachtungszeitraum von 1996 bis 2000 ist der Sauerstoffgehalt im Grundwasser bei 58 % der Messstellen stabil. Sie verteilen sich überwiegend auf das westliche/nördliche Gebiet Brandenburgs von der Nuthe bis zur Oberen Havel.

Bei 17 % der Messstellen, überwiegend in Grundwasserkörpern im südlichen Brandenburg (Schwarze Elster, Mittlere Spree), aber auch im Nordosten (Alte Oder, Uecker), lassen sich abnehmende Tendenzen beobachten.

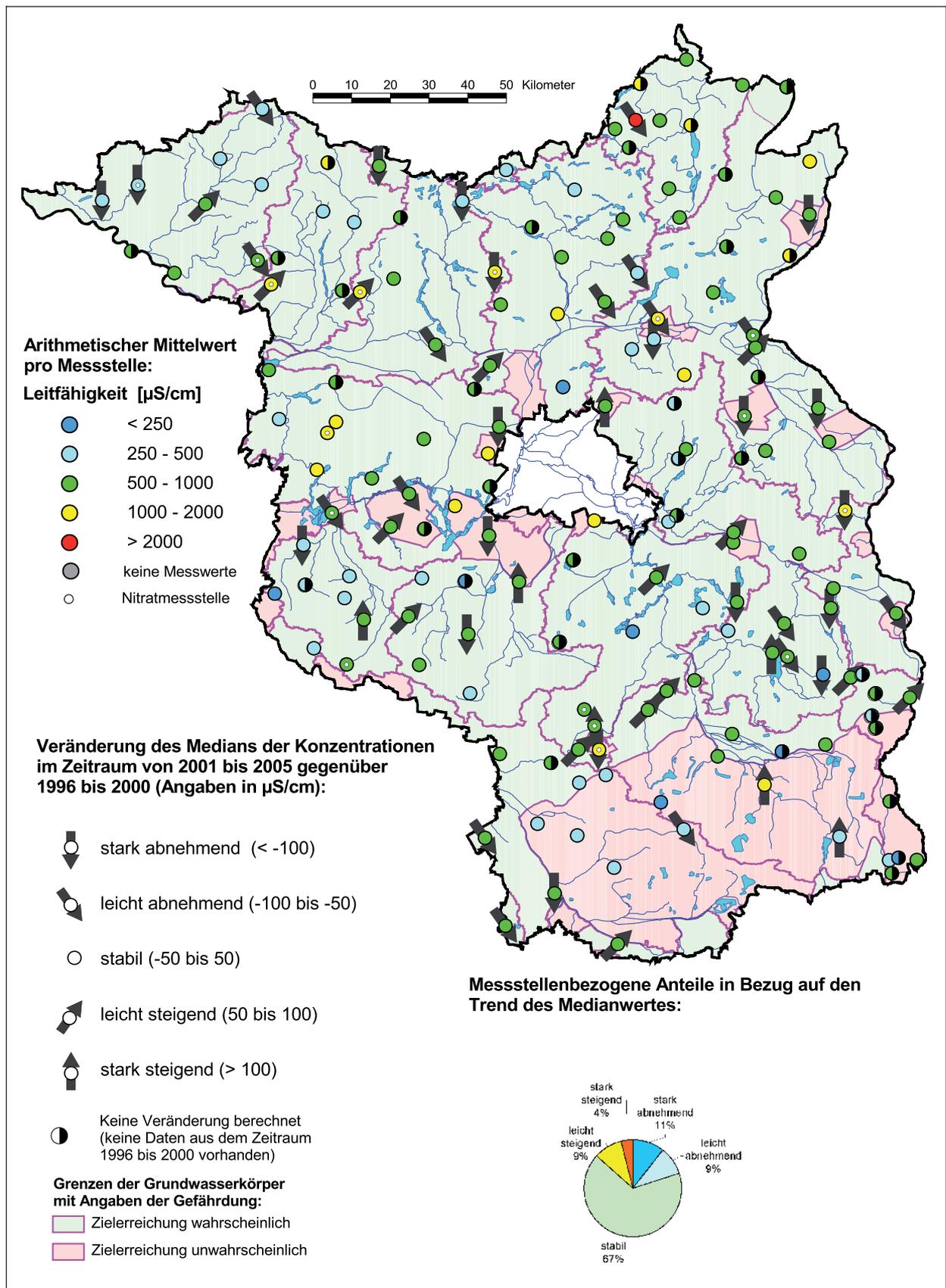


Abb. 5.1: Messstellenbezogene Angaben zur elektrischen Leitfähigkeit

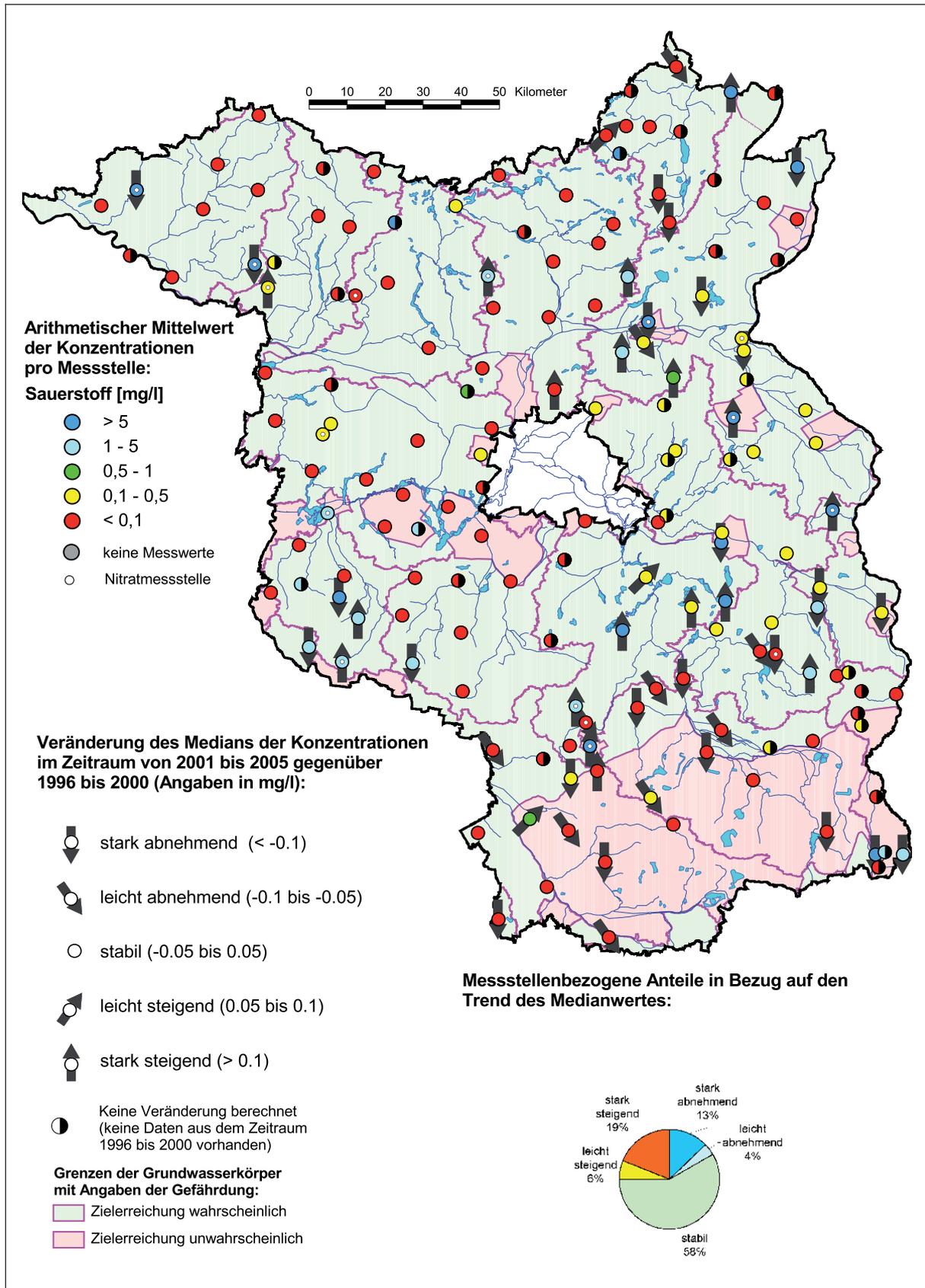


Abb. 5.2: Messstellenbezogene Angaben zu Sauerstoff

### **Redoxpotenzial (s. Abb. 5.3)**

Zur Berechnung des Redoxpotenzials werden zu der gemessenen Redoxspannung 200 mV addiert. Das Redoxpotenzial gibt Informationen über die Redoxbedingungen (reduzierendes oder oxidierendes Milieu) des Grundwassers. Geringe Redoxpotenziale liegen in der Regel zusammen mit niedrigen Sauerstoffkonzentrationen im Grundwasser vor und umgekehrt. Geringe Werte (< 100 mV) treten im gesamten Land Brandenburg verteilt auf (Abb. 5.3), besonders in den Grundwasserkörpern Stepenitz/Löcknitz im Nordwesten, der Unteren und Mittleren Spree sowie der Dahme. In Verbindung mit höheren Sauerstoffgehalten haben die Nitratmessstellen Redoxpotenziale über 300 mV.

Im Vergleich zu den Ergebnissen beim Sauerstoff erwiesen sich die Redoxpotenziale nur an 45 % der Messstellen als stabil. An 37 % der Messstellen ist eine Zunahme der Werte zu verzeichnen. Als Ursache für die zeitlich unterschiedlichen Sauerstoffgehalte und Redoxpotenziale kommen neben Stoffeinträgen auch Veränderungen der Grundwasseroberfläche in Frage (LUA 2002).

### **pH-Wert (s. Abb. 5.4)**

Der Reaktionsablauf vieler chemischer und biologischer Vorgänge wird durch den pH-Wert bestimmt. Viele dieser Vorgänge sind für ihren optimalen Ablauf 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 sieht die Einhaltung des Bereiches von 6,5 bis 9,5 vor. Dieser ist auch für das Leben der meisten Organismen günstig (LFW 1998).

Gemittelte Messwerte unterhalb von pH 6,5 (12 % der Messstellen) treten vor allem in den schlecht gepufferten, altpleistozänen und relativ stark ausgewaschenen Grundwasserleitern von Elbe-Urstromtal über Schwarze Elster und Mittlere Spree bis Lausitzer Neiße auf (s. Abb. 5.4). Aber auch in den Höhenlagen des Flämings (GWK Südfläming und Elbtal, Burg-Ziesauer Fläming und Plane-Buckau) liegen die pH-Werte oftmals unter 6,5, während in Nordbrandenburg das oberflächennahe Grundwasser meist Werte um 7,0 oder darüber aufweist. Nur an zwei Nitratmessstellen im GWK Stepenitz-Löcknitz treten Werte unter 6,5 auf.

Im Vergleich zum Zeitraum 1996 bis 2000 zeigt sich eine weitere Abnahme der pH-Werte im südlichen Teil Brandenburgs (GWK Elbe-Urstromtal, Schwarze Elster, Mittlere Spree), während die pH-Werte des Grundwassers in Nordbrandenburg überwiegend keine Veränderung aufweisen. Ausnahmen bilden zwei Nitratmessstellen nordwestlich im GWK Dosse/Jäglitz. Dort zeigt sich eine leicht abnehmende Tendenz.

### **TOC (s. Abb. 5.5)**

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 bei vorhandenem Sauerstoff relativ rasch zersetzt. Gelöste organische Stoffe sind oft Ursache von Wasserfärbungen 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 die Messgröße TOC, der neben den gelösten auch nicht gelöste organische Kohlenstoffverbindungen erfasst. Sehr hohe Messwerte (> 10 mg/l) zeigen sich im oberflächennahen Grundwasser von Entlastungsgebieten (siehe Kap. 4.3) mit einem erhöhten Angebot organischer Substanzen (Torf) und bei anthropogen verunreinigten Messstellen des oberflächennahen Grundwassers (Alte Oder). Erhöhte Messwerte im Bereich zwischen 5 bis 10 mg/l treten verstreut in Brandenburg auf. Werte unter der Bestimmungsgrenze wurden überwiegend in Neubildungsgebieten im westlichen Brandenburg (GWK Buckau/Plane, Ehle/Nuthe) nachgewiesen.

Im Vergleich zum Bericht von 1996 bis 2000 zeigt sich bei der Mehrzahl der Messstellen (49 %), besonders in den nördlichen bis westlichen Grundwasserkörpern von Oberer Havel über Stepenitz/Löcknitz bis zur Nuthe, eine Reduzierung der TOC-Gehalte. Dagegen nehmen im südöstlichen Bereich (Schwarze Elster, Mittlere Spree) die TOC-Konzentrationen im Grundwasser zu.

