

# Grundwassergütebericht 2013 der Freien Hansestadt Bremen



Fachgebiet Geochemie und Hydrogeologie FB 5  
Postfach 330440  
28334 Bremen

Der Senator für Umwelt,  
Bau und Verkehr





# Impressum

## Herausgeber:

© Senator für Umwelt, Bau und Verkehr  
der Freien Hansestadt Bremen

im März 2013

Nachdruck und Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet

Die vorliegende Veröffentlichung steht im Internet auf  
[www.umwelt.bremen.de](http://www.umwelt.bremen.de) unter Wasser\Grundwasser zur Verfügung

Der „Grundwassergütebericht 2013“ des Landes Bremen ist von Mitarbeitern  
des Senators für Umwelt, Bau und Verkehr gemeinsam mit dem Fachgebiet  
Geochemie und Hydrogeologie der Universität Bremen erarbeitet worden.

## Die Mitglieder der Arbeitsgruppe „Grundwassergüte“ sind:

### für die Universität Bremen

Dr. Kay Hamer	fachliche Leitung
Antonia Hofmann	
Nick Liedtke	

### für den Senator für Umwelt, Bau und Verkehr

Claudia Castens	Layout
Dr. Hartwig Elster	
Roland Funck	
Britta Freiheit	
Elzbieta Maahs	
Bernd Schneider	Gesamtkoordination
Martina Völkel	
Jens Wunsch	
Dr. Hans-Peter Weigel SR a. D.	

Dirk Lohmann Photographie	Fotos
---------------------------	-------

## Druck

BerlinDruck, Achim  
gedruckt auf Profisilk FSC

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>Seite</b>
Vorwort	VII
Grundlage und Bedeutung des Grundwassergüteberichts	VIII
Zusammenfassung	X
<b>1 GRUNDLAGEN DER GRUNDWASSERGÜTE</b>	<b>0</b>
1.1 Wasserhaushalt im Land Bremen	1
1.2 Klimawandel und Grundwasser	3
1.3 Geologie und Hydrogeologie im Raum Bremen	3
1.3.1 Bremen	6
1.3.2 Bremerhaven	8
1.4 Einflussfaktoren für die Beschaffenheit des Grundwassers	9
1.5 Grundwasser als Ressource und Lebensraum	9
<b>2 GRUNDWASSERMESSNETZE DER FREIEN HANSESTADT BREMEN</b>	<b>14</b>
2.1 Messnetz zur Überwachung der Grundwassergüte (Grundmessnetz) und Messprogramm	15
2.2 Weitere Messnetze oder Untersuchungsprogramme	16
2.3 Qualitätssicherung bei der Erfassung von Grundwasserdaten	17
<b>3 METHODIK DER DATENAUSWERTUNG</b>	<b>18</b>
3.1 Plausibilität von chemischen Grundwasserdaten	18
3.2 Darstellung der Grundwasserdaten	18
3.3 Überschreitung von Grundwassergütekriterien	18
<b>4 GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT IM LAND BREMEN</b>	<b>20</b>
4.1 Parameter der Gruppe A	21
4.1.1 Vor-Ort-Parameter	24
4.1.2 Chlorid	25
4.1.3 Sulfat und Sulfid	26
4.1.4 AOX	27
4.1.5 Stickstoffverbindungen	27
4.1.6 Bor	29
4.1.7 Praktische Bedeutung der Grundwasserbeschaffenheit – Bauwirtschaft	30
4.2 Parametergruppe B	32
4.2.1 Metallische und metalloide Spurenstoffe	32
4.2.2 Fluorid	41
4.2.3 Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)	41
4.2.4 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	41
4.2.5 BTEX –Vertreter aromatische Kohlenwasserstoffe	43
4.2.6 Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	44

	Seite	
4.3	Parametergruppe C	47
4.3.1	Phenolindex und Cyanid	47
4.3.2	Polychlorierte Biphenyle (PCB)	48
4.3.3	Pflanzenschutzmittel/Metaboliten	49
4.3.3.1	Methodik der Auswertung	49
4.3.3.2	Häufigkeit von PSM-Befunden	49
4.3.3.3	Bedeutung einzelner Pflanzenschutzmittelwirkstoffe	51
4.3.3.4	Flächendeckende Betrachtung	52
4.3.3.5	Zeitliche Entwicklungen	52
4.3.3.6	Pflanzenschutzrechtlich nicht relevante Metaboliten (nrM)	53
4.4	Parameter zusätzlich zum Routinemessprogramm	53
4.4.1	Arzneimittel	53
4.4.2	Industriechemikalien	55
4.4.3	Perfluorierte Tenside (PFT)	56
4.4.4	MTBE – Methyltertiärbutylether	57
4.4.5	Umweltradioaktivität	57
5	ALTLASTENBEDINGTE GRUNDWASSERVERUNREINIGUNGEN	58
6	FAZIT	60
7	LITERATUR UND QUELLEN	62
8	ANHANG	67

# Vorwort



„Ohne Wasser gibt es kein Leben.

Wasser ist ein kostbares, für die Natur und den Menschen unentbehrliches Gut.“

(Europäische Wasser-Charta, Straßburg 1968)

## Sehr geehrte Bremerinnen und Bremer,

Sauberes Grundwasser ist ein wertvolles Gut, das künftigen Generationen zu erhalten ist. Um die Qualität des Wassers in Bremen und Bremerhaven zu sichern oder sogar zu verbessern, müssen wir mit dem Grundwasser, aus dem wir auch unser Trinkwasser schöpfen, sehr behutsam umgehen. Die Kontrolle des Grundwassers gehört zu den wichtigen Aufgaben eines Bundeslandes.

Das Grundwasser wird dabei nicht nur dort beobachtet, wo Trinkwasser gewonnen wird, da die Wasserströme im Untergrund miteinander und mit den Flüssen, Bächen und Seen in Verbindung stehen. Überall ist sauberes Grundwasser eine entscheidende Voraussetzung für die Versorgung der Bevölkerung und der Wirtschaft mit Trink- und Brauchwasser. Ebenso wichtig ist es für die Qualität der Weser und ihrer Nebenflüsse Geeste, Lesum, Ochtum und Wümme.

Grundwasser fließt relativ langsam, weshalb Verschmutzungen oft erst viel später entdeckt werden. Ein bekanntes Beispiel dafür sind Grundwasserschäden durch Altlasten. Hier spüren wir heute Schäden auf, deren Ursache oft Jahrzehnte zurückliegt. Die Umweltbehörde ermittelt dann die Ursachen, leitet Gegenmaßnahmen ein und sorgt für die Sanierung des Schadens – auch zum vorbeugenden Schutz der Gesundheit von Anwohnerinnen und Anwohnern.