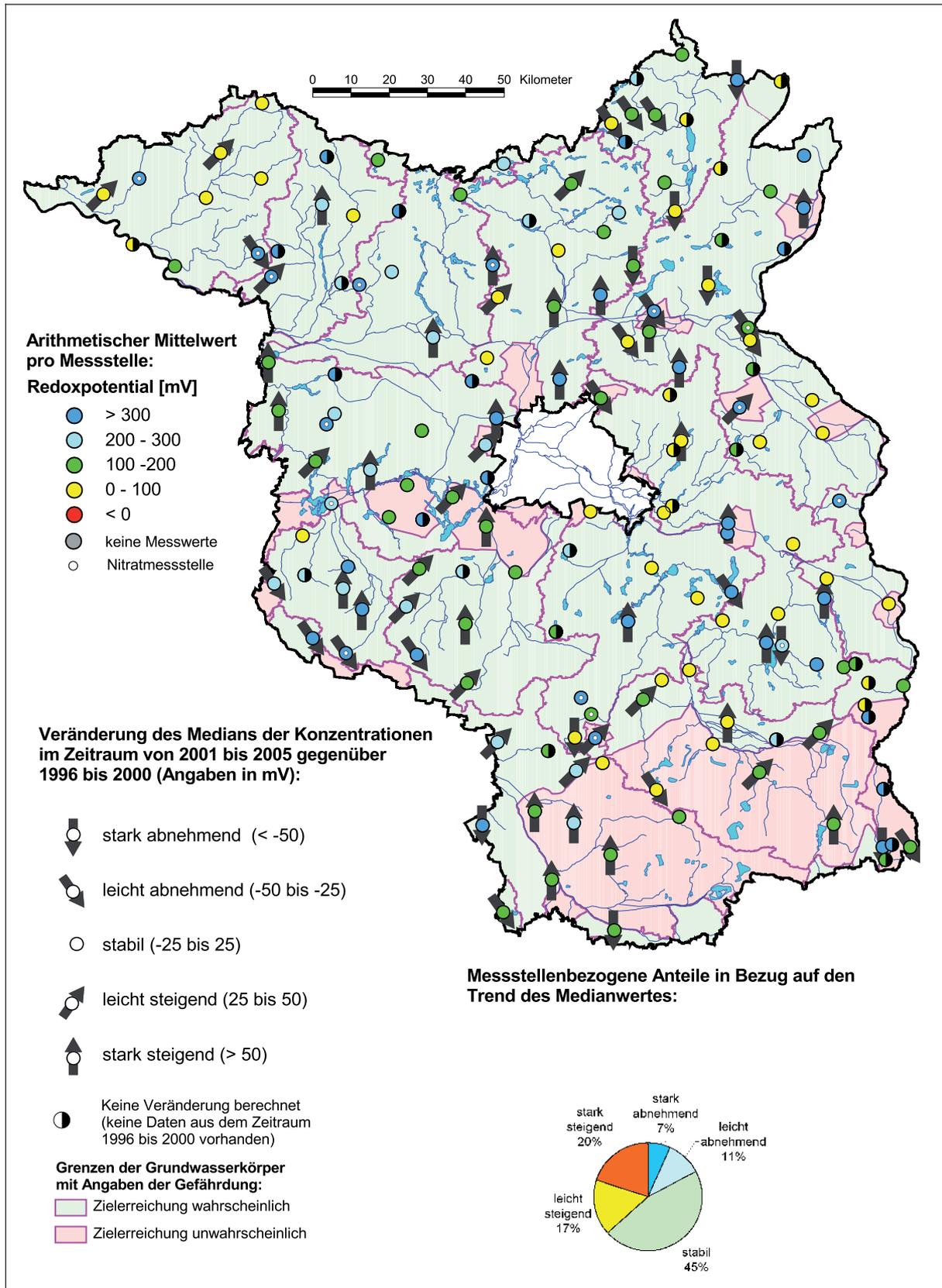


Abb. 5.3: Messstellenbezogene Angaben zum Redoxpotenzial

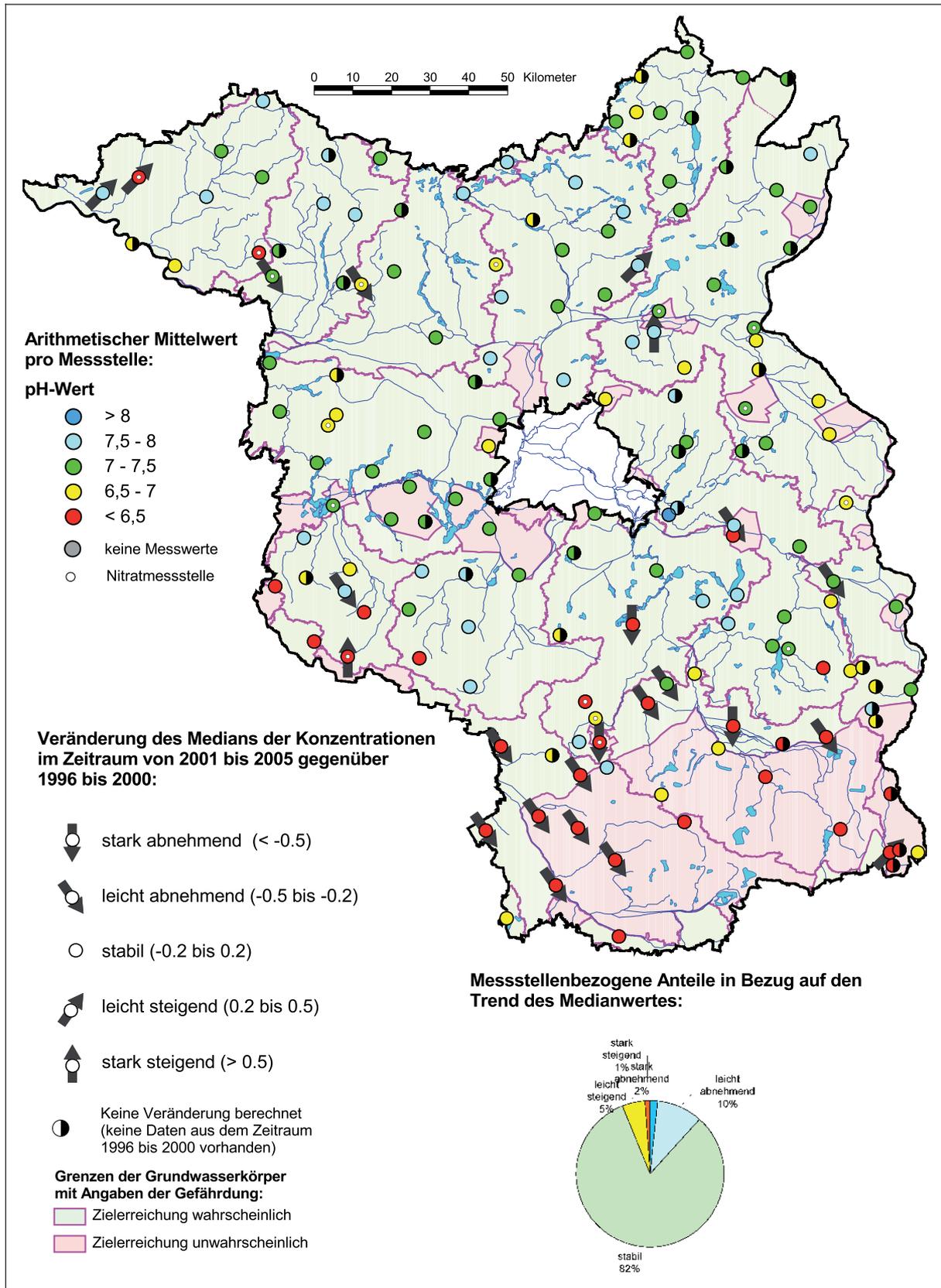


Abb. 5.4: Messstellenbezogene Angaben zum pH-Wert

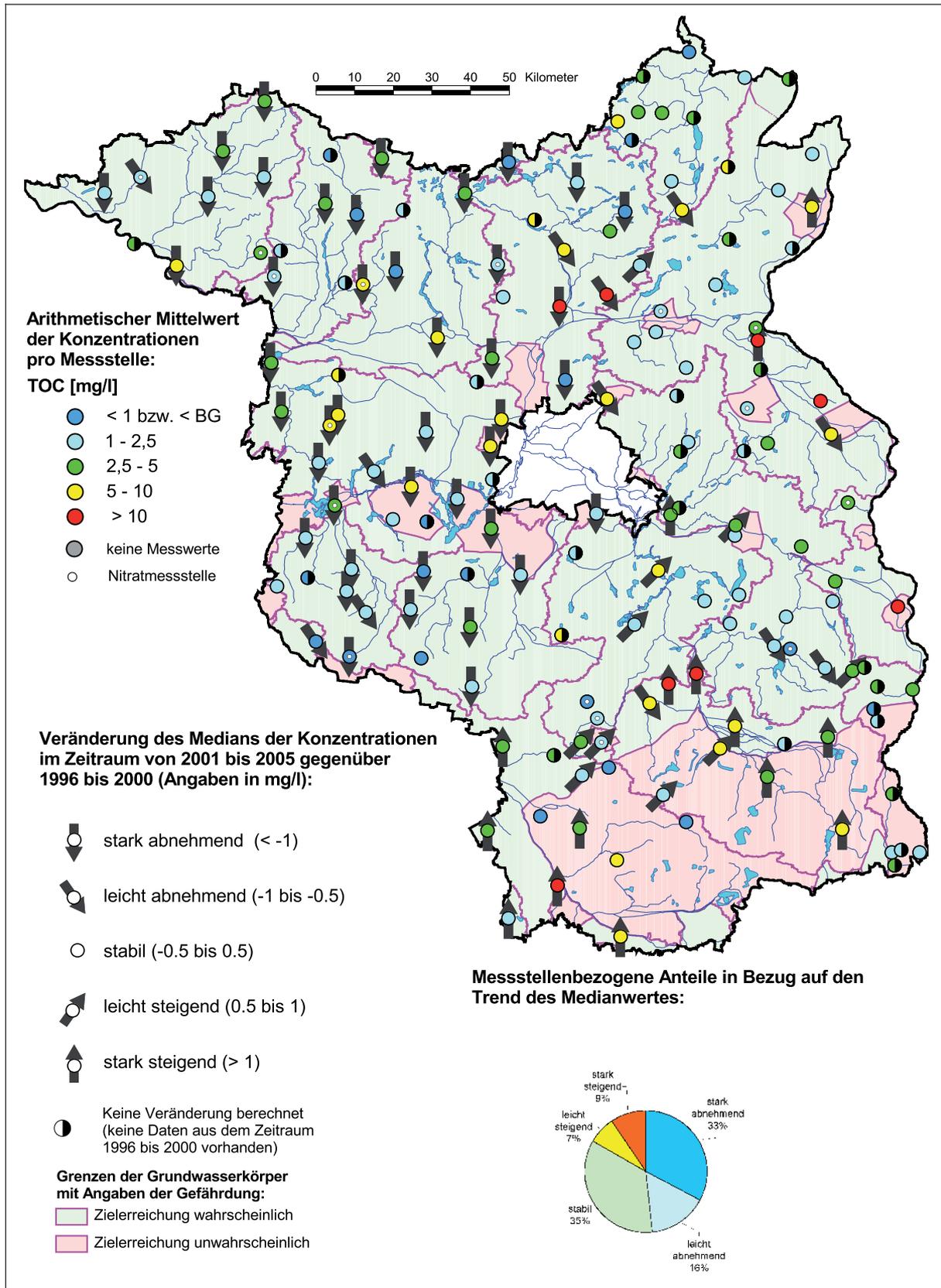


Abb. 5.5: Messstellenbezogene Angaben zu TOC

### 5.3.2 Hauptinhaltsstoffe

#### **Sulfat (s. Abb. 5.6)**

Sulfat ist ein gut wasserlöslicher Gesteinsbestandteil und wird relativ schnell ausgewaschen. Der geogene Hintergrund 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 s. LBGR 2002). Huminstoffhaltige Grundwässer im Kontakt mit überlagernden Torfen und Mooren, aus denen Sulfat im Frühjahr bei der Mineralisierung organischer Substanzen in Niederungen ausgewaschen werden kann, haben ebenfalls z.T. sehr hohe Sulfatgehalte.

Anthropogen bedingt können erhöhte Sulfatwerte infolge landwirtschaftlicher Düngung (sowohl direkt als auch indirekt über mikrobiell gesteuerten Nitratabbau), aufgrund von Sickerwasserzutritten aus Deponien, durch Abwassereinflüsse, durch den Einsatz von PSM, durch Pyritverwitterung in offenen Tagebauen oder durch Deposition von Sulfat aus der Atmosphäre infolge der Verbrennung fossiler Brennstoffe auftreten. Der Grenzwert für Sulfat in der TrinkwV ist 240 mg/l.

Bei 12 % der Messstellen des Grund- und Nitratmessnetzes liegt der Mittelwert der Frühjahrs- und Herbstuntersuchungskampagne 2005 für Sulfat über dem Grenzwert der TrinkwV. Messstellen mit Grenzwertüberschreitungen befinden sich vor allem an der Unteren Havel um Potsdam, an der Dahme, im Süden Brandenburgs sowie im Nordosten im Gebiet der Ücker. Viele Messstellen (28 %) liegen im Konzentrationsbereich zwischen 120 und 240 mg/l und damit über dem Hintergrundwert Brandenburgs.

Im Vergleich zum Zeitraum von 1996 bis 2000 zeigt die Sulfatkonzentration bei mehr als der Hälfte der Messstellen (53 %) keine Veränderung, während bei 28 % eine Zunahme zu verzeichnen ist. Stark steigende Konzentrationen (17 % der Messstellen) treten überwiegend im westlichen Teil Brandenburgs (GWK Nuthe, Untere Havel), aber auch in den anderen Landesteilen verteilt auf (z.B. im GWK Alte Oder). Fast alle diese Messstellen haben Sulfatgehalte über 120 mg/l.

#### **Chlorid (s. Abb. 5.7)**

Stark erhöhte Chloridgehalte im Grundwasser, die nicht geogen durch aufsteigende versalzene Tiefenwässer bedingt sind, können durch punktuelle Abwassereinleitungen, Belastungen aus Deponien sowie den Einsatz von Düngemitteln, bei denen Chlorid ein Nebenbestandteil ist, verursacht werden. Der Grenzwert der TrinkwV für das sich im Grundwasser als idealer Tracer verhaltende Chlorid beträgt 250 mg/l. Geogen versalzene Grundwässer überschreiten diesen Wert erheblich.

Chloridkonzentrationen über 100 mg/l treten nur vereinzelt, vor allem im Grundwasser im Norden Brandenburgs auf (Abb. 5.7). Nur an einer Messstelle (Wernikow OP, GWK Dosse/Jäglitz im Nordwesten Brandenburgs) tritt eine mittlere Konzentration über 250 mg/l auf. Bei dem größten Teil der Messstellen (62 %) liegt der Bereich der Chloridgehalte zwischen 10 und 50 mg/l.

Gehalte über 50 mg/l (dieser Wert gilt als Hintergrund in Brandenburg) treten verstreut bei knapp einem Viertel der Messstellen im oberflächennahen Grundwasser auf (z.B. GWK Untere Havel, Mittlere Spree, Alte Oder).

Im Vergleich zum vorherigen Beobachtungszeitraum sind an 60 % der Messstellen keine Veränderungen zu beobachten. Bei jeweils 20 % der Messstellen lassen sich die Chloridkonzentrationen als abnehmend bzw. zunehmend einstufen. Messstellen mit stark steigenden Konzentrationen sind über das ganze Land verteilt.

#### **Nitrat (s. Abb. 5.8)**

Nitrat ist seit Jahren im Grundwasser Deutschlands ein Problemstoff. Als Folge der landwirtschaftlichen Bodennutzung und einer langjährigen und noch laufenden Überdüngung tritt ein ständiger Überschuss an Nitrat im Untergrund auf. In den sandigen Böden Brandenburgs wird es jedoch mikrobiell zumeist rasch aufgebraucht bzw. umgewandelt, so dass zumeist kein oder nur sehr wenig Nitrat im Grundwasser auftritt. Dennoch wird der Grenzwert der TrinkwV von 50 mg/l an 9 % aller Messstellen überschritten (Abb. 5.8). Davon liegen neun Messstellen im Grundmessnetz überwiegend südöstlich von Berlin, aber auch über das gesamte Land verteilt (GWK Dahme, Alte Oder,

Dosse/Jäglitz, Rhin). An insgesamt 14 % der Messstellen überschreitet die mittlere Nitratkonzentration 25 mg/l. Die überwiegende Anzahl der Gehalte an den Messstellen liegt jedoch < 1 mg/l (74 %).

Im Vergleich zur Untersuchung in der vorherigen Berichtsperiode erwiesen sich bei 77 % der Messstellen die Konzentrationen als stabil. Dies betrifft überwiegend Messstellen, an denen geringe Nitratkonzentrationen ermittelt wurden.

Etwa 8 % der Messstellen, verteilt auf das ganze Land Brandenburg, weist eine stark steigende Tendenz auf. Dies zeigt sich vor allem bei Standorten mit einer mittleren Konzentration über 25 mg/l im Jahr 2005. Dabei handelt es sich überwiegend um Messstellen des Grundmessnetzes. An zehn von 16 Messstellen des Nitratmessnetzes ist eine stark abnehmende Nitratkonzentration zu verzeichnen. Dennoch weisen sechs dieser zehn Messstellen 2005 mittlere Nitratkonzentrationen über 50 mg/l auf.

### **Kalium (s. Abb. 5.9)**

Kalium ist ein Alkalimetall und genau wie Natrium sehr reaktionsfähig. Natürliche Konzentrationen erreichen in der Regel nur wenige mg/l. In Brandenburg bewegen sich die Hintergrundwerte bis etwa 3 mg/l (LUA 1996B). Außer durch die Verwitterung silikatischer Gesteine wird Kalium ständig durch die Mineralisation von totem pflanzlichem Material dem Boden zugeführt. Liegt Kalium in höheren Konzentrationen als Natrium vor, so weist dies auf geogen bedingten Ionenaustausch oder auf fäkale Verunreinigungen hin. Aber auch die landwirtschaftliche Düngung kann zu hohen Werten führen.

Hohe Kaliumgehalte sind im Landesmessnetz für viele Messstellen charakteristisch. Bei 11 % der Messstellen, verstreut über viele GWK (z.B. Elbe-Urstromtal, Untere Havel, Stepenitz/Löcknitz), liegen die mittleren Konzentrationen über dem ehemaligen Grenzwert der TrinkwV von 12 mg/l. Der natürliche Hintergrundwert wird bei etwa der Hälfte der Messstellen überschritten. Messstellen mit einem geogenen Salzzufluss aus dem Untergrund gehören dem Sondermessnetz „Geogene Versalzung“ (Kapitel 2.8) an und werden hier nicht bewertet. Kalium ist einer der Problemstoffe im oberflächennahen Grundwasser Brandenburgs.

Bei 70 % der Messstellen blieb der Kaliumgehalt gegenüber dem Zeitraum von 1996 bis 2000 konstant. Eine Zunahme der Konzentrationen im Vergleich zum vorherigen Beobachtungszeitraum lässt sich bei 11 % der Messstellen konstatieren, die über das ganze Land verteilt sind. Im Grundwasserkörper Dosse/Jäglitz im Nordwesten Brandenburgs zeigt die Mehrzahl der Messstellen einen Anstieg der Kaliumgehalte. Die größte Zunahme mit ca. 15 mg/l gegenüber dem vorherigen Zeitraum hat die Messstelle Schönwalde im Gebiet der Mittleren Spree. Bei Messstellen mit sehr hohen Konzentrationen tritt teilweise eine starke Abnahme der Werte auf. Ihre mittleren Konzentrationen liegen im Jahr 2005 jedoch immer noch über 12 mg/l. So wird an der Messstelle Bad Liebenwerda im Grundwasserkörper Elbe-Urstromtal ein Rückgang des Gehaltes im Median um 60 mg/l beobachtet. Im Jahr 2005 beträgt aber die mittlere Konzentration noch immer 58 mg/l.