Vorsorgender Grundwasserschutz wird in Bremen und Bremerhaven groß geschrieben. In Siedlungen, Gewerbegebieten, in der Landwirtschaft oder im Bereich der Verkehrsinfrastruktur muss so gehandelt werden, dass nachteilige Auswirkungen auf unser Grundwasser vermieden werden. Für eine Stadt mit verschiedensten Nutzungen auf sehr engem Raum ist das eine schwierige Aufgabe.



Ich meine, beim Grundwasserschutz dürfen wir keine Abstriche machen – denn auch die folgenden Generationen haben ein Recht auf eine gute Wasserqualität, besonders beim Trinkwasser.

Seit 1986 wird die flächendeckende Grundwasserüberwachung bereits durchgeführt – es freut mich deshalb sehr, Ihnen die über diesen langen Zeitraum erworbenen Informationen und Kenntnisse im „Grundwassergütebericht 2013 der Freien Hansestadt Bremen“ vorlegen zu können. Sie sind die Grundlage für unsere Arbeit zum Schutz des Grundwassers.

Dr. Joachim Lohse  
Senator für Bau, Umwelt und Verkehr  
der Freien Hansestadt Bremen

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Lohse', written in a cursive style.

## Grundlage und Bedeutung des Grundwassergüteberichts

Die Freie Hansestadt Bremen erhebt Daten zur Erfassung aller Umweltmedien wie Luft, Boden oder Wasser. Diese Daten bilden gemeinsam eine wichtige Grundlage für die Beurteilung des Zustandes der Umwelt. Die Informationen zur Wasserqualität lassen sich in Oberflächenwasser- und Grundwasserdaten aufgliedern, wobei das Grundwassermessnetz sich systematisch in die Messnetze zur Grundwassergüte und zum Grundwasserniveau einteilen lässt.

Seit über 25 Jahren wird an bis zu 150 Messstellen landesweit und regelmäßig die Grundwassergüte bzw. die Qualität des Grundwassers vom Umweltsenator erfasst. Diese Messstellen sind nur eine Auswahl einer Vielzahl vorhandener Grundwassermessstellen im Land Bremen. Im Allgemeinen unterteilt man Grundwassermessnetze in das Grundmessnetz des Landes und Sondermessnetze (Abb. 1).

Dieses relativ weitmaschige Grundmessnetz zur Grundwassergüte wird durch sogenannte Sondermessnetze ergänzt und verdichtet. Zu diesen Sondermessnetzen zählen Messstellen zur Qualität der Wasserversorgung und die Schadensfallmessstellen im Zuge von Altlastenuntersuchungen.

So dienen die Messstellen der Sondermessnetze zur Qualität des Wassers in der Wasserversorgung dazu, Daten zur Sicherheit der Trinkwasserversorgung zu liefern (siehe „Trinkwasserversorgungsbericht des Landes Bremen“ (SUS 1993)). Die Sondermessnetze der altlastenbedingten Grundwasserunreinigungen ermöglichen, Grundwasserbelastungen durch Altlasten zu erkunden und später Maßnahmen und deren Erfolg zu überwachen. Der zuständige Umweltsenator hat hierzu umfassend in einer Broschüre informiert (SBUV 2006), wendet sich an die direkt betroffenen Anlieger

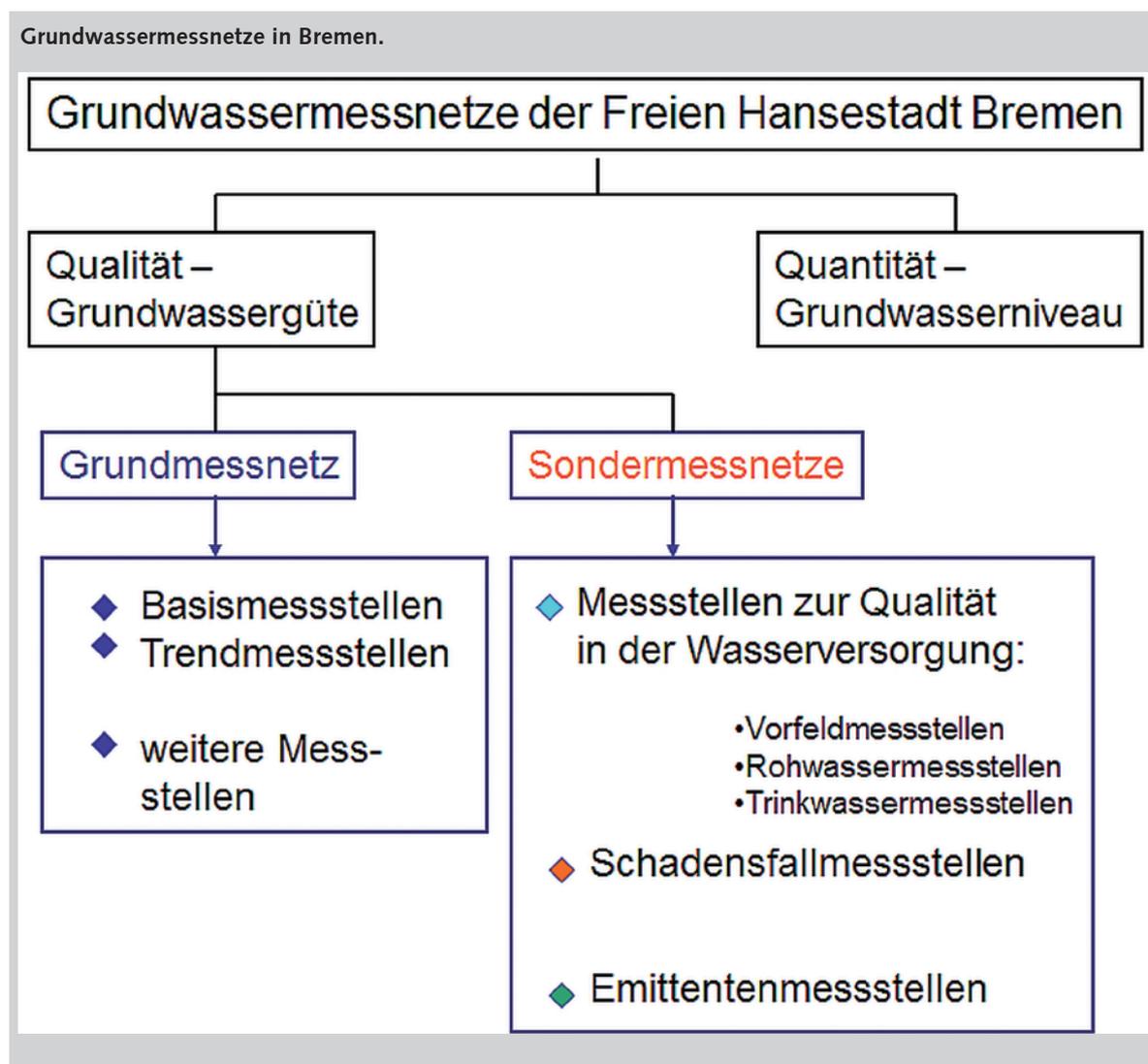


Abb. 1: Grundwassermessnetze in Bremen. Der vorliegende Grundwassergütebericht beschränkt sich ausschließlich auf Daten des sogenannten Grundmessnetzes.