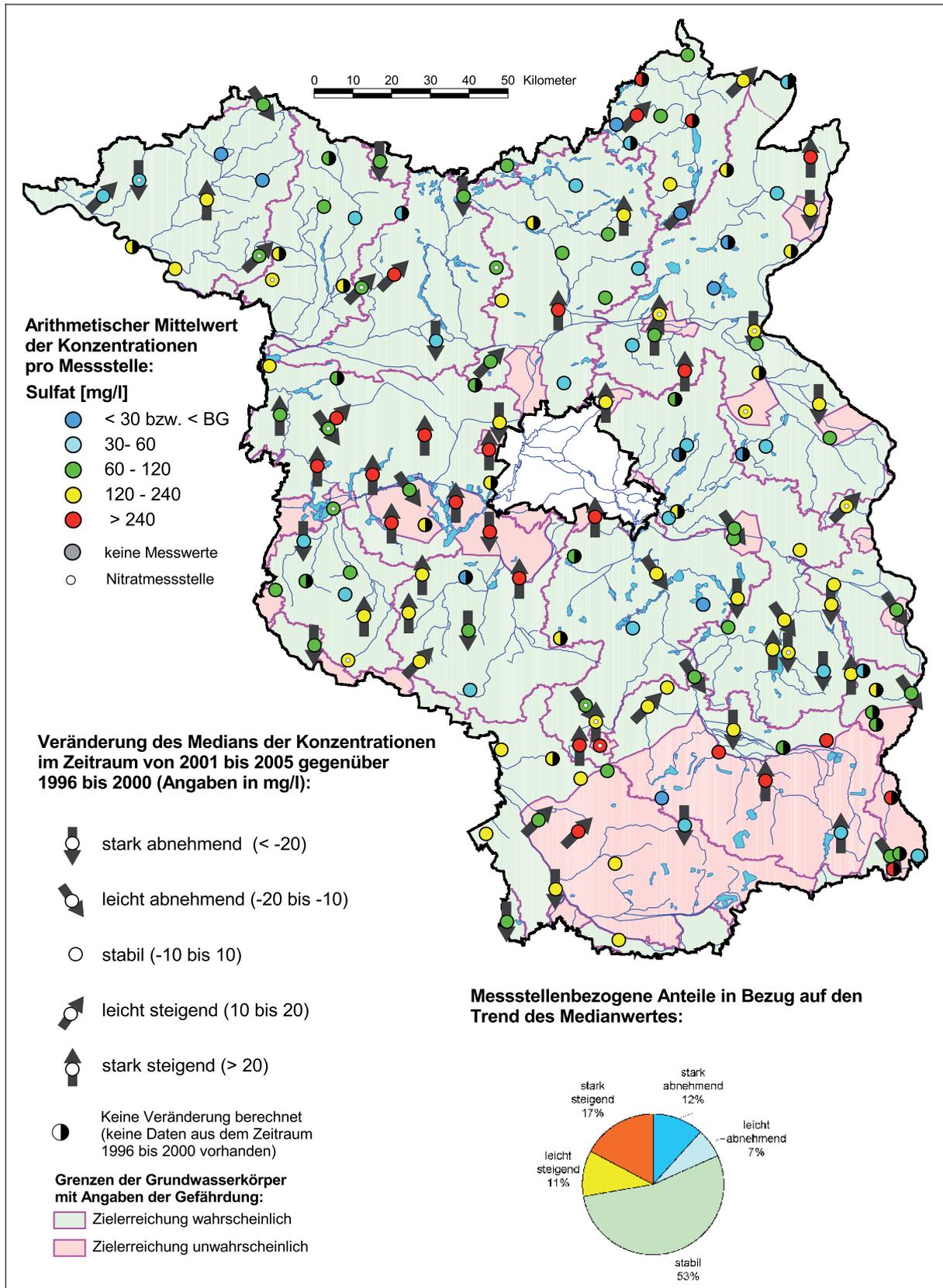


Abb. 5.6: Messstellenbezogene Angaben zu Sulfat

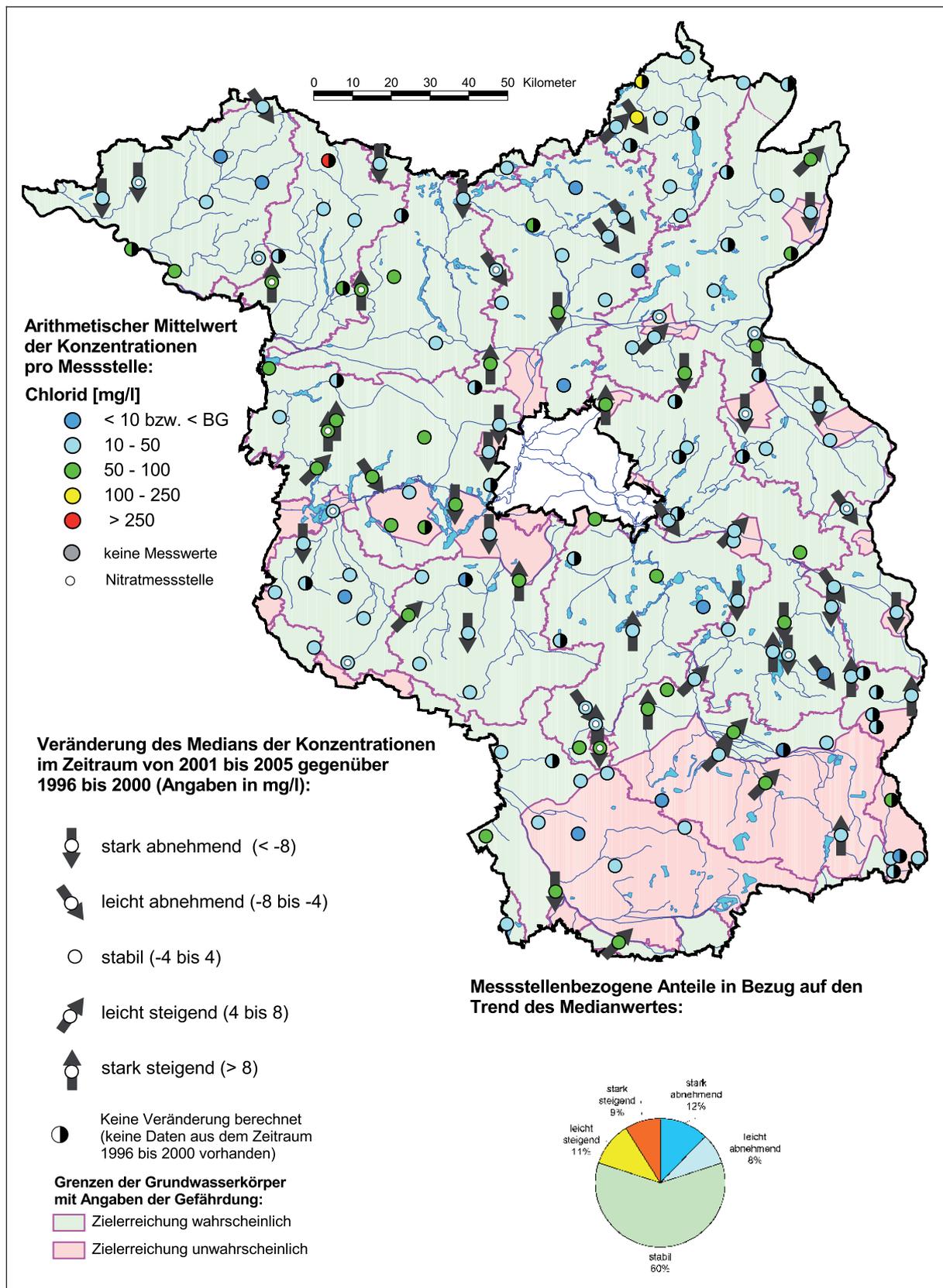


Abb. 5.7: Messstellenbezogene Angaben zu Chlorid

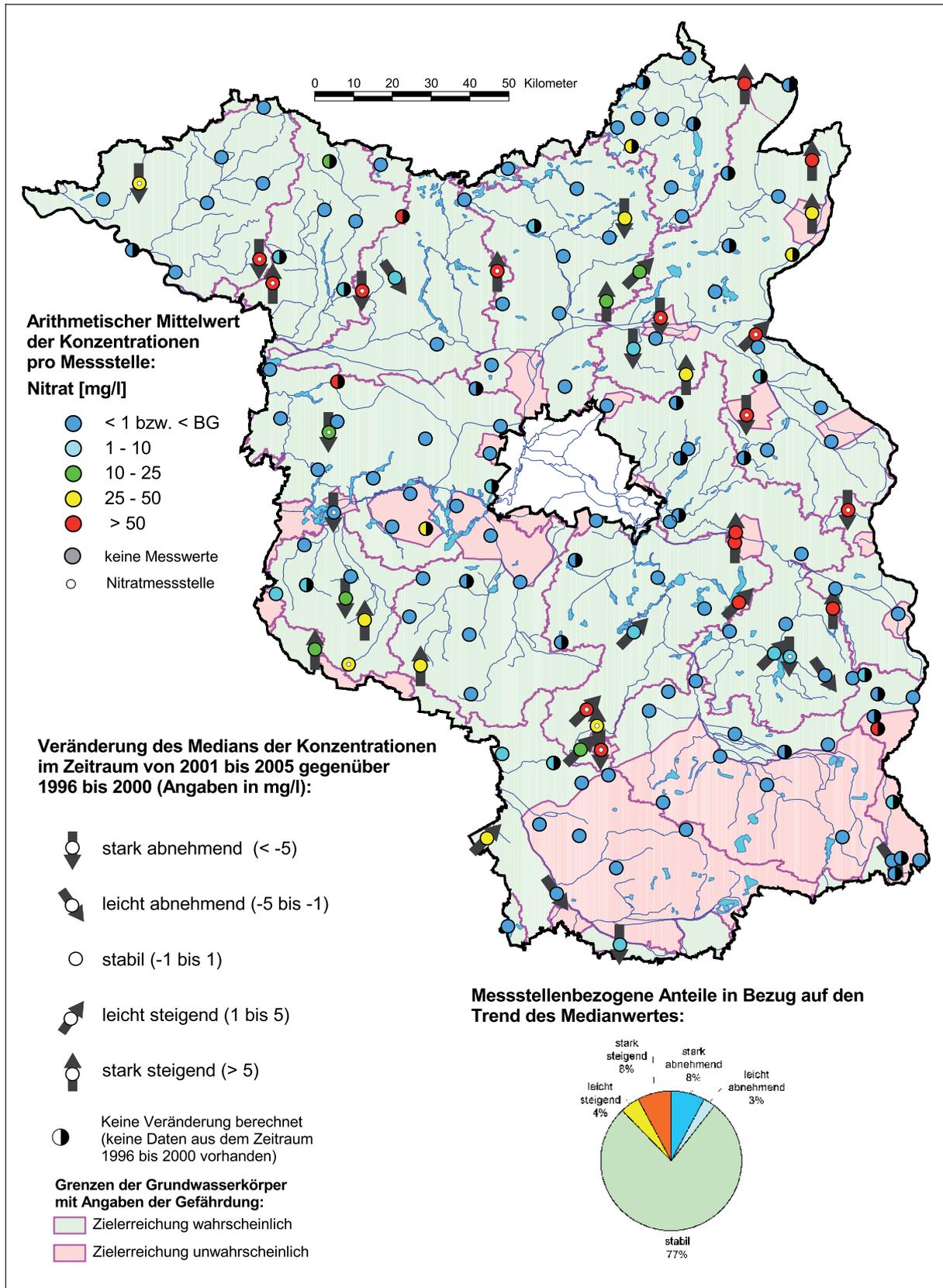


Abb. 5.8: Messstellenbezogene Angaben zu Nitrat

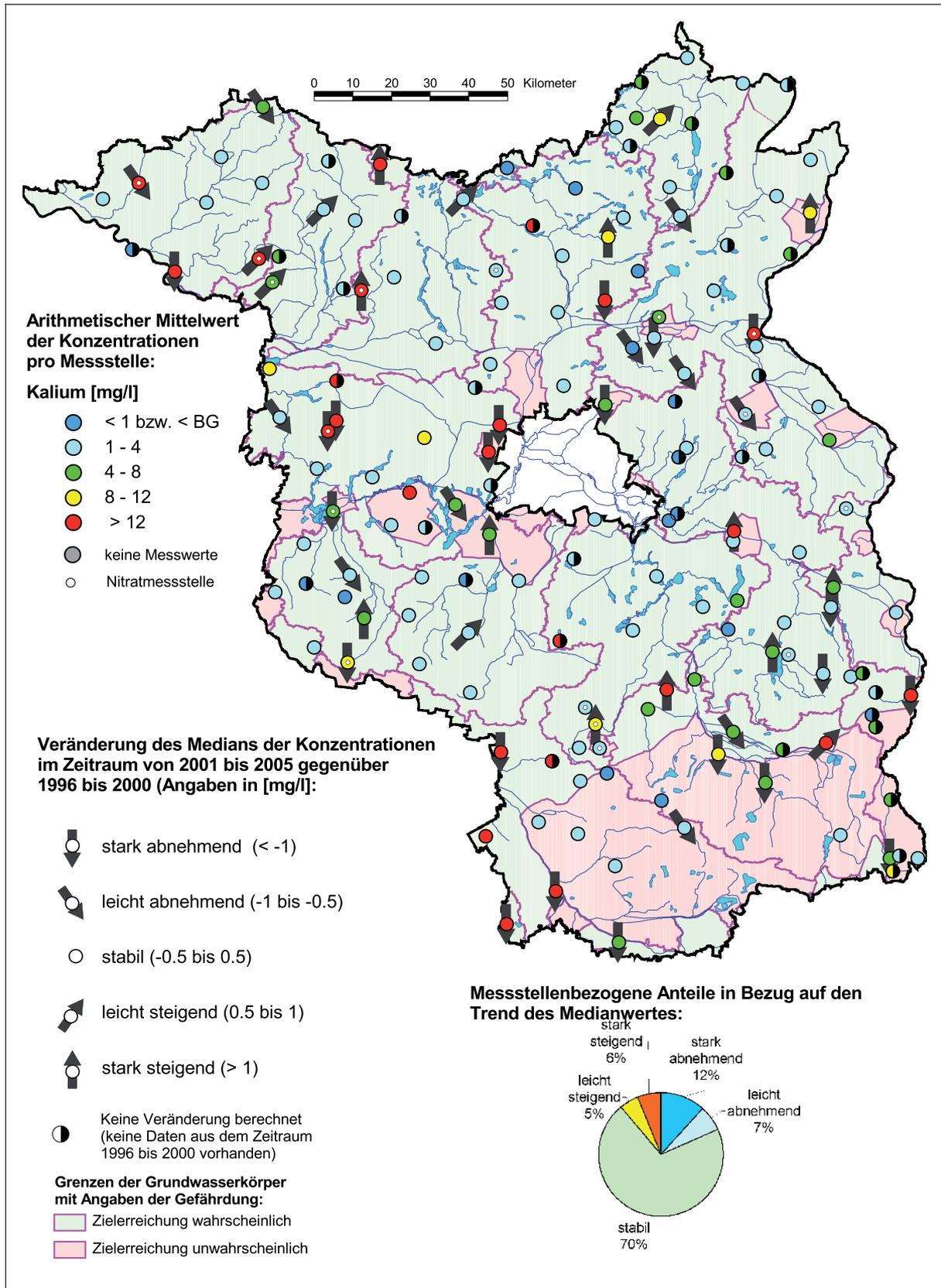


Abb. 5.9: Messstellenbezogene Angaben zu Kalium

### 5.3.3 Nebeninhaltsstoffe und Spurenelemente

#### **Ammonium (s. Abb. 5.10)**

Ammonium weist in den oberflächennahen Grundwässern Brandenburgs oftmals (bei 26 % der Messstellen) Konzentrationen auf, die höher als der Grenzwert der TrinkwV von 0,5 mg/l liegen. Dieser Gehalt gilt auch als Obergrenze des natürlichen Hintergrundes (entlastende Tiefenwässer können Werte von fast 1 mg/l erreichen). Der Grund für das Auftreten in diesen hohen Konzentrationen sind die oftmals reduzierenden Milieubedingungen in den feinkörnigen quartären Grundwasserleitern. Darüber hinaus führen auch die Einflüsse geogener Versalzung oder anthropogener Verunreinigungen (Fäkalien, Abwasser) zu erhöhten Gehalten.

Besonders häufig liegt Ammonium erhöht in den Niederungsbereichen mit reduzierenden (anoxischen) Grundwasserverhältnissen vor (s. Kapitel 4.3, z.B. Alte Oder oder Mittlere Spree). Als Quelle der erhöhten Ammoniumgehalte kommt bei entsprechend anmoorigen Auflagen Torf in Frage, aus dem gebundener Stickstoff periodisch ausgetragen werden kann. Aber auch in Durchflussgebieten, wie z.B. beim GWK Ücker oder im nördlichen Teil des GWK Alte Oder, weist das Grundwasser Gehalte über dem Grenzwert auf.

In den ausgeprägten Neubildungsgebieten hingegen liegen die Messwerte unter 0,25 mg/l. Im Vergleich zum vorherigen Beobachtungszeitraum wurden an 53 % der Messstellen keine Veränderungen der Konzentrationen festgestellt. Bei 21 % der Messstellen wurde die Konzentrationsänderung dagegen als stark steigend eingestuft. Sie befinden sich überwiegend im südlichen Teil Brandenburgs (von Elbe-Urstromtal über Mittlere bis Untere Spree).

#### **Ortho-Phosphat (s. Abb. 5.11)**

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, die meist durch anthropogene Beeinträchtigungen hervorgerufen werden. Diese sind vor allem für das Oberflächenwasser in Brandenburg problematisch, da hier typische rückgestaute Fließgewässer mit Phytoplanktonbildung existieren. Für Oberflächengewässer gilt in Deutschland als Grenzwert für die Güteklasse II 0,15 mg/l Gesamtposphor (LAWA 2007), was etwa 0,45 mg/l Phosphat entspricht. Der bis Ende 2002 gültige Grenzwert der TrinkwV war 6,7 mg/l Phosphat-P. Dieser heute nicht mehr gültige Grenzwert diente lediglich als Vorgabe für die Härtestabilisierung sowie den Korrosionsschutz in Trinkwasserleitungen und hatte keine ökologische bzw. hydrogeologische Relevanz.

Bei 59 % der Messstellen liegen im Jahr 2005 die mittleren Konzentrationen von Ortho-Phosphat unter 0,05 mg/l (Abb. 5.15). Erhöhte Gehalte über 0,2 mg/l (10 % der Messstellen) treten über Brandenburg verteilt auf. Messstellen mit einer Konzentration über 0,5 mg/l gehören teilweise zum Nitratmessnetz. Im Grundmessnetz lassen sich Konzentrationen in diesem Bereich nur an zwei Messstellen nachweisen. Am Oberpegel in Groß Schönebeck im Gebiet der Oberen Havel werden zudem auch erhöhte Werte für Kalium und Ammonium nachgewiesen.

Bei den Phosphatgehalten lässt sich an insgesamt 20 % der Messstellen ein starker Rückgang gegenüber dem vorherigen Beobachtungszeitraum konstatieren, dabei vor allem im nordöstlichen Teil Brandenburgs in den GWK Obere Havel, Ücker und Alte Oder. Die Konzentration an den anderen Grundwassermessstellen ist überwiegend stabil (65 %). Stark steigende Gehalte treten nur untergeordnet auf.

#### **Bor (s. Abb. 5.12)**

Bor ist im Grundwasser ein Problemstoff, weil es als Bestandteil der Waschmittel (Perborate) in großen Mengen über das Abwasser in die Umwelt gelangt. Wegen seiner geringen geogenen Konzentration ist es ein geeigneter Indikator für anthropogene Beeinflussungen von 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 beeinträchtigt sind Messstellen mit Werten ab 0,08 mg/l anzusehen (SCHLEYER & KERNDORFF 1992).

Ein großer Teil der Messstellen (ca. 49 %) weist im Jahr 2005 eine mittlere Konzentration zwischen 0,01 bis 0,04 mg/l auf (Abb. 5.12). Diffuse Beeinträchtigungen in Form erhöhter Borgehalte zeigen sich in vielen Grundwasserkörpern. Bei ca. 15 % der Messstellen liegt der mittlere Borgehalt über 0,08 mg/l. Hohe Messwerte (> 0,20 mg/l) sind über die gesamte Landesfläche verstreut und deuten auf lokale punktuelle Beeinträchtigungen des Grundwassers in unmittelbarer Umgebung von Verschmutzungsquellen hin. Dies betrifft z.B. den direkten Abwassereinfluss in ländlichen Gebieten ohne Kanalisationseinrichtungen.

Im Vergleich zum Beobachtungszeitraum von 1996 bis 2000 zeigt sich wie für ortho-Phosphat eine Verringerung der Konzentrationen im Grundwasser Brandenburgs. An 23 % der Messstellen nahmen die Gehalte ab. Dennoch ist weiterhin eine flächenhafte Beeinflussung des Grundwassers mit Bor erkennbar.

### **Aluminium §. Abb. 5.13**

Die Löslichkeit von Aluminium ist bei neutralem pH-Wert sehr gering. Dementsprechend niedrig ist mit etwa 1 µg/l der natürliche Hintergrundgehalt der brandenburgischen Grundwässer. Höhere Werte deuten auf Versauerung hin. Eine starke Freisetzung des festgelegten Aluminiums erfolgt bei pH-Werten unter 4,5. Konzentrationen von einigen mg/l können so erreicht werden. Der Grenzwert der TrinkwV ist 200 µg/l. Erhöhte Aluminiumwerte schädigen tierische Organismen und Feinwurzeln. Aluminium wirkt ab einem Gehalt von 100 µg/l toxisch auf Fische (LFW 1998).

Die überwiegende Mehrheit der Messwerte (76 % der Messstellen) liegt unter 20 µg/l. Die Grenzwertüberschreitungen an vier Messstellen sind auf die Auswirkungen von Versauerungserscheinungen (z.B. Dübrichen) im Süden Brandenburgs zurückzuführen. Die erhöhten Aluminiumgehalte an der Messstelle Strausberg-West im Gebiet der Unteren Spree sind bei einem mittleren pH-Wert von 7,3 nicht zu erklären.

Knapp die Hälfte der untersuchten Grundwasserproben (49 % der Messstellen) weist im Vergleich zur vorherigen Untersuchung keine Konzentrationsänderungen auf. Die Erkenntnis, dass an den Messstellen im nördlichen Teil Brandenburgs bei mittleren Konzentrationen unter 20 µg/l im Jahr 2005 eine Tendenz hinsichtlich des Anstieges von Aluminium besteht, wurde durch den Einsatz von verbesserter Analysentechnik möglich. Lag die am häufigsten verwendete Bestimmungsgrenze im Zeitraum von 1996 bis 2000 für Aluminium noch bei 25 µg/l, beträgt sie im aktuellen Berichtszeitraum nur 3 µg/l.

### **Zusammenfassung**

Abb. 5.14 zeigt die prozentualen Anteile der Messstellen pro Konzentrationsklasse für die 13 Parameter, die in den Kapiteln 5.3.1 bis 5.3.3 beschrieben wurden. Bei Sauerstoff hat der größte Anteil der Messstellen Werte unter 0,1 mg/l. Beim pH-Wert weist das Grundwasser bei 12 % der Messstellen (überwiegend in den südlichen GWK) Werte unter 6,5 auf. An 40 % der Messstellen wurden Sulfatkonzentrationen über 120 mg/l bestimmt. Gehalte über 240 mg/l treten vor allem in den GWK Untere Havel und Dahme sowie im Nordosten (Ücker) und im Süden auf. Etwa 14 % der Messstellen weisen Nitratwerte über 25 mg/l auf. Konzentrationen über 50 mg/l sind überwiegend in den GWK Dahme, Alte Oder, Dosse/Jäglitz und Rhin zu finden. Bei Kalium liegen 11 % der Werte über 12 mg/l, bei Ammonium 26 % über 0,5 mg/l.

Im Vergleich der Konzentrationen in den Zeiträumen 1996 bis 2000 und 2001 bis 2005 zeigen besonders die südlichen GWK (Schwarze Elster, Mittlere Spree) Auffälligkeiten. Hier ist eine Abnahme der Werte für Sauerstoff und den pH-Wert sowie eine Zunahme für TOC, Ammonium, Eisen und Mangan erfolgt. Im Westen (z. B. Untere Havel) tritt gegenüber dem vorherigen Zeitraum ein Anstieg der Sulfatwerte auf. Der GWK Buckau/Plane hebt sich mit höheren Sauerstoff- und entsprechend geringen Eisen- und Mangangehalten von den anderen GWK ab. Im Norden haben sich die Phosphatwerte verringert. Messstellen mit zunehmenden Nitrat- und Kaliumkonzentrationen sind hingegen über das ganze Land verteilt.

In Abb. 5.15 sind die Anteile der Messstellen in Bezug auf die Trendentwicklung in den Zeiträumen 1996 bis 2000 und 2001 bis 2005 zusammenfassend dargestellt. Eine Zunahme der Konzentrationen tritt bei über 27 % der Messstellen für Sulfat und Ammonium auf. Etwa 12 % aller Messstellen weisen abnehmende pH-Werte auf. Ein höherer Anteil abnehmender als zunehmender Werte an den Messstellen ist bei den Parametern elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, TOC, ortho-Phosphat und Bor erkennbar. Umgekehrt zeigt sich ein höherer Anteil von Messstellen mit steigenden Gehalten bei den Messgrößen Redoxpotenzial, Sauerstoff, Sulfat und Ammonium.