und aktualisiert den Kenntnisstand unter anderem im Internet ([www.umwelt.bremen.de](http://www.umwelt.bremen.de) bei „Boden/Altlasten - Altlastenbedingte Grundwasserverunreinigungen“).

Grundwasser-Sondermessstellen und -messnetze dienen also in erster Linie der Erfüllung spezieller, räumlich sowie zum Teil auch zeitlich begrenzter Messaufgaben und erfassen dabei nur einen sehr geringen Teil der Landesfläche von wenigen Prozent. Das Grundmessnetz hingegen erlaubt die langzeitliche Erfassung der Grundwasserqualität für die gesamte Landesfläche der Freien Hansestadt Bremen an repräsentativ ausgewählten Stellen.

Die konkreten Aufgaben der landesweiten Überwachung der Grundwasserqualität sind:

- möglichst repräsentative Feststellung der lokal typischen Grundwasserbeschaffenheit im oberflächennahen Grundwasser
- Erfassung eintretender oder sich abzeichnender Veränderungen durch diffuse menschliche Einwirkungen in Abhängigkeit verschiedener Landnutzung und Gefährdungspotentialen
- Bereitstellung einer Datengrundlage für die Planung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen und Vorhaben.

Der vorliegende Grundwassergütebericht beschränkt sich ausschließlich auf Daten des sogenannten Grundmessnetzes, welches seit Mitte der 80er Jahre betrieben wird und hier erstmals in seinen Ergebnissen insgesamt vorgestellt wird. Ziel des vorliegenden Berichts ist damit die Beschreibung der landesweiten Qualität des oberflächennahen Grundwassers und seiner Veränderung innerhalb der letzten 25 Jahre.



## Zusammenfassung

Die Freie Hansestadt Bremen betreibt seit 1986 ein systematisches Grundwasser-Monitoring zur Erfassung der Qualität des Grundwassers in Bremen und Bremerhaven und setzt damit europäische und nationale Richtlinien und Gesetze um. Die Grundwasservorräte sind Voraussetzung für die Versorgung der Bevölkerung und Wirtschaft mit Trink- und Brauchwasser, wobei Informationen zur Quantität und Qualität der Ressource Grundwasser die Grundlage für wasserwirtschaftliche Entscheidungen darstellen.

An über 150 zur Verfügung stehenden Messstellen werden bis zu 30 Parameter regelmäßig zweimal pro Jahr und weitere Parameter in größeren Abständen erfasst. Anlassbezogen werden zusätzliche Substanzen gemessen. Die Durchführung der Probenahme und Analytik im Rahmen des Grundwassermessprogramms im Land Bremen obliegt seit Jahren (1999) dem Landesuntersuchungsamt für Chemie, Hygiene und Veterinärmedizin (LUA). Das LUA folgt dabei international gültigen Qualitätsansprüchen (DIN EN ISO/IEC 17025) und ist entsprechend akkreditiert.

Die Analysenwerte sind nach chemischen Plausibilitätsprüfungen nun Bestandteil einer Umweltdatenbank. Im Rahmen der Auswertung wurde geprüft, ob Grundwassergüte-Kriterien durch Messwerte im Bremer Grundwasser überschritten werden. Kriterien in diesem Sinne sind die europäischen Umweltqualitätsnormen für Nitrat und Pflanzenschutzmittel, die Schwellenwerte der Grundwasserverordnung (GrwV 2010) sowie die Geringfügigkeitsschwellen der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2004). Zusätzlich wird analysiert, ob das Niveau eines Warnwertes in der Höhe von 75 % des jeweiligen Grundwassergütekriteriums erreicht wird. Dieser Warnwert erlaubt die Prüfung von Maßnahmen, bevor das eigentliche Grundwassergütekriterium überschritten wird.

Als eine wichtige Grundlage für die Auswertung sind geologische und hydrogeologische Rahmenbedingungen zusammengefasst dargestellt, die im Detail durch den Geologischen Dienst für Bremen erarbeitet und als Planungsgrundlagen für Bremerhaven, Bremen-Nord und Bremen-Stadt veröffentlicht wurden.

Der Aufbau des Grundwassermessnetzes ist so konzipiert, dass die Qualität des Grundwassers in Abhängigkeit von naturräumlichen und zeitlichen Verhältnissen bewertet werden kann. Das Messnetz soll dabei nicht die Ansprüche zur Überwachung von laufenden Baumaßnahmen und von Gefahren durch Altlastensandorte erfüllen. Hierfür sind Sondermessprogramme erforderlich. Derartige Sondermessprogramme und andere Grundwasserüberwachungsprozesse werden anlassbezogen durchgeführt und ergänzen das allgemeine Grundwassermonitoring des Landesmessprogramms.

Im Bericht sind für alle analysierten Parameter wesentliche Eigenschaften im Grundwasser und mögliche Eintrittspfade in das Grundwasser dargestellt. Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Bei Einteilung der Grundwasseranalysen in sechs Grundwassertypen lässt sich feststellen, dass überwiegend Calcium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Wasser anzutreffen ist und die Grundwasserbeschaffenheit an den untersuchten Messstellen seit 1986 wenige Veränderungen zeigt. Insgesamt ist das oberflächennahe Grundwasser oft anoxisch. So zeigt die Hälfte der Grundwasseranalysen Sauerstoffkonzentrationen unter 0,4 mg/L, Eisenkonzentrationen unter 5 mg/L und Ammoniumkonzentrationen geringer als 0,6 mg/L. Küstennah und im Einzugsbereich von Salzstöcken sind hohe Chlorid- und auch Sulfatkonzentration festzustellen. Diese Grundwassereigenschaften erfordern gesonderte Maßnahmen bei der Gründung von Fundamenten und der Wasserhaltung z.B. in Baugruben.

Generell überschreitet nur ein kleiner Anteil aller Analysen die Grundwassergütekriterien (rote Bereiche der Abb. Z-1 und Z-2). Konstant steigende Konzentrationen, also Verschlechterungen der Grundwassereigenschaften, sind mit sehr vereinzelt Ausnahmen nicht festzustellen.

Die Parameter Chlorid, Ammonium, Cadmium, Vanadium und Zink weisen mit einem Anteil unter 10% aller Messwerte die höchsten Überschreitungsquoten aller Parameter auf. Für Chlorid und Ammonium kann dieser hohe Anteil an Überschreitungen auf natürliche Gegebenheiten zurückgeführt werden.

Für die Metalle und Metalloide Antimon, Molybdän, Quecksilber und Thallium werden keine Überschreitungen der jeweils gültigen Grundwasserkriterien ermittelt. Für die übrigen Metalle werden Überschreitungen zumindest mit Einzelwerten festgestellt. Bei Cadmium, Vanadium und Zink überschreitet ein Anteil über 10% aller Messwerte die Grundwassergütekriterien (Abb. Z-1). Auch diese metallischen Spurenstoffe sind natürliche Bestandteile des Grundwassers. Je nach Beschaffenheit des Aquifers kann ihre natürliche Konzentration im Grundwasser variieren. Darüber hinaus können weitere Belastungen auch durch anthropogene Einträge entstehen. Wichtig ist, dass mit Ausnahme von Einzelfällen bei Metallen und Metalloiden keine aktuellen steigenden Trends der Konzentrationen nachgewiesen werden. Allerdings werden Antimon, Selen, Thallium, Vanadium und Molybdän erst seit so kurzem gemessen, dass Aussagen zum Langzeitverhalten noch nicht möglich sind.

## Übersicht der Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen

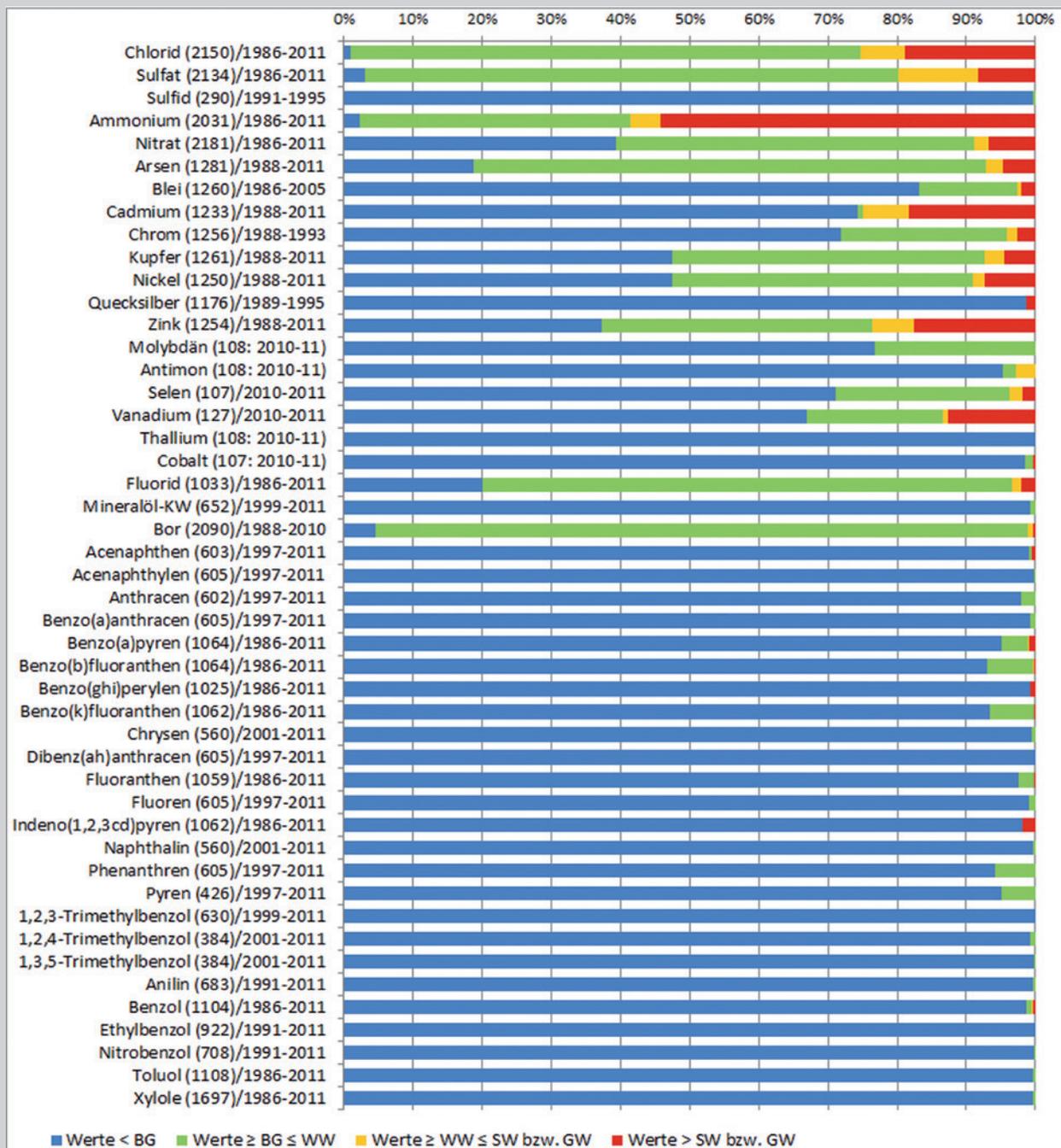


Abb. Z-1: Übersicht der Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen 1986-2011 (Hauptionen, Schwermetalle, MKW, PAK, BTEX); Es wird in fünf farblich unterschiedenen Klassen dargestellt: Blaue Balken zeigen den Prozentanteil der Messungen unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG), grüne Balken Befunde zwischen BG und Warnwert. Gelbe Felder markieren den Bereich zwischen Warnwerten und Grundwassergütekriterien (SW/GW). Rote Balken repräsentieren Anteile oberhalb von Grundwassergütekriterien.

## Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen

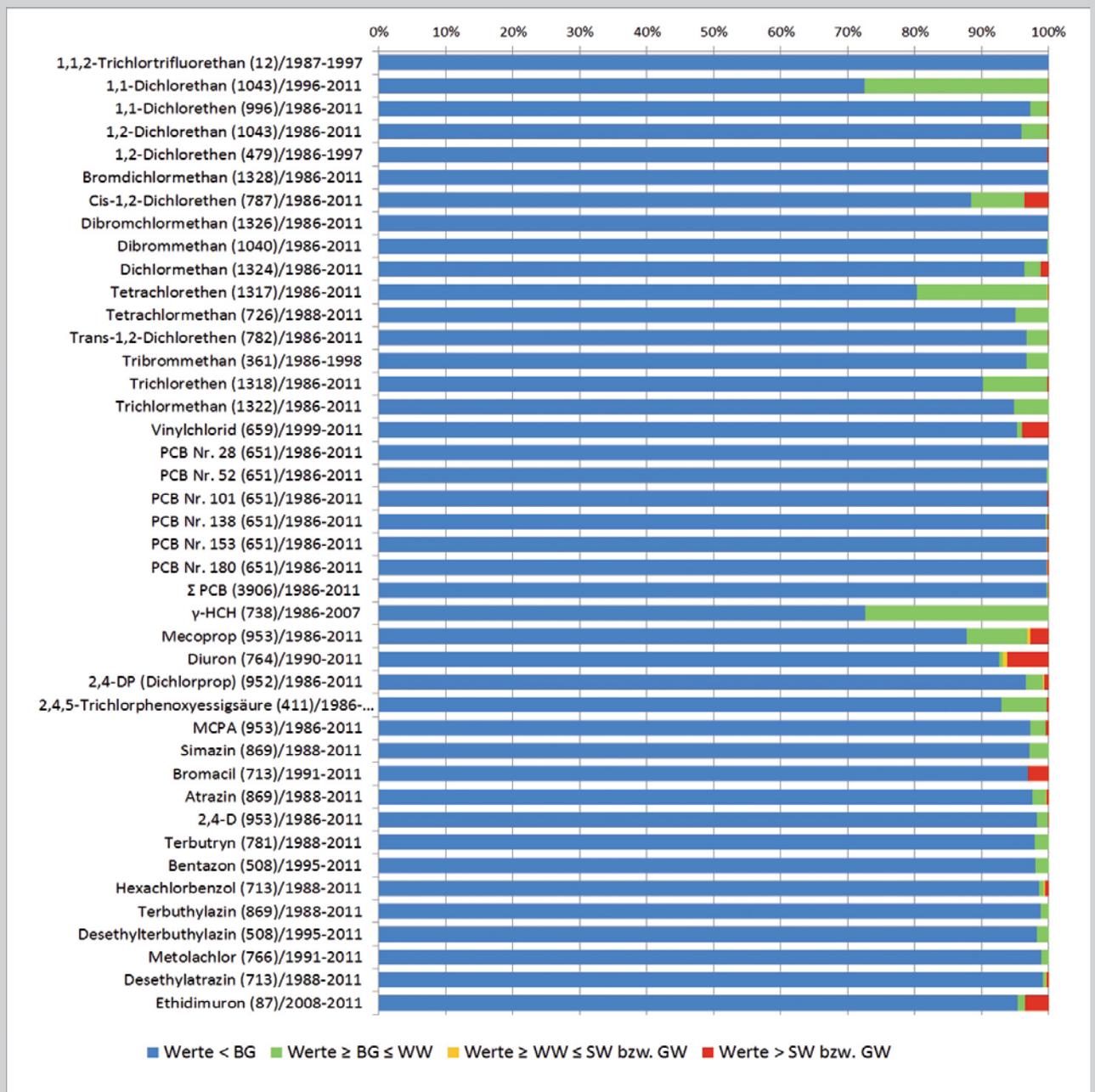


Abb. Z-2: Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen 1986-2011 LHKW, PCB und Pflanzenschutzmittel (PSM):

Blaue Balken zeigen den Prozentanteil der Messungen unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG), grüne Balken Befunde zwischen BG und Warnwert. Gelbe Felder markieren den Bereich zwischen Warnwerten und Grundwassergütekriterien (SW/GW). Rote Balken repräsentieren Anteile oberhalb von Grundwassergütekriterien.

Neben den Grundwassergütekriterien sind natürliche Hintergrundwerte ein weiteres Kriterium zur Beurteilung dieser Konzentrationen. Man kann festhalten, dass sich die Konzentrationen für die Metalle und Metalloide im Rahmen regional typischer Konzentrationen bewegen. Für einige Metalle und Metalloide (Antimon, Molybdän, Selen und Vanadium) werden bundesweit gerade erst die notwendigen Daten erhoben, um Hintergrundwerte zu berechnen. Unabhängig davon liegen Cadmium und Zink im Bremer Grundwasser verglichen mit den Hintergrundwerten allerdings im oberen Bereich der regional typischen Konzentrationen.

Von den organischen Schadstoffen werden neben Einzelsubstanzen auch Indikatoren wie der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) und der adsorbierbare Anteil organischer halogener Verbindungen (AOX) sowie verschiedene Summenparameter (MKW, LHKW, BTEX, PAK, PCB) erfasst.

Die jüngsten Befunde für Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze stammen aus dem Jahr 2001, wobei nur vereinzelt Überschreitungen von Grundwassergütekriterien auftreten. Die Überschreitungen der Grundwassergütekriterien für die 16 Polyaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) reichen mit einer Ausnahme (Acenaphten) in die Mitte der 90er Jahre zurück. Für die Stoffgruppe der BTEX-Verbindungen liegen zeitlich und räumlich vereinzelt Überschreitungen vor. Befunde für leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) treten ebenfalls vereinzelt auf und konzentrieren sich auf drei Messstellen, allerdings ohne erkennbare zeitliche Trends. Polychlorierte Biphenyle (PCB) werden im Grundwasser kaum nachgewiesen, wobei die letzten Überschreitungen des Grundwasserkriteriums aus dem Jahr 1991 stammen.

In sehr großem Umfang werden Pflanzenschutzmittel (PSM) im Grundwasser untersucht: In Bremen wurden seit Beginn der Qualitätsüberwachung des Grundwassers 130 verschiedene Substanzen gemessen, davon ca. 40 regelmäßig, üblicherweise im Abstand von vier Jahren. Die höhere Zahl der gemessenen Stoffe gegenüber dem Standard Messprogramm ist auf Sonderfragestellungen zurückzuführen. So wurde seit 2008 ein Übersichtsmessprogramm für mehr als 80 Substanzen durchgeführt.