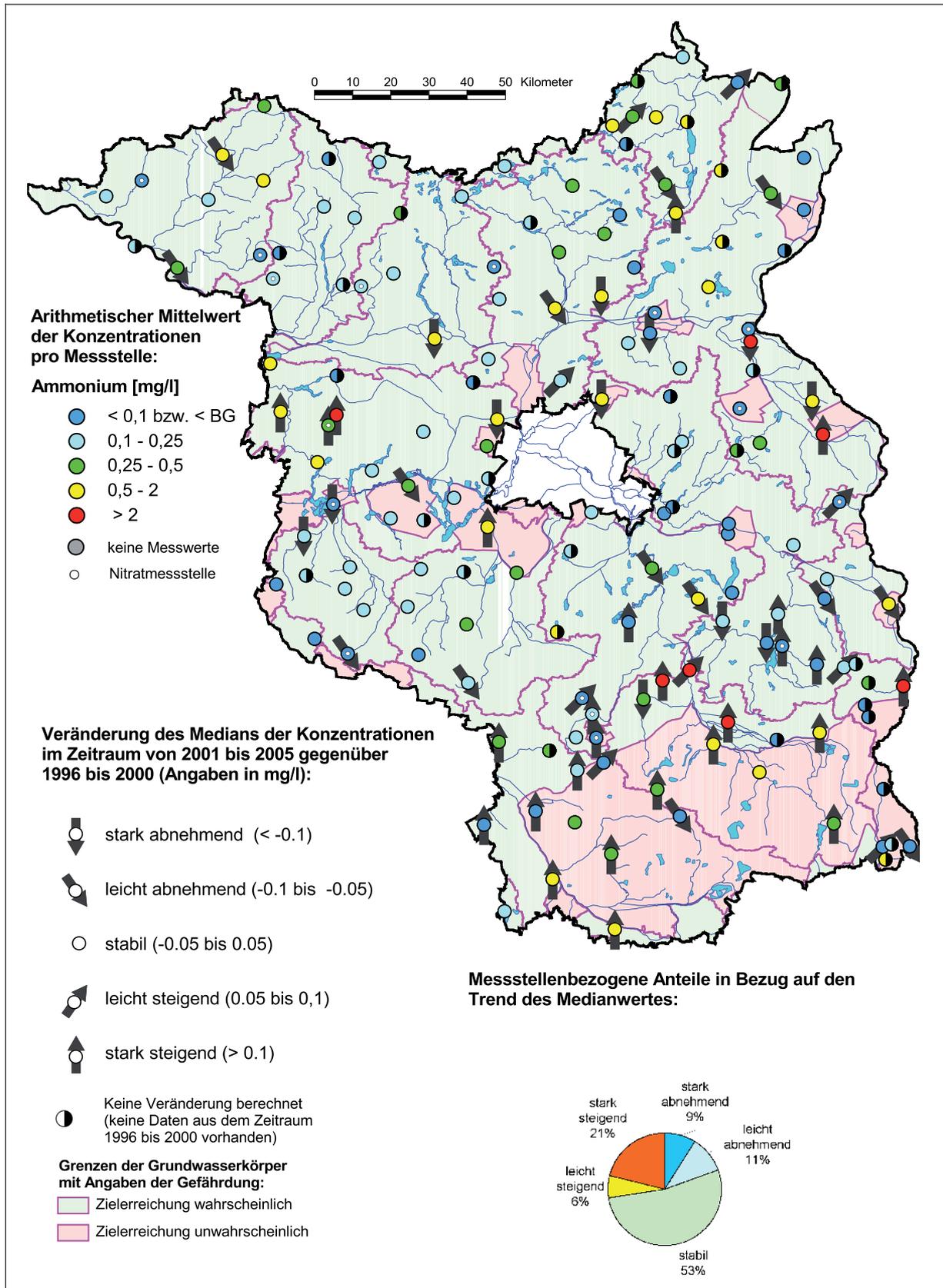


Abb. 5.10: Messstellenbezogene Angaben zu Ammonium

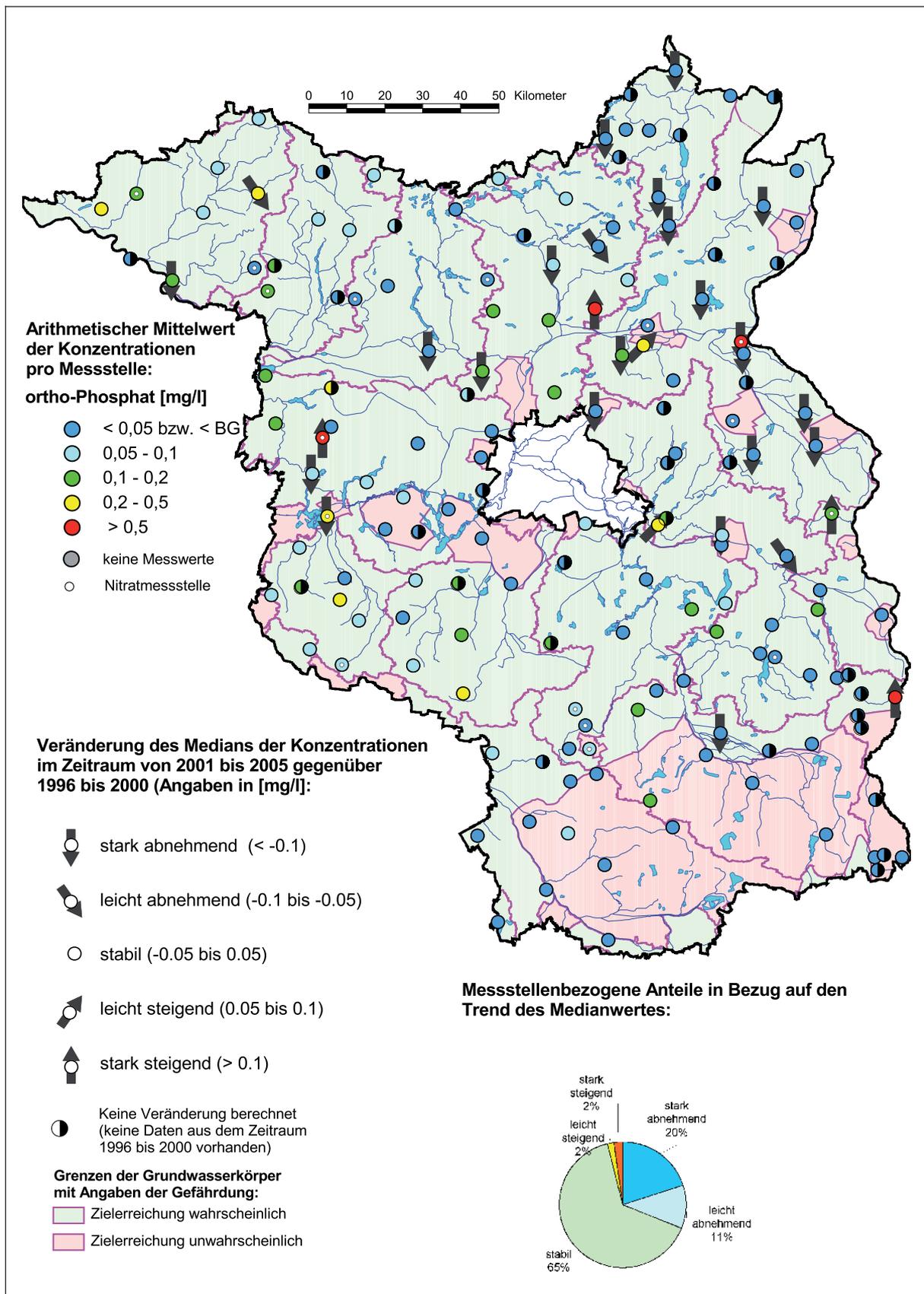


Abb. 5.11: Messstellenbezogene Angaben zu Ortho-Phosphat

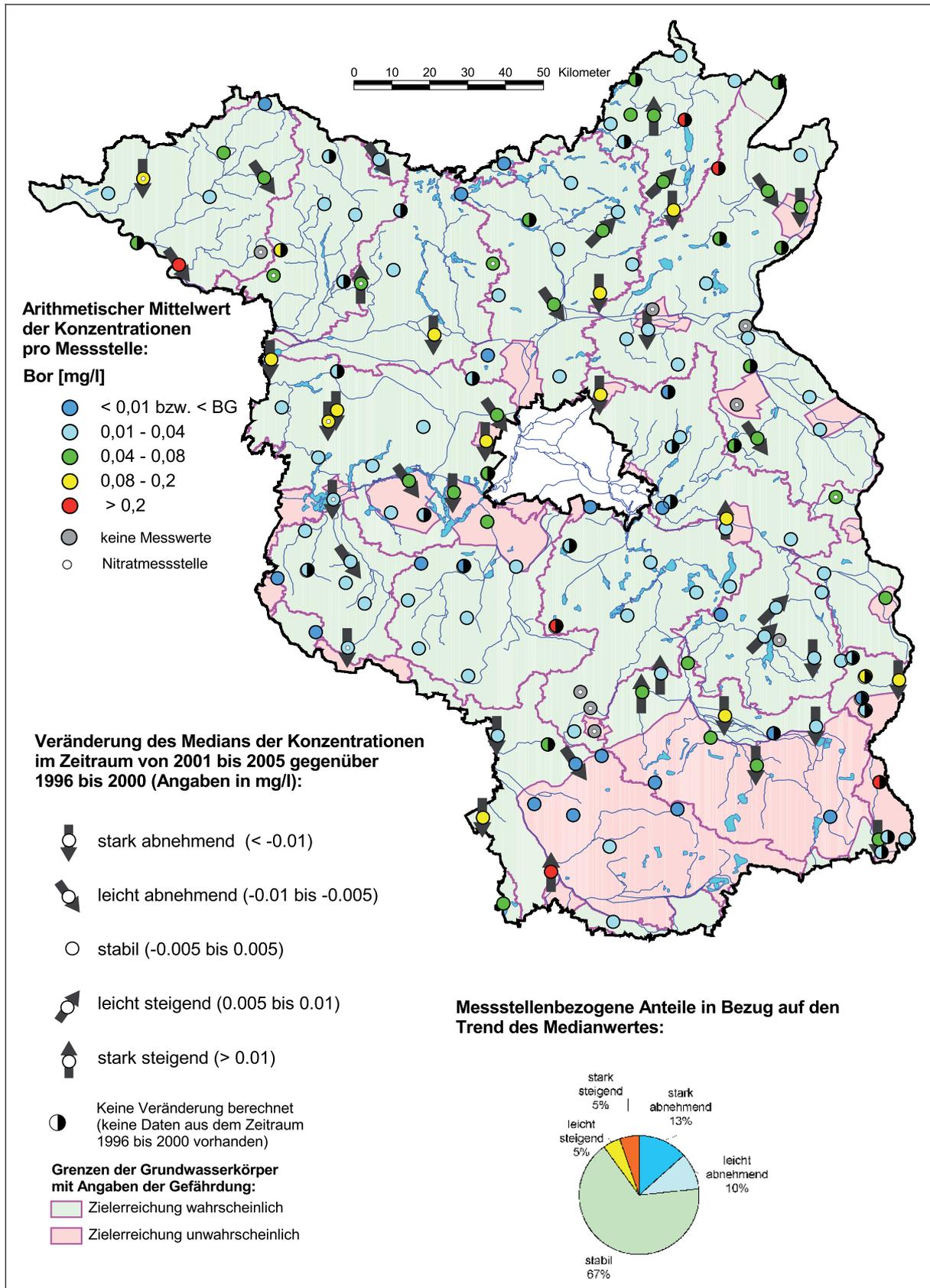


Abb. 5.12: Messstellenbezogene Angaben zu Bor

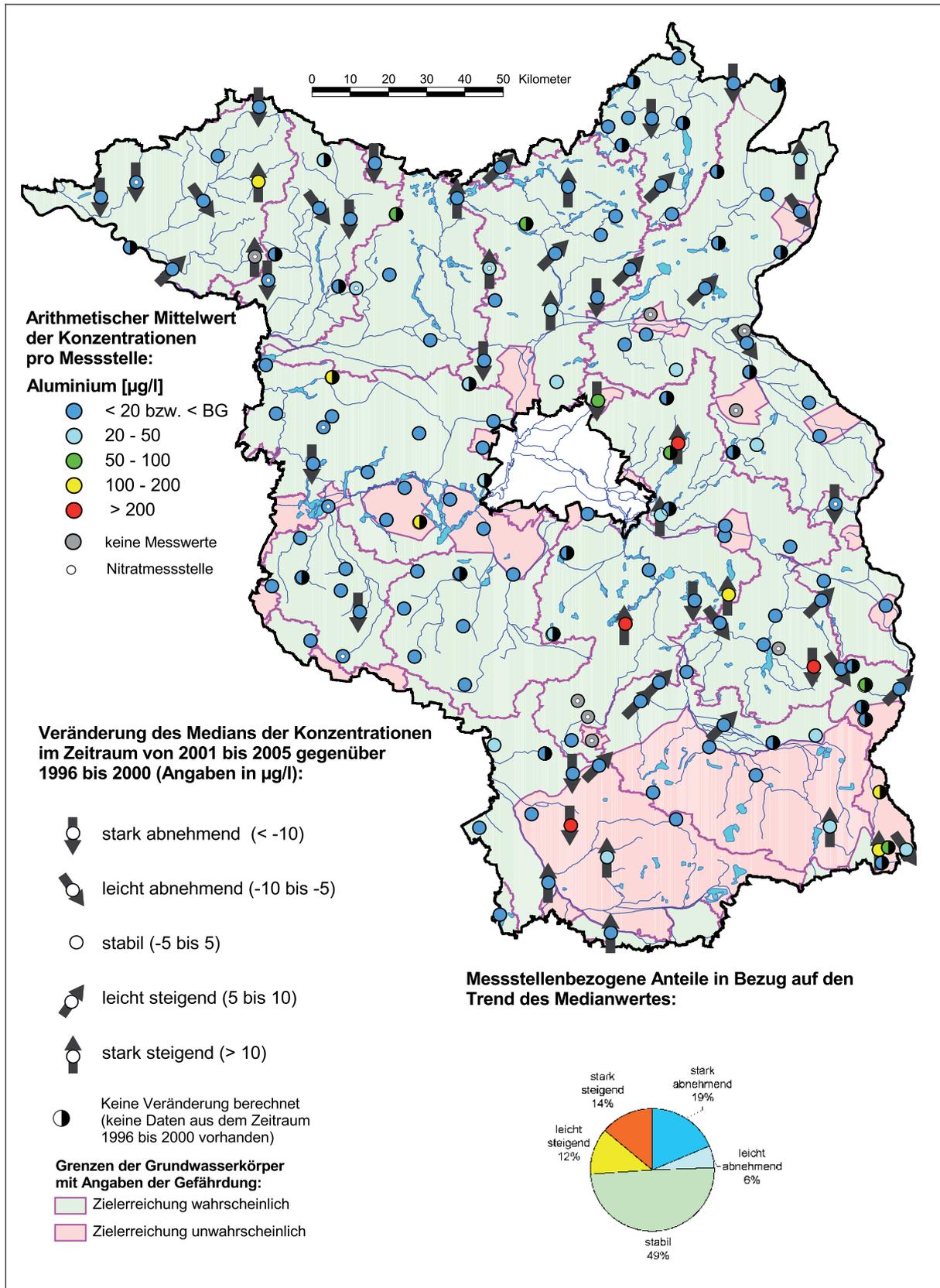
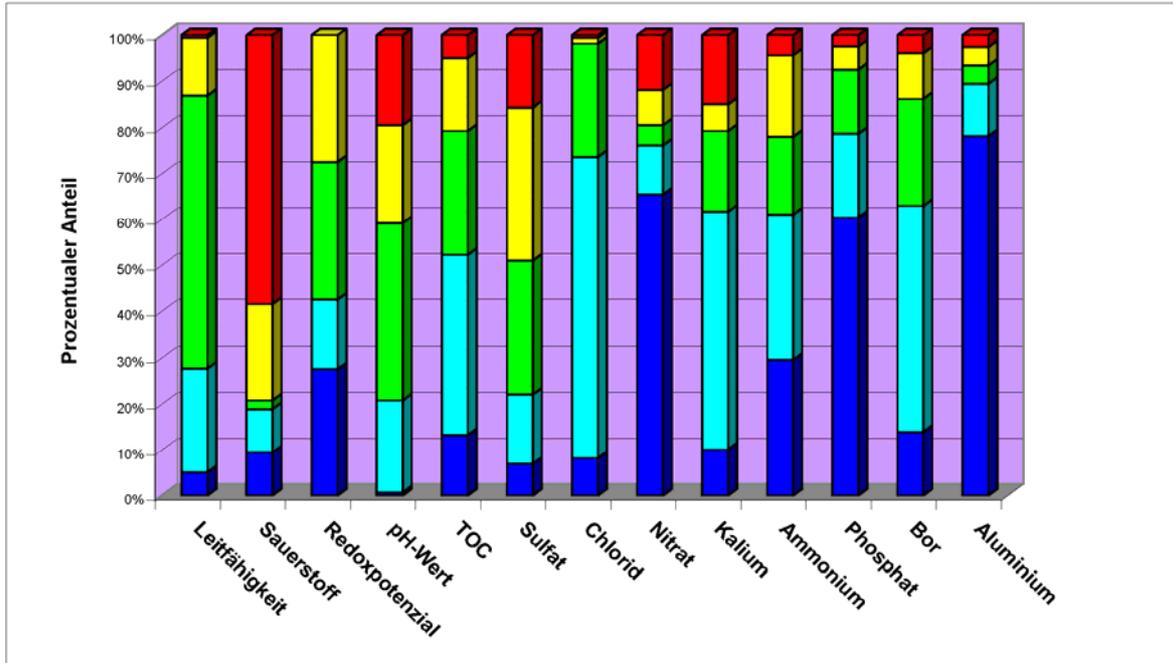
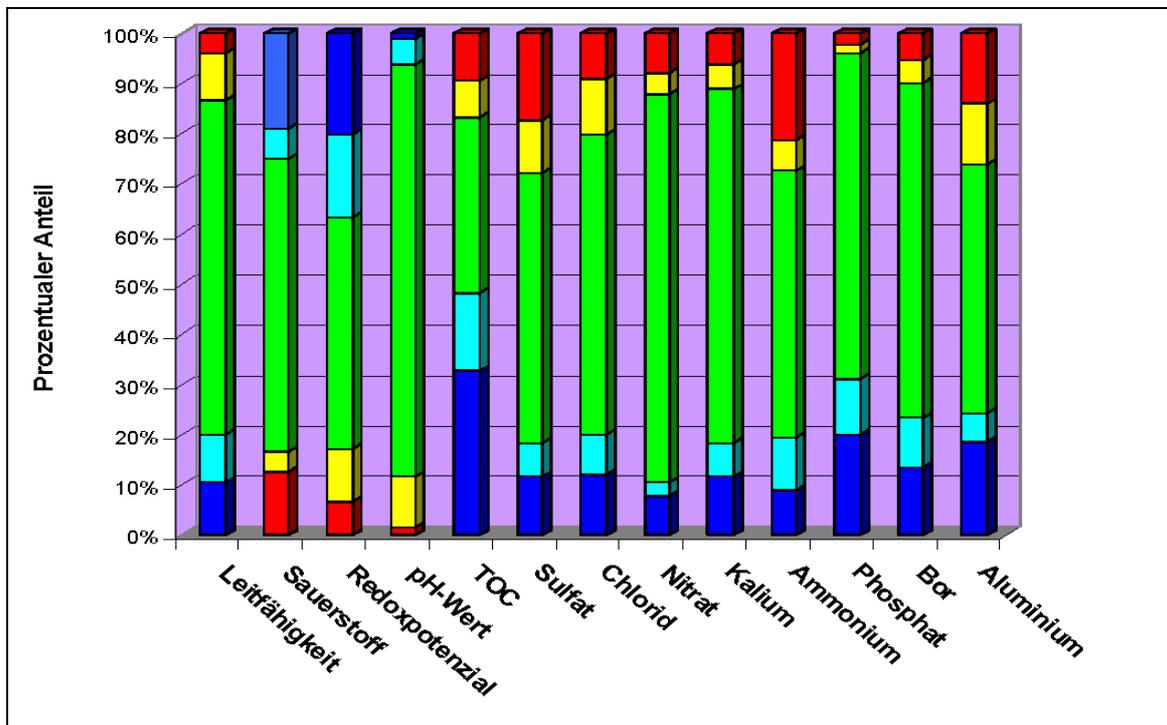


Abb. 5.13: Messstellenbezogene Angaben zu Aluminium



Konzentrationsbereiche    **sehr gering**    gering    mittel    hoch    **sehr hoch**

Abb. 5.14:    Anteile der Messstellen in den Konzentrationsklassen von 13 Parametern (Farbgebung der Balken entspricht jener in Tab. 5.1)



Trendentwicklung der Konzentrationen    **stark abnehmend**    leicht abnehmend    stabil    leicht steigend    **stark steigend**

Abb. 5.15:    Trendermittlung der Konzentrationen im Vergleich zum Zeitraum von 1996 bis 2000 bei 13 Parametern (Hinweis: Bei Sauerstoff, dem pH-Wert und dem Redoxpotenzial sind die Trends jeweils umgekehrt zu bewerten.)

## 6 Parameterbezogene Regionalisierung der diffusen Grundwasserbelastung

Um diffuse Grundwasserbelastungen darzustellen, wurden für die fünf Parameter Nitrat, Ammonium, Kalium, Sulfat und Chlorid landesweite flächenhafte Darstellungen der Stoffkonzentrationen erstellt. Für die Regionalisierung wurde ein Verfahren ausgewählt, das eine Interpolationsmethode nutzt, die zusätzlich zu den punktbezogenen Daten der Grundwassermessstellen Flächeninformationen zur Geologie und zur Landnutzung in den Regionalisierungsprozess einbezieht und so plausible Ergebnisse liefert.

Das Verfahren „SIMIK+“ (*Simple Updating and Indicator Kriging based on additional Information*) wurde im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) seitens des Fraunhofer-Institutes für Informations- und Datenverarbeitung entwickelt (BARDOSSY ET AL. 1997, FRAUNHOFER 2003) und für die landesweite Anwendung in Brandenburg kostenfrei zur Verfügung gestellt. Es ist eine Erweiterung des GIS ArcView in der Version 3, setzt die Erweiterung „Spatial Analyst“ voraus und wendet die Interpolationsmethode „Simple Updating Kriging“ (SUK) an. In Baden-Württemberg wird das Verfahren seitens der LUBW landesweit zur Charakterisierung der flächenhaften Grundwasserbeschaffenheit eingesetzt (z.B. LUBW 2006). Im folgenden Kapitel werden die methodischen Grundlagen des Berechnungsvorgangs kurz erläutert.

### 6.1 Methodische Grundlagen

Für die kontinuierliche, flächenhafte Bestimmung eines im Raum verteilten Parameters stehen Messungen an ausgewählten Orten (Grundwassermessstellen) zur Verfügung. Um „vom Punkt in die Fläche“ zu kommen, also Angaben zur flächenhaften Verteilung des Parameters zu erhalten, müssen die Informationen aus den Punktmessungen räumlich interpretiert werden. Eine Variable kann jedoch an jedem Ort im Raum einen anderen Wert annehmen. Diese Variabilität lässt sich oft nicht vollständig beschreiben. Sie ist jedoch meist nicht völlig zufällig, sondern durch eine gewisse räumliche Kontinuität geprägt. Erkennbar ist, dass räumlich näher beieinander liegende Messwerte ähnlicher zueinander sind als weiter entfernte. Geostatistisch wird dies mit einer Zufallsfunktion und folgender Hypothese beschrieben:

„Der Erwartungswert der Zufallsfunktion ist über das betrachtete Gebiet konstant“.

Daraus folgt, dass die Varianz zwischen zwei Punkten nur von der Entfernung und nicht vom Ort der Punktmessungen abhängig ist. Zur Ableitung flächenhafter bzw. räumlicher Aussagen aus punktuellen Messpunkten in einem irregulären Raster können eine Reihe von Verfahren genutzt werden. Die sorgfältige Auswahl eines geeigneten Verfahrens ist unabdingbare Voraussetzung einer sinnvollen Datenregionalisierung.

Günstiger sind geostatistische Methoden, bei denen eine flächenhafte Interpolation auf der Grundlage einer Analyse der räumlichen Variationsstruktur von Ausgangsdaten erfolgt. Geostatistische Verfahren ermöglichen einerseits eine maximale Ausnutzung des Informationsgehaltes von Ausgangsdaten und andererseits die Vermeidung von Überinterpretationen. Zudem erlauben geostatistische Verfahren über die räumliche Bestimmung der Schätzvarianz neben einer Interpolation der flächenhaften Verteilung von Variablen regional bezogene Aussagen zur Zuverlässigkeit dieser Interpolation.

Grundlage der geostatistischen Verfahren ist die *Variographie*, die der Strukturanalyse und Ableitung der für den Interpolationsprozess benötigten Parameter dient. Das *experimentelle Variogramm* ergibt sich aus der Darstellung der Semivarianz  $\gamma$  in Abhängigkeit vom Messpunktabstand bzw. Abstandsintervall  $h$ .

Aus der Anpassung eines theoretischen *Variogrammmodells* an das experimentelle Variogramm werden die für die Datenregionalisierung notwendigen Parameter ermittelt. Die experimentelle Semivarianz zwischen den Messwerten (ein Maß für die Ähnlichkeit der Messwerte) steigt mit dem Abstand an (d.h. die Werte werden mit wachsendem Abstand unähnlicher) und erreicht bei einem Grenzabstand (der Reichweite oder 'range') ein Plateau (den Schwellenwert oder 'sill'-Wert). Für Messpunktabstände unterhalb der Reichweite wiesen die Messwerte eine räumliche Beziehung zueinander auf.

Außerhalb der Reichweite tritt keine Beziehung zwischen den Messwerten auf. Eine zusammenfassende Darstellung ist in einer zweidimensionalen Oberfläche möglich.

Die beschriebenen methodischen Grundlagen der geostatistischen Regionalisierung mit Punktkriging gelten ebenfalls für das SIMIK+-Verfahren. Dabei werden jedoch die Ergebnisse der Schätzung optimiert, indem Zusatzinformationen benutzt werden. Hierfür übliche Verfahren, wie z.B. External Drift oder Co-Kriging, benötigen standardgemäß numerische Zusatzinformationen, die bei den für die Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit relevanten Faktoren (Landnutzung, Hydrogeologie) nicht vorhanden sind. Daher berücksichtigt das SIMIK+-Verfahren den Einfluss qualitativer Informationen bei der Interpolation. Diese werden zur Schätzung der Werte an nicht untersuchten Orten herangezogen. Die benutzte Interpolationsmethode *Simple Updating Kriging* kann diese qualitativen Informationen nutzen und damit plausiblere Schätzergebnisse als standardmäßig eingesetzte Kriging-Methoden liefern. Zur detaillierten Arbeitsweise des SIMIK+-Verfahrens wird auf das ausführliche Benutzerhandbuch (FRAUNHOFER 2003) verwiesen, das allgemeinverständlich die inhaltliche und rechentechnische Vorgehensweise dokumentiert.

Die Ergebnisse der Schätzung sind Rasterdaten. Für die landesweite Bearbeitung wurde vor allem wegen der räumlich hoch aufgelösten Daten zur Landnutzung ein Radius von 300 x 300 Metern gewählt.

## 6.2 Verwendete Datenbasis

Datengrundlage sind die Grundwasseranalysen der Messstellen des Landesmessnetzes (Grund- und Nitratmessnetz) sowie die Aufschlüsse der Wasserversorgungsunternehmen Brandenburgs.

### 6.2.1 Messstellen der Landesmessnetze

Ein Teil der Datengrundlage bilden die Grundwasseranalysen der oberflächennahen Messstellen des Landesmessnetzes Brandenburgs. Insgesamt wurden 159 Messstellen in die Regionalisierung mit einbezogen. Berücksichtigt wurden die Analysen der Frühjahrs- und Herbstuntersuchungskampagne aus dem Zeitraum 2001 bis 2005, die zuvor einer Plausibilitätsprüfung unterzogen wurden (siehe Kap. 3). Für die Regionalisierung der Daten wurde der arithmetische Mittelwert von Analysen aus dem Zeitraum von 2001 bis 2005 gebildet.

### 6.2.2 Aufschlüsse von Wasserversorgungsunternehmen

Den größten Teil der Datengrundlage zur Regionalisierung bilden die Beschaffenheitsdaten der Wasserversorgungsunternehmen (WVU). Im Jahr 2003 hat das LUA mit der Erfassung wesentlicher Informationen über WVU, Wasserwerke, Brunnen und Vorfeldmessstellen durch Verwendung von Erhebungsbögen begonnen (Teilprojekt 1). Diese Arbeiten sind 2004 fortgesetzt worden (Teilprojekt 2). Durch ein beauftragtes Unternehmen erfolgte die Zustandsbeschreibung der Grundwasserbeschaffenheit in den hydrodynamischen Einzugsgebieten der Wasserwerke anhand der zwischen 2003 und 2005 erhobenen Brunnen- und Rohmischwasserdaten. Die Projektdatenbank enthält zahlreiche Informationen über die 907 aktuellen und ehemaligen Wasserwerksstandorte und ist ein wichtiger Bestandteil des Sachstandsberichtes vom Dezember 2005 (GCI 2005).

Aus diesem Gesamtdatenbestand wurden in zwei Arbeitsschritten die zur Regionalisierung verwertbaren Daten ausgewählt.

#### 1. Auswahl der Brunnen

- Erste Voraussetzung für die Berücksichtigung eines Brunnens für die Regionalisierung ist die Angabe der Koordinaten.
- Da die Regionalisierung die diffuse Belastung des oberflächennahen Grundwassers repräsentieren soll, wurden Brunnen, falls eine Angabe zum Filterausbau vorhanden war, mit einer mittleren Filtertiefe unter 50 Meter berücksichtigt. Ebenso wurden Brunnen ohne Filterangabe im Datenbestand beibehalten. Bei Brunnen ohne Filterangabe, aber mit Angabe zur Brunnentiefe, wurden Brunnen mit einer Brunnentiefe über 60 Meter aus dem Datenbestand entfernt.
- Eine weitere Voraussetzung für die Einbeziehung von Daten eines Brunnens ist das Vorhandensein wenigstens einer Analyse der oben genannten fünf Parameter aus dem Zeitraum von 1996 bis 2005.

- Bei Brunnengalerien wurden Brunnen mit Differenzen der mittleren Filtertiefen über 20 Meter gegenüber den anderen Brunnen nicht berücksichtigt.
- Teilweise liegen für Brunnen von Galerien identische Koordinaten vor. Da zur Berechnung der Regionalisierung nur eindeutige Standorte verwendet werden können, wurde nach folgendem System ein Brunnen ausgewählt:
  - Ist eine Angabe zur Filter- oder Brunnentiefe vorhanden, wurde der oberflächennächste Brunnen ausgewählt;
  - Ohne Angabe zur Tiefe wurde nach folgenden Kriterien ausgewählt:
    - Aktualität der Probenahme,
    - Anzahl der Probenahmen,
    - Höchste Ionensumme.

Ergab sich nach der Auswahl regional eine zu geringe Datenlage, wurden Brunnen mit Analysen aus dem Zeitraum von 1990 bis 1995 berücksichtigt. Erwies sich die Datenlage als immer noch zu gering, wurden auch Brunnen mit einer mittleren Filtertiefe über 50 Meter berücksichtigt.

## 2. Auswahl und Aufbereitung der Analysen

- Im Zuge der Recherche (GCI 2005) wurde bereits eine detaillierte und aufwändige Plausibilitätsprüfung der archivierten Brunnen- und Rohmischwasserdaten durchgeführt und gegebenenfalls als unplausibel gekennzeichnet. Diese Daten wurden nicht berücksichtigt.
- Es wurden Analysen aus dem Zeitraum von 1996 bis 2005 berücksichtigt (bzw. Analysen von 1990 bis 1995, wenn keine aktuellen Daten vorlagen; s. oben).
- Analysen, für die im Zuge der Recherche bereits Ionenbilanzen berechnet worden waren, wurden bei einem Ionensummenfehler über 10 % nicht berücksichtigt.
- Die Analysen wurden brunnenbezogen an Hand der Ganglinien auf Ausreißer geprüft und gegebenenfalls aus der Datenmatrix entfernt.
- In einem Umkreis von 500 Meter wurden räumlich benachbarte Daten der einzelnen Standorte auf große Konzentrationsunterschiede geprüft und gegebenenfalls von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.
- Für Nitrat wurde bei den Messstellen des Nitratmessnetzes die Prüfung auf große Konzentrationsunterschiede innerhalb eines Umkreises von 1 km ausgedehnt.
- Werte unter der Bestimmungsgrenze wurden wie in Kapitel 3.2 durch den halben Wert der am häufigsten vorkommenden BG aller Grundwasseranalysen des Landesmessnetzes ersetzt.

### Ergebnisse der Datenauswahl

Insgesamt standen 1.649 Brunnen mit Koordinatenangaben und mindestens einem Analysenwert der fünf Parameter zur Verfügung. In Tab. 6.1 ist in der ersten Zeile die Anzahl der Brunnen mit Koordinaten pro Parameter dargestellt. In der zweiten Zeile ist die für die Regionalisierung zur Verfügung stehende Anzahl von Brunnen nach der oben genannten Datenprüfung aufgelistet. In der letzten Zeile ist die Anzahl der Analysen pro Parameter angegeben.

**Tab. 6.1: Angaben zur Anzahl der Brunnen und Analysen aus dem Wasserwerksdatenbestand**

	Nitrat	Ammonium	Kalium	Sulfat	Chlorid
Anzahl der Brunnen mit Koordinaten	1.601	1.616	1.574	1.619	1.627
Anzahl der <b>Brunnen</b> nach der Datenaufbereitung	901	913	898	911	906
Anzahl der <b>Analysen</b>	4.455	4.697	4.134	4.745	4.358

Bei den 923 ehemaligen und aktiv betriebenen Brunnen von insgesamt 475 Wasserwerken weist etwa die Hälfte der Brunnen Filterangaben auf. Zu weiteren Brunnen (ca. 8 %) sind zwar keine Filter-, ersatzweise jedoch Tiefenangaben vorhanden. Die mittleren Filtertiefen liegen bei dem größten Anteil der Brunnen zwischen 20 und 50 Meter unter GOK:

Mittlere Filtertiefen unter GOK (m)	Brunnen Anzahl
bis 10	1
10 - 20	123
20 - 50	344
50 - 60	6

Abb. 6.1 gibt einen Überblick zur Aktualität der Daten. Hier wird die letzte Analyse von Proben der Brunnen dargestellt. Bei sieben Brunnen stammen die aktuellsten Analysen aus dem Jahr 1992. Von den meisten Brunnen (ca. 70 %) stammt die letzte Analyse aus den Jahren 2002, 2003 und 2004. Abb. 6.2 zeigt die Häufigkeit der Probennahme in Bezug auf die einzelnen Brunnen. Für 206 Brunnen liegt nur eine Analyse vor, während ein Brunnen des Wasserwerks Stolpe mit 217 Mal am häufigsten beprobt wurde.

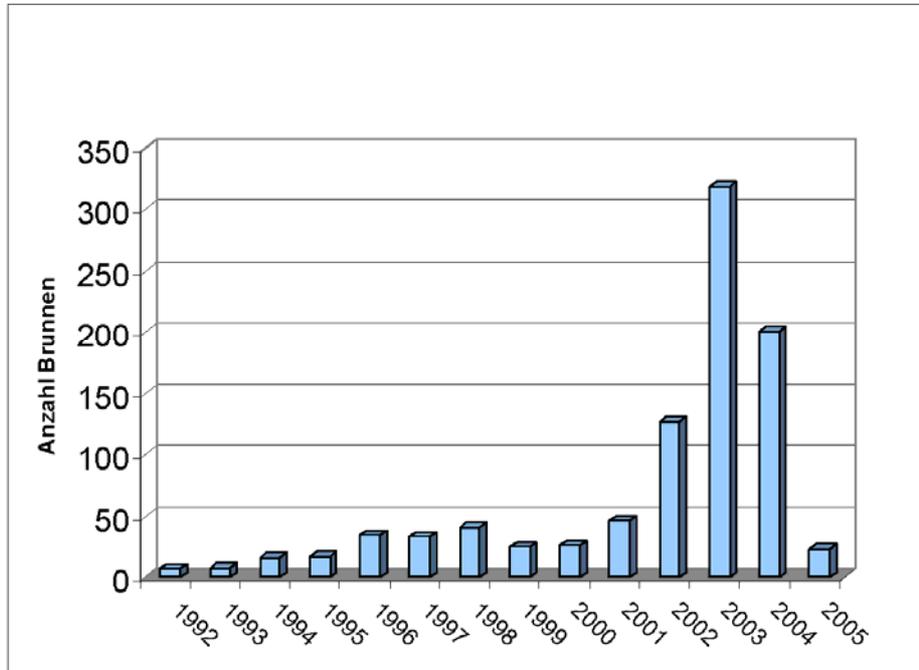


Abb. 6.1: Angaben zum Jahr der letzten Analyse pro Brunnen

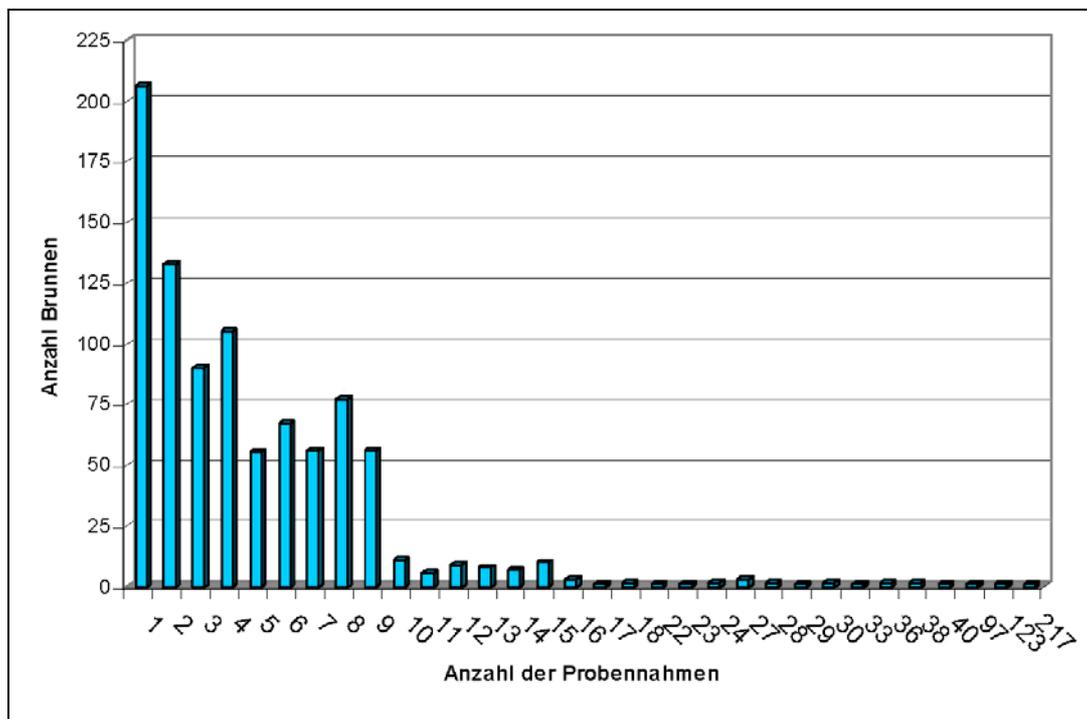


Abb. 6.2: Angaben zur Häufigkeit der Analysen pro Brunnen

Für die Datenaktualität und Regionalisierung der fünf Parameter wurde der arithmetische Mittelwert der Analysen pro Parameter und Brunnen gebildet. Insgesamt stehen einschließlich der Messstellen aus dem Landesmessnetz Daten von 1.057 bis 1.072 Standorten pro Parameter zur Verfügung.

	Nitrat	Ammonium	Kalium	Sulfat	Chlorid
Gesamtzahl Brunnen und Landesmessstellen	1.060	1.072	1.057	1.070	1.065

### 6.3 Flächenhafte Zusatzinformationen

Die Regionalisierung der fünf Parameter erfolgt primär auf Grundlage der punktbezogenen gemessenen Konzentrationen der Grundwasseraufschlüsse von Messstellen des Landesmessnetzes sowie der Wasserversorger mittels eines geostatistischen Algorithmus. Um den Einfluss des Grundwasserleiters und der Landnutzung auf die Beschaffenheit des Grundwassers zu berücksichtigen, gehen bei der Interpolationsmethode mit dem Programm SIMIK+ die Geologie und Landnutzung als Zusatzinformationen in die Berechnung ein.

#### 6.3.1 Geologie

Neben der Landnutzung sind für die Beschaffenheit des Grundwassers Daten zu den an der Oberfläche anstehenden geologischen Bildungen von Bedeutung. Hierzu wurden die Daten der „Geologischen Übersichtskarte Brandenburgs 1:300 000“ (GÜK 300) des LBGR (LBGR 1997) herangezogen, die seitens des LBGR projektbezogen im Rahmen eines Nutzungsvertrages digital zur Verfügung gestellt wurden. Die 35 Einheiten der geologischen Übersichtskarte wurden zu zehn Flächeneinheiten aggregiert (s. Abb. 6.3).

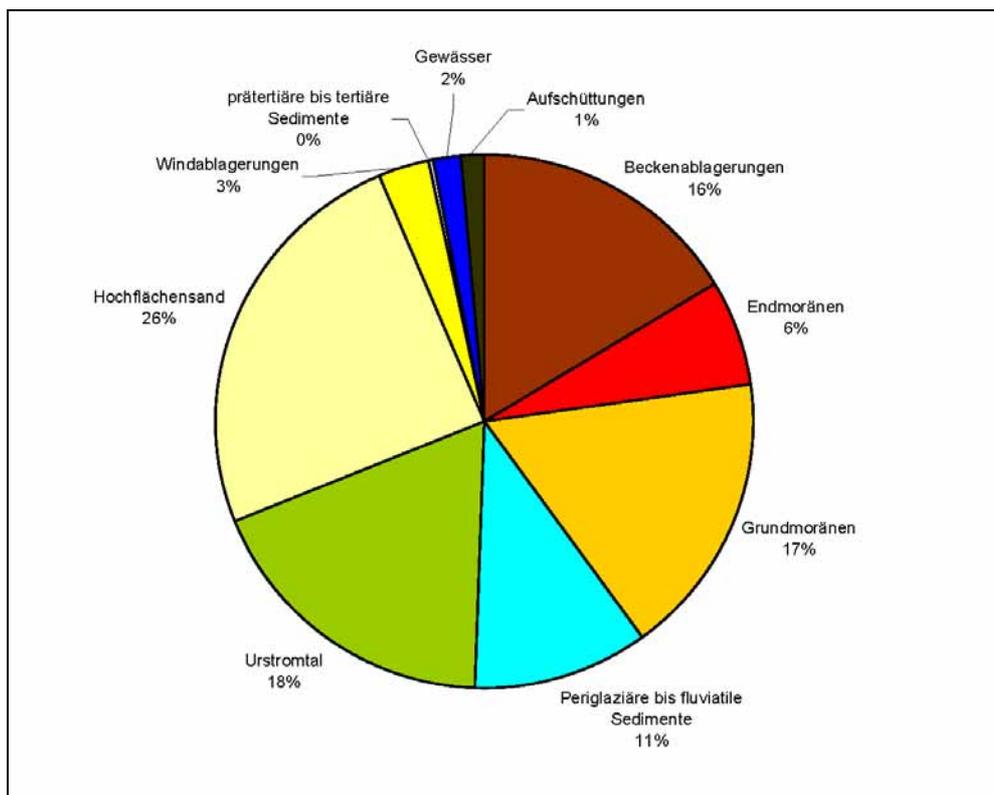


Abb. 6.3: Flächenanteile der Legendeneinheiten in der Geologischen Übersichtskarte Brandenburg

In den Einheiten Gewässer, Aufschüttungen und prätertiäre bis tertiäre Sedimente befinden sich keine Brunnen oder Messstellen. In den Abb. 6.4 und 6.5 sind die Mittelwerte der Brunnen und Messstellen des Landesmessnetzes für Ammonium und Sulfat innerhalb der geologischen Einheiten darge-

stellt. Hier sind z.B. größere Mediane für Ammonium im Urstromtal gegenüber den anderen Gebieten sichtbar. Für Sulfat treten im Gebiet der Grundmoränen bei den Messstellen höhere Gehalte auf.

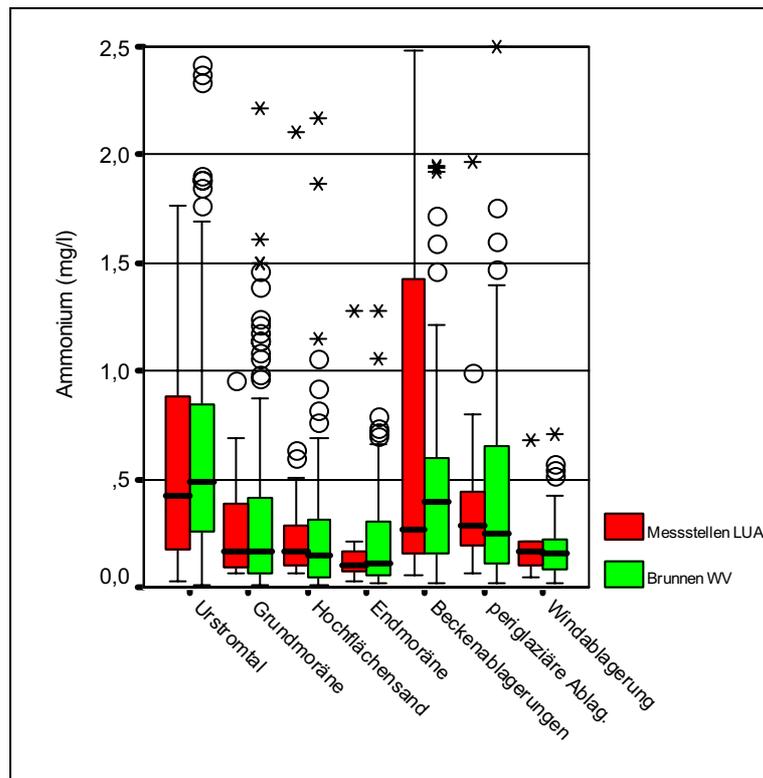


Abb. 6.4: Mittelwerte für Ammonium bei Brunnen und Messstellen pro geologischer Einheit

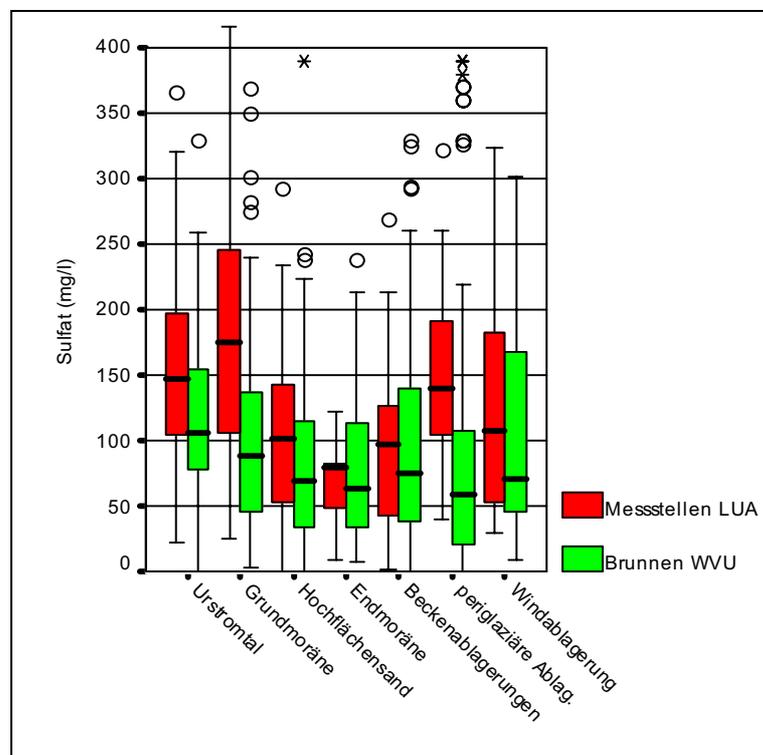


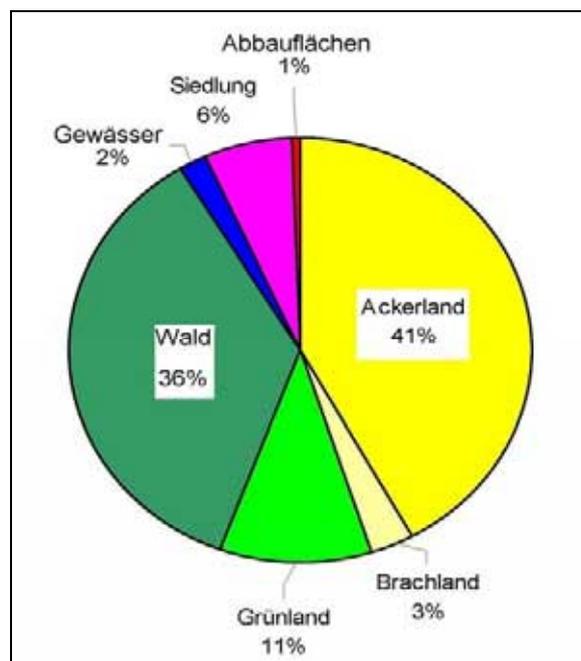
Abb. 6.5: Mittelwerte für Sulfat bei Brunnen und Messstellen pro geologischer Einheit

### 6.3.2 Landnutzung

Im Rahmen des europäischen Projektes CORINE Land Cover 2000 (CLC2000) der EU wurde eine Aktualisierung der Landnutzung und Bodenbedeckung aus Satellitendaten erstellt, die sich auf den harmonisierten Klassifizierungsschlüssel der Ersterfassung (Stand: 1990) und eine einheitliche Erfassungsmethode stützte. Ziel war eine gemeinsame Datenbasis, die vergleichbare Aussagen zur Bodenbedeckung und Landnutzung sowie deren Veränderungen zwischen 1990 und 2000 gestattet und im nationalen wie im europäischen Kontext ökologische Bewertungen und Schlussfolgerungen für die regionale Planung ermöglicht.

Als Datengrundlage für CLC2000 wurden europaweit einheitlich Landsat7-Daten aus den Jahren 1999 bis 2001 verwendet, die im Projekt Image 2000 erstellt wurden. Die Erfassung der Landnutzungsänderungen erfolgte in einem GIS-gestützten System durch visuelle Interpretation, unterstützt durch automatische Verfahren. Die Klassifizierung beinhaltet für Deutschland 37 Bodenbedeckungsklassen in drei Hierarchieebenen. Die Hauptkategorien sind bebaute Flächen, landwirtschaftliche Flächen, Wälder und naturnahe Flächen, Feuchtflächen und Wasserflächen. Der Erfassungsmaßstab ist 1:100 000, wobei Neuf Flächen ab einer Minimalgröße von 25 ha und Grenzveränderungen ab 5 ha aufgenommen wurden. Flächen mit linienförmiger Ausprägung wurden ab einer Breite von 100 Meter erfasst.