In Bremen sind nach den Erhebungen der letzten Jahre über zwei Drittel aller beprobten Messstellen ohne Nachweis für Pflanzenschutzmittel; bundesweit wird festgestellt, dass die Anzahl der Messstellen, die Konzentrationen für PSM über 0,1 µg/L aufweisen, zurückgeht. Dies wird auf Maßnahmen zur Verbesserung des Pestizideinsatzes zurückgeführt. Dazu gehören der Wandel der Produktion (Bioanbau), Beratungsmaßnahmen, Anwendungsbeschränkungen für Handelsprodukte mit bestimmten Wirkstoffen in sensiblen Gebieten und Anwendungsverbote.

Trotz ihrer Anwendungsverbote gehören Atrazin, Bromazil, Diuron, Ethidimuron und Simazin zu den sechs Pflanzenschutzmittelwirkstoffen, die im Bremer Grundwasser immer noch oft nachzuweisen sind und auch über dem Grenzwert analysiert werden. Einzig Mecoprop als dritthäufigst nachgewiesener Wirkstoff im Bremer Grundwasser hat eine Zulassung. In der Wirkstoffrangfolge der Befunde über 0,1 µg/L, also oberhalb des Grenzwertes, wird die Bedeutung der Substanzen Mecoprop und Diuron offensichtlich: 8% der untersuchten Messstellen zeigen für Diuron und 12% für Mecoprop Überschreitungen des Grenzwertes. Alle anderen Wirkstoffe werden in weniger als vier Messstellen in Konzentrationen oberhalb des Grenzwertes nachgewiesen.

Andersherum lässt sich aber feststellen, dass ein großer Teil der untersuchten Wirkstoffe nicht nachgewiesen wird. Das gilt für 16 von 42 Wirkstoffen des Routine-messprogramms seit 1986 und für 77 von 87 Wirkstoffen und Metaboliten des Sondermessprogramms ab 2008. Parallel zu den Wirkstoffen wurden pflanzenschutzrechtlich nicht relevante Metaboliten (kurz: nrM) untersucht, wobei die wenigen Nachweise unterhalb des jeweiligen Grundwassergütekriteriums liegen.

Zusätzlich zu den Routineparametern wurden Arzneimittel, Industriechemikalien und bestimmte Nuklide erfasst.

Im Bremer Grundwasser wurden zwischen 2000 und 2002 Arzneimittel und Veterinärpharmaka an 42 Messstellen im Grundwasser untersucht. Generell ist der gemeinsame Eintrag beider Stoffgruppen in das Grundwasser über Leckagen in Abwassersystemen, vormalige Abwasserrieselung oder den Einsatz von Klärschlämmen, die ihrerseits Arzneimittel oder Industriechemikalien enthalten, möglich. Die Befunde treten räumlich sehr heterogen verteilt auf. Während sich Arzneimittelbefunde auf ca. 10% der Messstellen beschränken, zeigen einige der untersuchten Industriechemikalien, im wesentlichen Duftstoffe und Weichmacher, eine flächendeckende Verbreitung im Grundwasser. Die Sondermessprogramme für Perfluorierte Tenside (PFT) und den Kraftstoffzusatz MTBE zeigten keine Befunde oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze.

Außerdem werden regelmäßig 14 Radionuklide im Grundwasser gemessen. Alle Messwerte zeigen eine sehr niedrige Belastung des Grundwassers und liegen mit Ausnahme der Nuklide von Strontium, Kalium und Uran unterhalb der Bestimmungsgrenze.

# 1 Grundlagen der Grundwassergüte



## 1.1 Wasserhaushalt im Land Bremen

Der globale Wasserkreislauf wird angetrieben durch die Sonneneinstrahlung. Durch Verdunstung aus Gewässern, Böden und Pflanzen gelangt Wasserdampf in die Atmosphäre, wird durch Winde global verteilt und kehrt bei Abkühlung als Niederschlag zurück auf die Erdoberfläche. Teile des Niederschlags unterliegen der Verdunstung, andere Anteile fließen oberflächlich ab oder versickern im Boden. Das Eindringen des Niederschlagswassers in den Boden trägt zur Neubildung von Grundwasser bei. Grundwasser als Teil des Wasserkreislaufs stellt das unterirdische Wasser dar, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung besonders durch die Schwerkraft und durch Reibungskräfte im Gestein bestimmt wird. Die Bewegung des Grundwassers wird nach der Grundwasserneubildung also vom geologischen Bau des Untergrundes und den hydrogeologischen Eigenschaften der grundwasserführenden Schichten bestimmt.

Der Wasserhaushalt einer Region lässt sich in einer Bilanz mit den Hauptkomponenten Niederschlag (N), Abfluss (A<sub>o</sub>) und Verdunstung (ET) beschreiben. So ergibt sich die Grundwasserneubildung (GWN) aus Niederschlag abzüglich Verdunstung und oberirdischem Abfluss:

$$GWN = N - ET - A_o \text{ [mm/a].}$$

Im Folgenden werden für Bremen und Bremerhaven Spannbreiten für die Größen des jeweiligen Wasserhaushalts angegeben:

Das Land Bremen liegt im Bereich eines gemäßigten Klimas (Temperaturmittel 1961-1991: 8,8° C in Bremen und 9,0° C in Bremerhaven) und ist durch die Meeresnähe geprägt. Kühle, regenreiche Sommer und vergleichsweise milde Winter führen bei vorherrschend westlichen Winden zu 650-750 mm/a Niederschlägen in Bremen und Bremerhaven. Die ermittelten Jahresdurchschnittswerte schwanken je nach betrachtetem Zeitraum (Tab. 1-1).

Ort	Zeitraum	Niederschlag mm/a	Quelle
Bremerhaven	1893-2002	726	Jensen et al. (2003) /DWD <sup>1</sup>
Bremerhaven	1993-2002	786	Jensen et al. (2003) /DWD
Bremerhaven	1961-1991	741	DWD (2012)
Bremen	1961-1991	640-750 <sup>2</sup>	DWD (2012)

<sup>1</sup> Jensen et al. (2003) zitieren Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

<sup>2</sup> Die Wertespanne bildet die Jahresdurchschnittswerte von 10 Klimastationen ab

Tab. 2 1: Niederschlagshöhen (Jahresdurchschnittswerte) in Bremen und Bremerhaven

Wie die Niederschläge unterliegt auch die Grundwasserneubildung gewissen Schwankungen. Die Grundwasserneubildung ist dabei nicht nur von saisonalen Effekten wie Bewuchs und Jahreszeit, sondern auch von Wasseraufnahmevermögen und der Durchlässig-

keit des Bodens, Versiegelungsgrad, GW-Flurabstand, hydrostatischen Druckverhältnissen im Untergrund (artesisch oder nichtartesisch) und Hangneigung abhängig.

Gebiet	Minimum	Maximum	Quelle
Bremerhaven	50	300	Kunkel et al. (2006) Kreins et al. (2009)
Bremerhaven	< 25	300	Jensen et al. (2003)
Bremerhaven	< 100	300	NLFB (1979)
Bremen	< 100 (Niederungen)	300 (Geest Bremen-Nord)	NLFB (1979 und 1982)
Bremen	50	400	Kunkel et al. (2006) Kreins et al. (2009)
Bremen-Nord	<50	337	Jensen (2010)

Tab. 1-2: Grundwasserneubildungswerte [mm/a] für Bremen und Bremerhaven

In einer Detailuntersuchung in Bremen Nord wurde eine mittlere Grundwasserneubildung von 165 mm/a zwischen <50 und 337 mm/a ermittelt (Jensen 2010). Eine Schwankungsbreite dieser Größenordnung ist im gesamten Gebiet der Freien Hansestadt anzutreffen (Abb. 1-1) und wird durch andere Arbeiten bestätigt (Tab. 1-2).

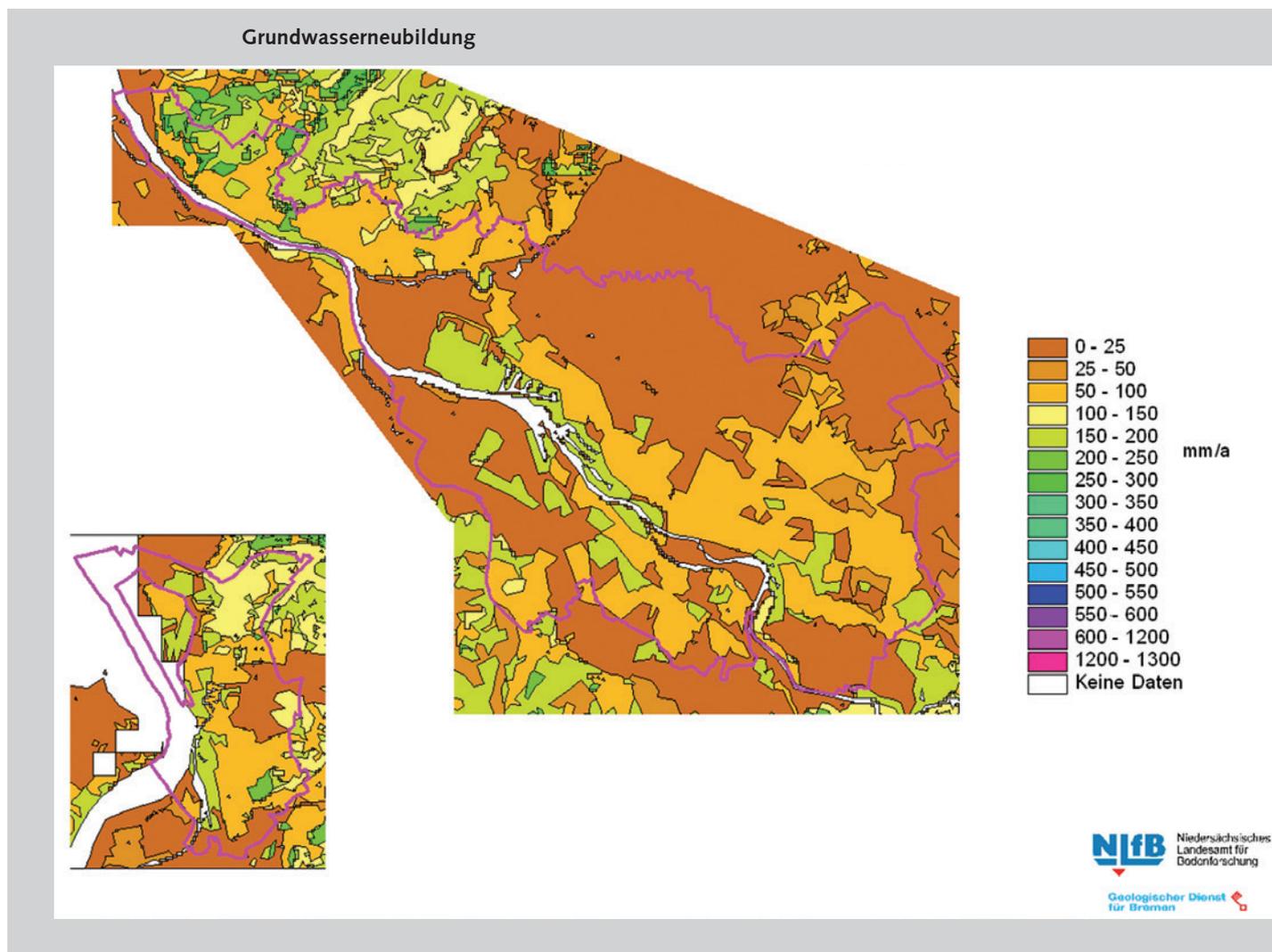


Abb. 1-1: Grundwasserneubildung (mm/a) in Bremen und Bremerhaven (aus GdfB und NLFB 2004)

Die Spannbreiten der Grundwasserneubildung sind aber nicht nur auf die Variabilität der genannten Einflussgrößen, sondern auch auf die Berechnungsmethode der Grundwasserneubildung zurückzuführen. Systematische Untersuchungen der Staatlichen Geologischen Dienste (Lemke und Elbracht 2008; Jensen 2010) konnten zeigen, dass die Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell GROWA (Kreins et al. 2009;

Kunkel et al. 2006) für die bodenkundlich-geologischen Verhältnisse in Bremen gut geeignet sind. Daher haben die Bundesländer Bremen, Niedersachsen, Hamburg und Nordrhein-Westfalen ihre großräumige Grundwasserneubildung mit dieser Methode ermittelt (Kunkel et al. 2006). Insgesamt zeigen alle Glieder des Wasserhaushalts gewisse natürliche Spannbreiten.

## 1.2 Klimawandel und Grundwasser

Die Analysen langjähriger Messreihen von Temperatur und Niederschlag lassen Klimaänderungssignale in den beobachteten Zeitreihen erkennen und für die Zukunft erwarten (IPCC 2007). Für die umweltpolitischen Handlungsfelder Vermeidung des Wandels (Mitigation) und Anpassung daran (Adaption) sieht die Wasserwirtschaft in Deutschland und natürlich auch im Land Bremen den Schwerpunkt im Bereich der Anpassungsstrategie. Hierzu zählt in Bremen vor allem die Verbesserung des Hochwasserschutzes und die Bewirtschaftung des Oberflächenwasser- und des Grundwasserregimes.