Die 37 Bodenbedeckungsklassen wurden auf sieben Klassen aggregiert. In Abb. 6.6 sind die Flächenanteile der sieben Klassen an der Landesfläche Brandenburg dargestellt. Den größten Anteil an der Landesfläche nimmt die Fläche „Ackerland“ mit 41 % ein, gefolgt von „Wald“ mit 36 %. Die Flächen der Einheiten „Gewässer“ und „Abbauf Flächen“ (Kohleabbau) wurden zunächst als eigene Einheit aggregiert. Bei der Verschneidung mit den Standorten der Brunnen und Messstellen wurden sie jedoch nicht belegt und daher nicht weiter separat geführt.



**Abb. 6.6:** Anteile der aggregierten Legendeneinheiten zur Landnutzung an der Gesamtfläche Brandenburgs

In den Abb. 6.7 und 6.8 sind die Spannweiten der Nitrat- und Kaliumkonzentrationen innerhalb der fünf verbleibenden Landnutzungsclassen und differenziert nach den Brunnen der Wasserwerke (WW) und den Messstellen des Landesmessnetzes dargestellt. An den Messstellen treten deutlich größere Spannweiten in Bezug auf die Gehalte in Acker- und Siedlungsgebieten als bei den anderen Landnutzungsclassen auf. Bei den Brunnen sind die Unterschiede der Spannweiten für die mittleren Konzentrationen dagegen relativ gering.

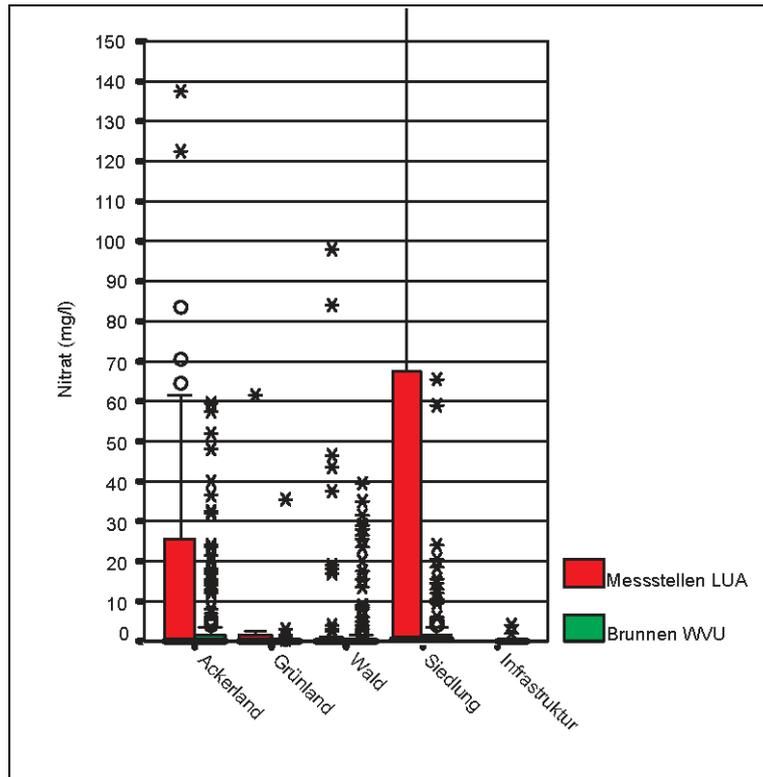


Abb. 6.7: Spannweiten der Nitratkonzentrationen bei den Brunnen der WWU und den Messstellen des Landesmessnetzes

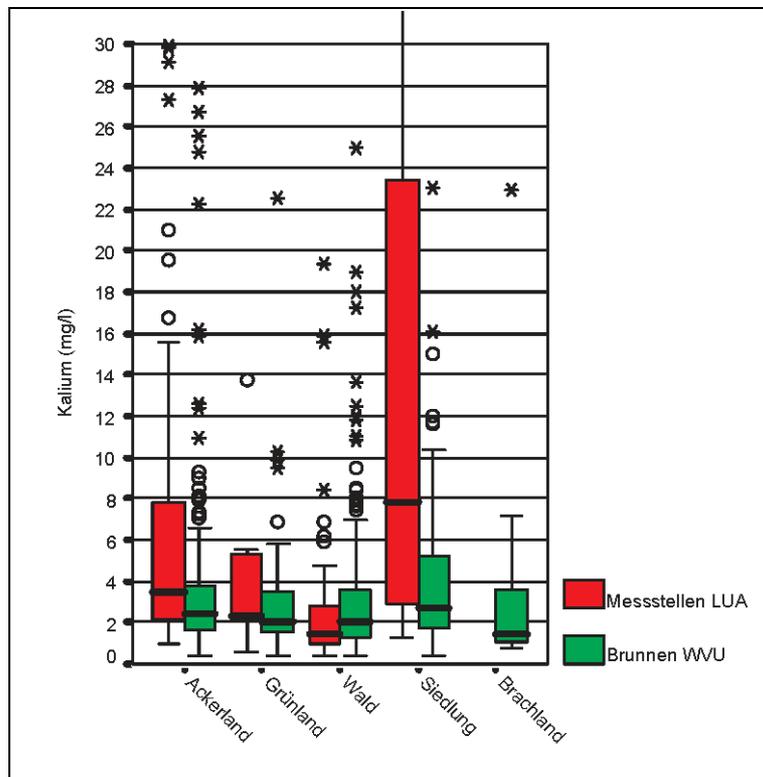


Abb. 6.8: Spannweiten der Kaliumkonzentrationen bei den Brunnen der WWU und den Messstellen des Landesmessnetzes

## 6.4 Rangstatistisch ermittelte Konzentrationsintervalle

Nach der Anwendung des Verfahrens SIMIK+ liegen die räumlich unregelmäßig vorliegenden Punktkonzentrationen in einem regelmäßigen Raster (300 x 300 Meter) vor. Zu den Rasterelementzellen bestehen die Informationen in Form von numerischen Werten, die in beliebiger Form in weitere Rechenoperationen einbezogen werden können. Die Ergebnisse werden in Karten klassifiziert dargestellt. Standardmäßig erfolgt die Darstellung der Ergebnisse in SIMIK+ in Form von Perzentilklassen der berechneten Rasterzellenelemente. Es können sowohl die Klassengrenzen als auch die Anzahl der dargestellten Klassen manuell geändert werden.

Diese Klassenanzahl wurde für die Kartendarstellungen beibehalten. Bei den Klassengrenzen wurden die ermittelten Perzentilwerte gerundet. In Tab. 6.2 sind die für die fünf Parameter verwendeten Klassengrenzen zur Übersicht dargestellt.

**Tab. 6.2: Klassengrenzen der dargestellten Regionalisierungsergebnisse pro Parameter**

Parameter	Nitrat	Ammonium	Kalium	Chlorid	Sulfat
Perzentilkategorie	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
< 5	< 0,1	< 0,15	< 1,8	< 19	< 60
5 – 10	0,1 - 0,2	0,15 - 0,18	1,8 - 1,9	19 - 20	60 - 68
10 – 20	0,2 - 1,5	0,18 - 0,20	1,9 - 2,0	20 - 21	68 - 75
20 – 35	1,5 - 2,0	0,20 - 0,25	2,0 - 3,0	21 - 28	75 - 85
35 – 50	2,0 - 2,5	0,25 - 0,30	3,0 - 3,3	28 - 35	85 - 92
50 – 65	2,5 - 3,5	0,30 - 0,40	3,3 - 3,7	35 - 40	92 - 102
65 – 80	3,5 - 6,0	0,40 - 0,50	3,7 - 4,3	40 - 42	102 - 115
80 – 90	6,0 - 10	0,50 - 0,60	4,3 - 5,0	42 - 45	115 - 125
90 – 95	10 - 15	0,60 - 0,80	5,0 - 6,0	45 - 50	125 - 136
95 – 98	15 - 25	0,80 - 1,0	6,0 - 8,0	50 - 60	136 - 150
> 98	> 25	> 1,0	> 8,0	> 60	> 150

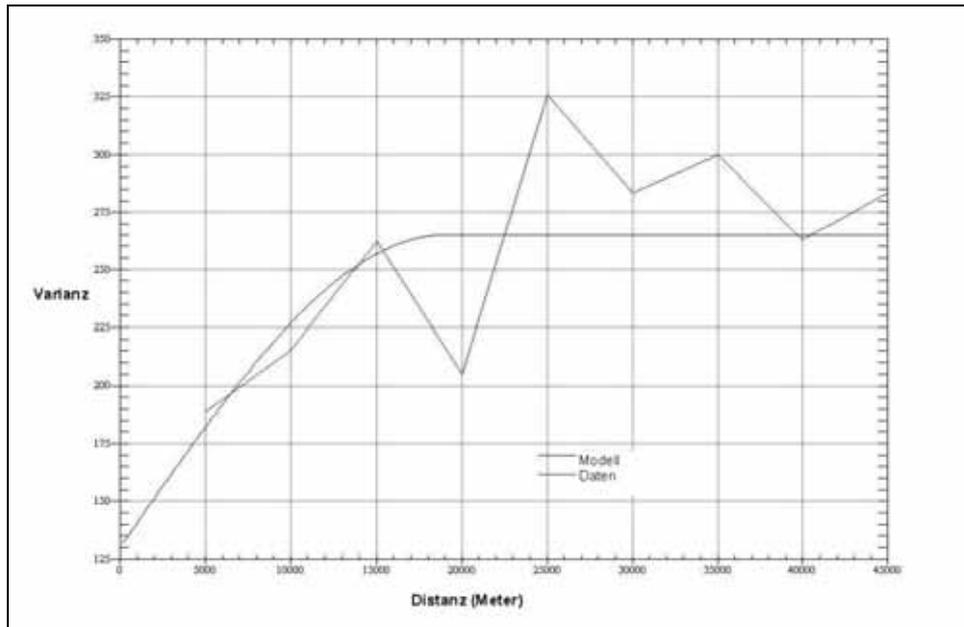
## 6.5 Ergebnisse der Regionalisierung pro Parameter

Die Regionalisierung wurde für die fünf Parameter Nitrat, Ammonium, Kalium, Sulfat und Chlorid nach der in Kap. 6.1 beschriebenen Methode durchgeführt. Im Folgenden werden die parameterbezogenen Ergebnisse regional beschrieben. In den Anhängen 4 bis 8 sind die Ergebnisse pro Parameter in Karten mit dem Maßstab 1:900 000 dargestellt. Die Konzentrationsintervalle in den Karten entsprechen den Angaben in Tab. 6.2. In die Regionalisierung gehen die Datengrundlagen der Punktdaten sowie der Flächeninformationen entsprechend der Festlegungen in den Kap. 6.2 und 6.3 ein.

### 6.5.1 Nitrat

Wie in Kapitel 5.3.2 dargestellt, ist Nitrat als Folge der landwirtschaftlichen Bodennutzung in Deutschland seit Jahren ein Problemstoff. In den sandigen Böden des Landes Brandenburg wird es jedoch mikrobiell zumeist schnell umgesetzt. Die Hintergrundgehalte sind hier dementsprechend niedrig. Bei 14 % der Messstellen des Grund- und Nitratmessnetzes treten mittlere Konzentrationen über 25 mg/l auf. In Abb. 6.9 ist - exemplarisch für die anderen Parameter - das der Regionalisierung zugrunde gelegte Variogramm dargestellt. Die Reichweite (range) beträgt 19.000 Meter. Für die Interpolation werden nur Messwerte innerhalb dieses Maximalabstandes berücksichtigt, da nur in diesem Bereich die Werte einen räumlichen Zusammenhang aufweisen.

Die berechneten Konzentrationswerte zeigen in ihrer räumlichen Verteilung das punktuelle Auftreten erhöhter Nitratwerte über das ganze Land Brandenburg verteilt (Anhang 4). Der Einfluss der Landnutzung wird deutlich. Gebiete, die erhöhte Gehalte (> 25 mg/l) aufweisen, sind überwiegend landwirtschaftlich geprägt.



**Abb. 6.9: Semivariogramm der Regionalisierung von Nitrat mittels SIMIK+**

In den Grundwasserkörpern Alte Oder und Oder treten besonders häufig erhöhte Werte auf. Westlich des Oderbruchs liegen innerhalb eines gefährdeten GWK auch die mittleren Nitratkonzentrationen der Wasserwerke über 50 mg/l. Weitere Gebiete mit erhöhten Werten sind im Norden (GWK Stepnitz/Löcknitz, Dosse/Jäglitz und Rhin) und im Süden (GWK Dahme) zu finden. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um Gebiete der indirekten Neubildung bzw. Neubildung im oberflächennahen Bereich. Eine Ausnahme bildet der nördlichste Teil der Alten Oder (Messstellenstandort Neuschönfeld). Hier treten auch in einem Gebiet mit bindigen Deckschichten erhöhte Werte auf. Möglicherweise wurde Nitrat in erhöhten Konzentrationen hierher verfrachtet. In den genannten Gebieten mit erhöhter Nitratkonzentration gehören die Landesmessstellen überwiegend dem Sondermessnetz „Nitrat“ an.

Im Gebiet des Grundwasserkörpers Ücker im Nordosten Brandenburgs wurden flächenhaft geringe Nitratkonzentrationen berechnet. Dieses Gebiet unterliegt zwar auch der landwirtschaftlichen Nutzung, ist aber ein Durchflussgebiet. Hier wird die Schutzfunktion bindiger Deckschichten deutlich. Weitere Gebiete mit flächenhaften geringen Nitratkonzentrationen und landwirtschaftlicher Nutzung treten in den als Urstromtal aggregierten Flächen der Elbeniederung in der Prignitz (Nordwesten), im Oderbruch (Osten) und im Elbe-Urstromtal (Südwesten) auf. Ursache sind die reduzierend wirkenden Milieubedingungen der Niederungsgebiete. Dort wurde vermutlich der eingetragene Stickstoff in Ammonium umgewandelt. Erhöhte Ammoniumgehalten in diesen Bereichen sind die Folge (s. Kap.6.5.2).

In forstwirtschaftlich genutzten Flächen liegen die Nitratgehalte fast immer unter 3,5 mg/l, wie z.B. im Gebiet der Lychener Seenplatte (GWK Obere Havel) oder im Spreewald (GWK Untere Spree). Eine Ausnahme bildet das Waldgebiet an der Grenze zwischen den Grundwasserkörpern Dosse/Jäglitz und Rhin in der Kyritz-Ruppiner Heide. Dort betragen die Nitratgehalte des Grundwassers über 50 mg/l.

Die geringsten Nitratkonzentrationen wurden in den Niederungsgebieten der GWK Oder und Randow im Nordosten sowie Elbe und Schwarze Elster im Westen bestimmt. In Gebieten mit holozänen Moorablagerungen und mit anoxischen Verhältnissen tritt anorganischer Stickstoff im Grundwasser eher in Form von Ammonium auf (z.B. Rhin und Spreewald).

### 6.5.2 Ammonium

Wie schon im Kap. 5.3.3 erläutert, wird Ammonium im Grundwasser Brandenburgs weit verbreitet mit Gehalten über dem Grenzwert der TrinkwV nachgewiesen. Die räumliche Konzentrationsverteilung vom Nordwesten nach Südosten ist auffällig (Anhang 5). Die Gehalte vom Oderbruch ausgehend (hier erhöhte Werte) ändern sich in westliche Richtung. Im Bereich des Barnim liegen die Werte niedriger, während sie im Baruther Urstromtal wieder ansteigen. Sehr geringe Gehalte treten im Hohen

Fläming auf. Hier kommt deutlich der wechselhafte Aufbau des Untergrundes zum Ausdruck. Bei der Auswertung mittels Variogramm wird eine Reichweite von 9.700 Metern betrachtet.

Erhöhte Werte kommen besonders häufig in den Niederungsbereichen mit reduzierenden Verhältnissen vor. Im überwiegend landwirtschaftlich geprägten Oderbruch treten Ammoniumgehalte über 1 mg/l auf. Die Nitratgehalte liegen hier unter 4 mg/l. In diesem Gebiet mit holozänen Auensanden und -lehmen wurde vermutlich das durch die Landwirtschaft eingetragene Nitrat zu Ammonium reduziert.

Der Spreewald (GWK Mittlere Spree) ist ein weiteres größeres Gebiet mit flächenhaft erhöhten Ammoniumwerten. Hier könnte der Stickstoffeintrag durch den in Torfen gebundenen Stickstoff der holozänen Moorbildungen erfolgen. Das verstärkte Auftreten von Ammonium im Gebiet des Nottekanals (GWK Dahme) südlich von Berlin kann sowohl landwirtschaftlich als auch geogen verursacht sein. Weitere Gebiete mit erhöhten Gehalten sind im Norden Brandenburgs in den GWK Rhin sowie Untere bzw. Obere Havel zu erkennen. Auch hier könnte der Eintrag sowohl geogenen als auch anthropogenen Ursprungs sein.

Die größte Fläche mit sehr geringen Ammoniumgehalten liegt im Fläming (GWK Buckau/Plane, Nuthe und westlich angrenzende Areale). Hier befinden sich Sander und Hochflächensande mit oftmals größeren Kornfraktionen. Weitere Bereiche mit geringen Ammoniumkonzentrationen betreffen Gebiete, in denen Nitrat mit hohen Gehalten auftritt, wie z.B. der GWK Untere Spree und der westliche Teil der Alten Oder.

### 6.5.3 Kalium

Dieser Stoff wird durch eine Vielzahl diffus wirksamer Quellen in das Grundwasser eingetragen (s. Kap. 5.3.2). Obwohl bei der Regionalisierung keine Messstellen des Salzmessnetzes berücksichtigt werden, können im Einzelfall geogene Salzeinflüsse nicht völlig ausgeschlossen werden, zumal bei den Betrachtungen auch Brunnen von WVU einbezogen werden. Die Reichweite des zugrunde gelegten Variogramms weist eine Reichweite von 9.600 Metern auf.

Im regionalen Verteilungsbild der berechneten Konzentrationen (Anhang 6) zeichnet sich besonders im Gebiet des Elbe-Urstromtals eine flächenhaft erhöhte Konzentration ab. Die Sedimente in diesem Entlastungsgebiet werden durch Talsande gebildet. Die Grundwasserleiter sind unbedeckt und oberflächennah. Die Nutzung ist heterogen, überwiegend landwirtschaftlich geprägt. Es treten aber auch Siedlungs- und Waldgebiete auf. Teilweise werden erhöhte Ammonium- und Borgehalte gefunden. Dies alles deutet auf anthropogene Eintragsfaktoren durch Abwässer und Düngung hin.

Weitere Gebiete mit höheren Kaliumgehalten treten in Gebieten der aggregierten geologischen Einheit Urstromtal auf (GWK Mittlere Spree, Dahme, Untere Havel und Alte Oder). Eine Ausnahme bildet der Grundwasserkörper Ücker im Nordosten Brandenburgs. Dort kommen auch im Gebiet bindiger Deckschichten erhöhte Konzentrationen vor. In Bezug auf die Landnutzung fallen die erhöhten Kaliumwerte in der Nähe von Siedlungsgebieten auf, z.B. um Falkensee (GWK Untere Havel), Wittenberge (GWK Stepenitz/Löcknitz), Schwedt und Prenzlau (GWK Schwedt bzw. Ücker), Königs Wusterhausen (GWK Dahme) sowie Züllsdorf und Bad Liebenwerda (GWK Elbe-Urstromtal).

In großen Teilen der Grundwasserkörper Rhin, Obere Havel, Alte Oder, Mittlere Spree und Nuthe liegen die Kaliumgehalte im Bereich des Hintergrundgehaltes von 3 mg/l. Die geringsten Kaliumgehalte (< 1,8 mg/l) treten in Waldgebieten im Bereich von Endmoränen auf (z.B. an der Grenze der GWK Untere Spree und Alte Oder bzw. dem GWK Oder bei Eisenhüttenstadt).

Im Vergleich zu den Regionalisierungsergebnissen mit Ammonium zeigt Kalium eine ähnliche räumliche Verteilung. In Gebieten mit erhöhten Kaliumkonzentrationen treten auch erhöhte Ammoniumwerte auf, wie z.B. im Oderbruch oder am Nottekanal (GWK Dahme).

### 6.5.4 Chlorid

Erhöhte Chloridkonzentrationen werden sowohl durch anthropogenen Eintrag als auch durch geogene Prozesse verursacht. Im Ergebnis der regionalen Berechnung (Anhang 7) zeigt sich die flächenhafte Verteilung der Chloridkonzentrationen. Der Hintergrundwert Brandenburgs beträgt ca. 40 mg/l.

Bei der Regionalisierung von Chlorid wurde mit der Variogrammberechnung ein räumlicher Zusammenhang der Messwerte für eine Reichweite von 4.950 Meter ermittelt.

Für Chlorid lassen sich im regionalen Verteilungsbild die verschiedenen Konzentrationsbereiche der Landnutzung und der Geologie zuordnen. Geringe Gehalte (< 28 mg/l) treten überwiegend in Waldgebieten innerhalb der Bereiche von Hochflächensanden auf (z.B. GWK Dosse/Jäglitz, Rhin und Obere Havel im Norden sowie Untere Spree und Buckau/Plane im Süden). In bewaldeten Endmoränengebieten liegen die Konzentrationen unter 19 mg/l. Beispiele hierfür sind das Waldgebiet an der Grenze der Grundwasserkörper Untere Spree und Alte Oder im Barnim sowie der GWK Oder. Treten innerhalb eines Waldgebietes zu Grünland aggregierte Flächen auf, können sie ebenfalls geringe Chloridkonzentrationen von weniger als 21 mg/l aufweisen (z.B. GWK Rhin und Grenzbereich zwischen Mittlerer und Unterer Spree).

Konzentration zwischen 28 und 40 mg/l Chlorid sind häufig in Niederungsgebieten mit Sedimenten von Becken-, See- und Moorablagerungen zu finden (z.B. im Bereich der Flüsse Ücker, Oder, Rhin, Spree und Plane). In landwirtschaftlich genutzten Regionen mit Sedimenten der Grundmoräne und des Urstromtals wurden überwiegend Konzentrationen zwischen 40 und 42 mg/l ermittelt. Die genannten Gehalte liegen etwa im Bereich des Hintergrundwertes. In Niederungsgebieten der Urstromtäler, wie zum Beispiel beim Oder-Spree-Kanal im Berliner Urstromtal, liegen in forstwirtschaftlich genutzten Gebieten die Chloridkonzentrationen zwischen 42 und 50 mg/l. Werden Gebiete mit Becken- bzw. See- und Moorablagerungen landwirtschaftlich genutzt (z.B. Havelländisches Luch, GWK Rhin, Untere Havel), bewegen sich die Chloridkonzentrationen zwischen 45 und 50 mg/l. Die höchsten Chloridgehalte (> 60 mg/l) treten in den Siedlungsgebieten der Urstromtäler auf (z.B. Wittenberge, Oranienburg, Eberswalde, Schwedt, Fürstenwalde und Brandenburg).

Wie im Kap. 2.8 beschrieben, tritt geogen versalzene Grundwasser überwiegend in den Niederungsgebieten des Baruther und Berliner Urstromtals, in der Elbniederung der Prignitz und in den Niederungsgebieten der Ücker in der Uckermark auf. Messstellen des Sondermessnetzes „Geogene Versalzung“ wurden bei der Regionalisierung der Chloridkonzentration nicht berücksichtigt, da bei der Regionalisierung diffus belastetes Grundwasser betrachtet wird. Dennoch sind in der landesweiten Darstellung der Stoffkonzentrationen geogene Einflüsse erkennbar. Südlich von Erkner erstreckt sich z.B. über Gosen, Eichwalde und Waltersdorf in Richtung Dahlewitz-Jühnsdorf eine quartäre Erosionsrinne, die bei Eichwalde den Septarienton vollständig ausgeräumt hat. Diese Struktur widerspiegelt sich deutlich im Verteilungsbild der berechneten Konzentrationen mit Werten über 60 mg/l. Auch Urstromtäler mit Gehalten über 60 mg/l können ein Hinweis auf geogenen Salzwassereinfluss sein (z.B. Standort Briesen im GWK Untere Spree mit forstwirtschaftlicher Nutzung).

In Siedlungsgebieten treten häufiger erhöhte Chloridkonzentrationen auf. Sie deuten zumeist auf anthropogene Einwirkungen hin. Ein geogener Einfluss ist in manchen Fällen jedoch nicht auszuschließen.

## **655 Sulfat**

Für Sulfat existieren ebenfalls verschiedene Eintragspfade (Kap. 5.3.2). So können hohe Sulfatkonzentrationen im Zusammenhang mit geogen versalzene Grundwässern auftreten. In Niederungen kann Sulfat bei der Mineralisation organischer Substanzen im Frühjahr ausgewaschen werden. Die anthropogenen Eintragswege sind vielfältig. Der Hintergrundgehalt für Sulfat liegt im Land Brandenburg zwischen 93 mg/l in Neubildungs- und 128 mg/l in Entlastungsgebieten. Für Sulfat wurde im Vergleich mit den anderen Parametern mit 3.600 Metern die geringste Reichweite im Variogramm berechnet, was im Verteilungsbild der Regionalisierung deutlich zum Ausdruck kommt (Anhang 8). Es treten große Konzentrationsunterschiede bei eng benachbarten Messstellen bzw. Brunnen auf.

Die berechneten Konzentrationen für Sulfat zeigen in ihrem räumlichen Auftreten ein ähnliches Verteilungsmuster wie Kalium und Ammonium. Es zeichnen sich große Gebiete mit hohen Gehalten ab, die weder eindeutige Bezüge zur Landnutzung noch zur Geologie haben.

Ein größeres zusammenhängendes Gebiet mit Werten über 150 mg/l tritt im Westen und Süden von Berlin in den Grundwasserkörpern Untere Havel und Potsdam auf. Weitere Gebiete mit höheren Sulfatgehalten liegen im Süden Brandenburgs am Nottekanal (GWK Dahme), in der Spreeniederung (GWK Mittlere Spree) sowie im Elbe-Urstromtal. Das Grundwasser an den Messstellen des Landes-

messnetzes, aber auch an den Wasserwerksbrunnen hat oftmals Werte, die größer als der Grenzwert der TrinkwV (240 mg/l) sind. Die häufigsten Nutzungsarten in diesen Gebieten sind Siedlung und Landwirtschaft.

Der Grundwasserkörper Untere Havel ist insbesondere in seinem östlichen Teil (Nauener Platte) überwiegend als Durchflussgebiet mit bindigen Deckschichten ausgebildet. Dennoch liegen hier überwiegend hohe bis sehr hohe Sulfatgehalte vor.

Dagegen treten im Spreewald (Urstromtal) und im Gebiet des Nottekanals erhöhte Konzentrationen innerhalb von Entlastungsgebieten auf. In diesen oberflächennahen unbedeckten Gebieten sind Sulfateinträge durch Mineralisation organischen Materials und durch Deposition aus der Atmosphäre möglich, wofür auch die geringen pH-Werte sprechen (z.B. in der Lausitz). Hier ist der Einfluss der Pyritverwitterung durch die Belüftung von tertiären Sedimenten infolge der Grundwasserabsenkung im Braunkohlenbergbau ein möglicher weiterer Faktor.

Im Norden treten erhöhte Werte überwiegend punktuell in Gebieten mit niedrigen Konzentrationen auf (z.B. GWK Stepenitz/Löcknitz, Dosse/Jäglitz, Ücker). So weist z.B. die Messstelle Arendsee OP im Grundwasserkörper Ücker eine Sulfatkonzentration um 320 mg/l auf, während bei den nahe gelegenen Brunnen der Wasserwerke im Umkreis von ca. 1 km nur Gehalte von 19 mg/l nachgewiesen wurden.

Fast in allen nördlichen Grundwasserkörpern (Dosse/Jäglitz, Rhin, Obere Havel und westlicher Teil der Alten Oder) sind geringe Konzentrationen (< 85 mg/l) flächenhaft verbreitet. Aber auch im Süden des Landes Brandenburg treten auf großen Flächen geringe Konzentrationen auf (z.B. GWK Buckau/Plane, Nuthe, Schwarze Elster und südlicher Teil der Unteren Spree). Im östlichen Landesteil hängt die räumliche Verteilung der Sulfatgehalte in starkem Maße von der Flächennutzung ab. Dort sind überwiegend in Waldgebieten geringe Sulfatkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser zu finden.

## Literaturverzeichnis

- BAH (2004): Erstellung einer Abflussspendenkarte für das Land Brandenburg. - Bericht des Büros für Angewandte Hydrologie, Dr. Pfützner, Berlin (unveröff.).
- BÁRDOSY, A., U. HABERLANDT UND J. GRIMM-STRELE (1997): Interpolation of Groundwater Quality Parameters Using Additional Information, geoENV I - Geostatistics for Environmental Applications (Soares, A., et al., eds), Kluwer Academic Publishers.
- BMUNR (2004): Bericht der Bundesrepublik Deutschland gemäß Artikel 10 der Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. - Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn.
- DVWK (1999): Methoden zur Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit. - DVWK-Schriften 125.
- EG (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie) vom 22.12.2000, Luxemburg.
- EG (2006): Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. - Europäische Union, Brüssel.
- FRAUNHOFER (2003): Benutzerhandbuch SIMIK+ ArcView-Erweiterung, Version 1.0. - Hrsg.: Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung (unveröff.).
- GABRIEL, B., HANNAPPEL, S., LANKAU, R. & K. KUHN (2006): Beschaffenheitsmuster der hydrogeologischen Einheiten in Sachsen. - Tagungsband Jahrestagung der Fachsektion Hydrogeologie der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Cottbus.
- GCI (2005): Erfassung belastungsrelevanter Parameter in Analysen von Vorfeld- und Rohwassermessstellen der Wasserwerke im Land Brandenburg, Teilprojekt 3. - Bericht der Grundwasser Consulting Ingenieurgesellschaft an das Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Königs Wusterhausen (unveröff.).
- GERSTENGARBE F.-W., BADECK, F., HATTERMANN, F., KRYSANOVA, V. LAHMER, W., LASCH, P., STOCK, M., SUCKOW, F., WECHSUNG, F. & P.C. WERNER (2003): PIK-Report Nr. 85, Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forstwirtschaft- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.
- HAD (2002): Hydrologischer Atlas von Deutschland. - Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- HANNAPPEL, S. & R. WOLTER (2001): Die Grundwasserzustandsdatenbank des Umweltbundesamtes. - Kurzbericht in: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 45. Jahrgang, Heft 1, S. 15 - 18, Koblenz.
- HANNAPPEL, S., HERMSDORF, A., KOSECK, R., POHL, S. & C. RIETZ (2007): Aufbau des Sondermessnetzes „Geogene Grundwasserversalzung“ in Brandenburg. - In: Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge, H. 1/2 2007, Hrsg.: Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe des Landes Brandenburg, Cottbus (im Druck).
- HYDOR (2003): Vorbereitende Arbeiten zur Risikoabschätzung diffuser Schadstoffquellen für das Berliner Grundwasser. - Bericht HYDOR Consult GmbH an die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- HYDOR (2005): Regionalisierung von stofflichen Grundwasserbelastungen in Mecklenburg-Vorpommern. - Bericht der HYDOR Consult GmbH vom 28.02.2005 an das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Berlin (unveröff.).
- HYDOR (2006): Methodik zur chemischen Charakterisierung von Grundwasserkörpern nach den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie durch Grundwassermessstellen. - FuE-Bericht der HYDOR Consult GmbH an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Berlin (unveröff.).
- KÄHLER, W.-M. (1992): Statistische Datenanalyse mit SPSS.-2.Auflage, Vieweg Verlag, Braunschweig.
- KOLLATSCH, R.-A., KÜCHLER, A., SCHWERDTFEGER, B., STÖLKEN, B. & S. HANNAPPEL (2006): Regionalisierung diffuser stofflicher Grundwasserbelastungen in Mecklenburg-Vorpommern. - Wasser & Abfall, 3/2006 Hildesheim.
- KUHN, K., LANKAU, R., GABRIEL, B. & S. HANNAPPEL (2007): Grundwassermonitoring in Sachsen gemäß den Anforderungen der WRRL unter Nutzung von Beschaffenheitsmustern. - Wasser und Abfall, 1/2007, Hildesheim (in Vorbereitung).
- KUNKEL, R., VOIGT, H.-J., WENDLAND, F. & S. HANNAPPEL (2004): Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. - Schriftenreihe des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 47, ISBN 3-89336-353-X, Jülich.
- LAWA (1993): Grundwasser-Richtlinien für Beobachtung und Auswertung, Teil 3 - Grundwasserbeschaffenheit. - Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Bonn.

- LAWA (2000): Grundwasser - Empfehlungen zur Konfiguration von Messnetzen sowie zu Bau und Betrieb von Grundwassermessstellen (qualitativ). - Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, LAWA-Arbeitskreis „Optimierung des Grundwasserdienstes“.
- LAWA (2007): Eutrophierung in den deutschen Küstengewässern von Nord- und Ostsee, Handlungsempfehlungen zur Reduzierung der Belastung durch Eutrophierung gemäß WRRL, OSPAR & HELCOM im Kontext einer Europäischen Wasserpolitik, Entwurf, Januar 2007 (unveröff.).
- LBGR (1997): Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1:300 000. - Hrsg.: Landesamt für Bergbau, Geowissenschaften und Rohstoffe des Landes Brandenburg, Kleinmachnow.
- LBGR (2002): Atlas zur Geologie von Brandenburg. - Hrsg.: Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2. Auflage, Kleinmachnow.
- LFUG (2002): Bewertungshilfen bei der Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung; Teil A: Orientierungswerte zur Ermessungsausübung sowie Prüf- und Maßnahmenwerte, Teil B: Stoffgefährlichkeitswerte für Einzelstoffe, Branchen und Abfallarten. - Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- LFW (1998): Grundwasser in Bayern, Wasserbeschaffenheit 1993/1997. - Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Informationsberichte Heft 1/1998, München.
- LUA (1996a): Basisbericht zur Grundwassergüte des Landes Brandenburg. - Fachbeiträge des Landesumweltamtes Brandenburg, Titelreihe Nr. 15, 57 S., Potsdam.
- LUA (1996b): Grundwassergütebericht 1992 bis 1995 des Landes Brandenburg. - Fachbeiträge des Landesumweltamtes Brandenburg, Titelreihe Nr. 16, 57 S., Potsdam.
- LUA (1996c): Messnetzkonzeption, Teil Wasserbeschaffenheit Grundwasser. - Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam (unveröff.).
- LUA (2002): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit 1995 bis 2000 im Land Brandenburg. - Hrsg.: Landesumweltamt Brandenburg, Studien und Tagungsberichte (ISSN 0948-0838), Band 41, 49 S.
- LUA (2004): Messnetzaufbau zur Erfassung von oberflächennahen Grundwasserversalzen. - Umweltdaten aus Brandenburg, Bericht 2004, Kap. 3.3.3, Hrsg.: Landesumweltamt Brandenburg.
- LUA (2005): Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg, Reihe 1981 - 2000. - Dokumentation des Landesumweltamtes Brandenburg vom 21.02.2005, Potsdam (unveröff.).
- LUA (2006): Bestandsaufnahme nach WRRL im Land Brandenburg. - Dokumentation des Landesumweltamtes Brandenburg vom 15.03.2006, Potsdam (unveröff.).
- LUBW (2006): Grundwasserüberwachungsprogramm - Ergebnisse der Beprobung 2005. - Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg Karlsruhe.
- MERTEN, O. (2003): Versauerungserscheinungen in quartären Lockergesteinsgrundwasserleitern unter besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Stoffeinträge. - Dissertation BTU Cottbus, Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Hrsg.: Landesumweltamt Brandenburg, Studien und Tagungsberichte (ISSN 0948-0838), Band 45, Potsdam.
- NEUMANN & WYCISK (2002): Erarbeitung von methodischen Grundlagen zur Ermittlung und Darstellung der flächenhaften Grundwasserneubildung auf Grundlage der Karte zum Gesamtabfluss des Hydrologischen Atlas Deutschland. - Abschlussbericht an die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Halle/Saale, November 2002 (unveröff.).
- RECHLIN, B.(1997): Zur Anwendung des hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg. - Brandenburger Geowissenschaftliche Beiträge, 4 (1997), S. 67 - 71, Kleinmachnow.
- SCHLEYER, R. & KERNDORFF, H. (1992): Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen. - Verlag VCH, 245 S., Weinheim.
- SCHULTE, N. (2003): Reorganisation des Grundwasserbeschaffenheitsmessnetzes von Brandenburg. - Master Thesis Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus (unveröff.).
- TrinkwV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung). - In: BGBl. I, Nr. 24 vom 28.05.2001, S. 959.
- 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 EU. - Bericht der FUGRO Consult GmbH an das Umweltbundesamt, Berlin.
- UWG (1993): Konzept zum Grundwassermonitoring, Teil Beschaffenheit für das Land Brandenburg. - Bericht der UWG Gesellschaft für Umwelt- und Wirtschaftsgeologie mbH an das Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, (unveröff.).