Infolge des Klimawandels wird von räumlichen und jahreszeitlichen Veränderungen der Niederschlagscharakteristika ausgegangen. Die Wechselwirkungen zwischen teilweise feuchteren, wärmeren Wintern mit möglicherweise hoher Grundwasserneubildung einerseits und trockenen heißen Sommern ohne Grundwasserneubildung andererseits sowie der Verlängerung der Vegetationsperioden verbunden mit höherer Verdunstung können zur Veränderung des Grundwasserdargebots führen. Im Bereich der Küsten beeinflusst die Tide die Grundwasserströmung. Höhere Meeresspiegelstände verändern zusätzlich den Gradienten zwischen Fluss-/Küstengewässern und Grundwasser, wodurch es

zu einem erhöhten Süß-/Salzwasseraustausch in der Vermischungszone zwischen landbürtig zufließendem Grundwasser und fluss-/küstenbürtigem Uferfiltrat kommt.

Neben der Grundwassermenge kann prinzipiell auch eine Veränderung seiner Qualität durch den Klimawandel hervorgerufen werden. So werden sich mit der Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur auch die Temperaturen in Böden und im oberflächennahen Grundwasser erhöhen. Damit einher gehen Veränderungen der temperaturabhängigen chemischen und biologischen Prozesse wie Stofftransport und -umsatz. Beispielsweise ist zu erwarten, dass im Boden mehr Humus abgebaut, Stickstoff mineralisiert und in das Grundwasser ausgewaschen wird. Sollten durch Trockenperioden die Grundwasserstände unter die derzeit bekannten Niedrigwasserstände sinken, kann es zur Konzentrierung von geogenen und anthropogenen Stoffen und damit zur Änderung der Grundwasserqualität kommen.

Aufgrund der Bedeutung des Klimawandels werden eine große Zahl von Forschungs- und Entwicklungsprojekten hierzu durchgeführt, wobei das abgeschlossene Projekt KLIMU die Situation und Perspektive des Unterweserraums umfassend beschreibt (Schuchardt und Schirmer 2005).

## 1.3 Geologie und Hydrogeologie im Raum Bremen

Die Landschaft der Norddeutschen Tiefebene ist vor allem durch die Kaltzeiten und den Meeresspiegelanstieg durch Abschmelzen des Inlandeises während der Warmzeiten geprägt. Darüber hinaus sind subglaziale Schmelzwasserrinnen und Salzstöcke geologisch bedeutsame Elemente des Untergrundes.

In Norddeutschland lagern über den salinaren Ablagerungen des Zechsteins (250 Millionen Jahre vor heute) die Gesteine der Trias, Jura und Kreide, die gemeinsam eine Mächtigkeit von ca. 3500 m aufweisen. Die darüber sedimentierten tertiären Ablagerungen umfassen ca. 1000 m. Ab einer überlagernden Mächtigkeit von mehreren Hundert Metern setzt die Halokinese der Salze des Zechsteins ein, wobei die Salze u.a. aufgrund von Dichteunterschieden gegenüber den überlagernden Schichten aufsteigen. Dabei werden die darüber liegenden Schichten aufgewölbt und verformt (Abb. 1-2). Es entstehen Salzstöcke und Salzmauern, die zum Teil bis an die heutige Geländeoberfläche reichen und im Untergrund weit verbreitet sind (Abb. 1 3).

Einfluss der Salzstöcke

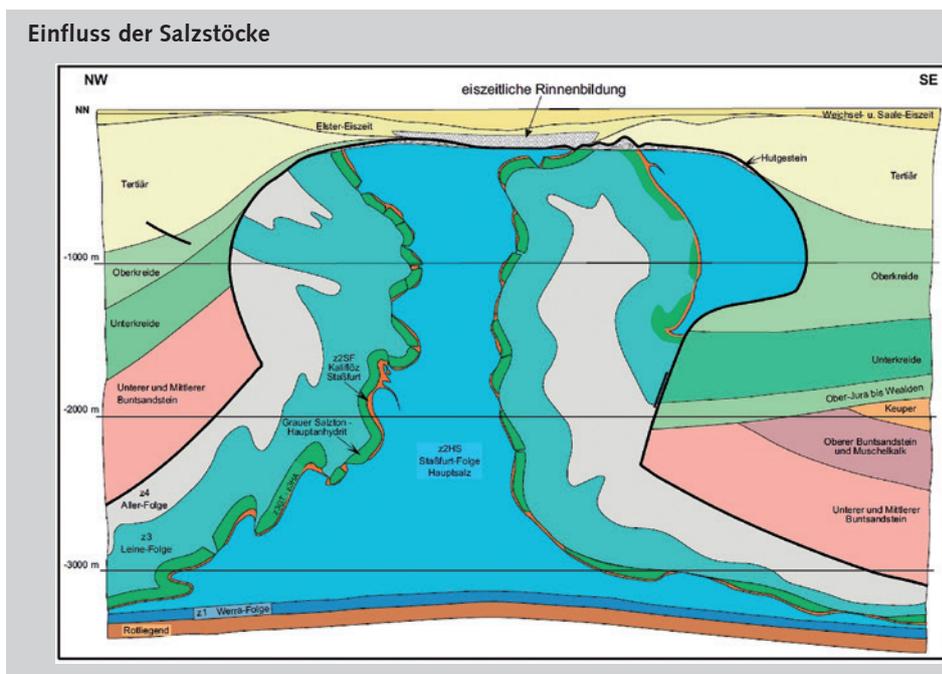


Abb. 1 2: Einfluss der Salzstöcke auf den geologischen Untergrund Norddeutschlands (aus Bornemann 1991)

Vor ca. 2,6 Millionen Jahren beginnt das Zeitalter des Quartärs. Eine weltweite Abkühlung des Klimas führt zur Bildung von Inlandeis und lässt den damaligen Meeresspiegel um 80-100 m sinken. In Nordwesteuropa stößt das Inlandeis mehrfach und jeweils unterschiedlich weit vor und erreicht während der Elster- und Saalevereisungen den Bereich der Weser (Abb. 1-4).

Während der Elster-Kaltzeit bilden sich unterhalb des Gletschers weitläufige Rinnensysteme durch den Schmelzwasserfluss (Abb. 1-5). Die Rinnen können Breiten von 2-3 km und Tiefen von mehr als 300 m erreichen und werden mit oft grobkörnigen Lockersedimenten verfüllt. Auch während der Saale-Kaltzeit kommt es zur Ausbildung von Rinnensystemen, allerdings im Weserbereich lediglich mit Tiefen von 15-25 m und geringerer Breite.

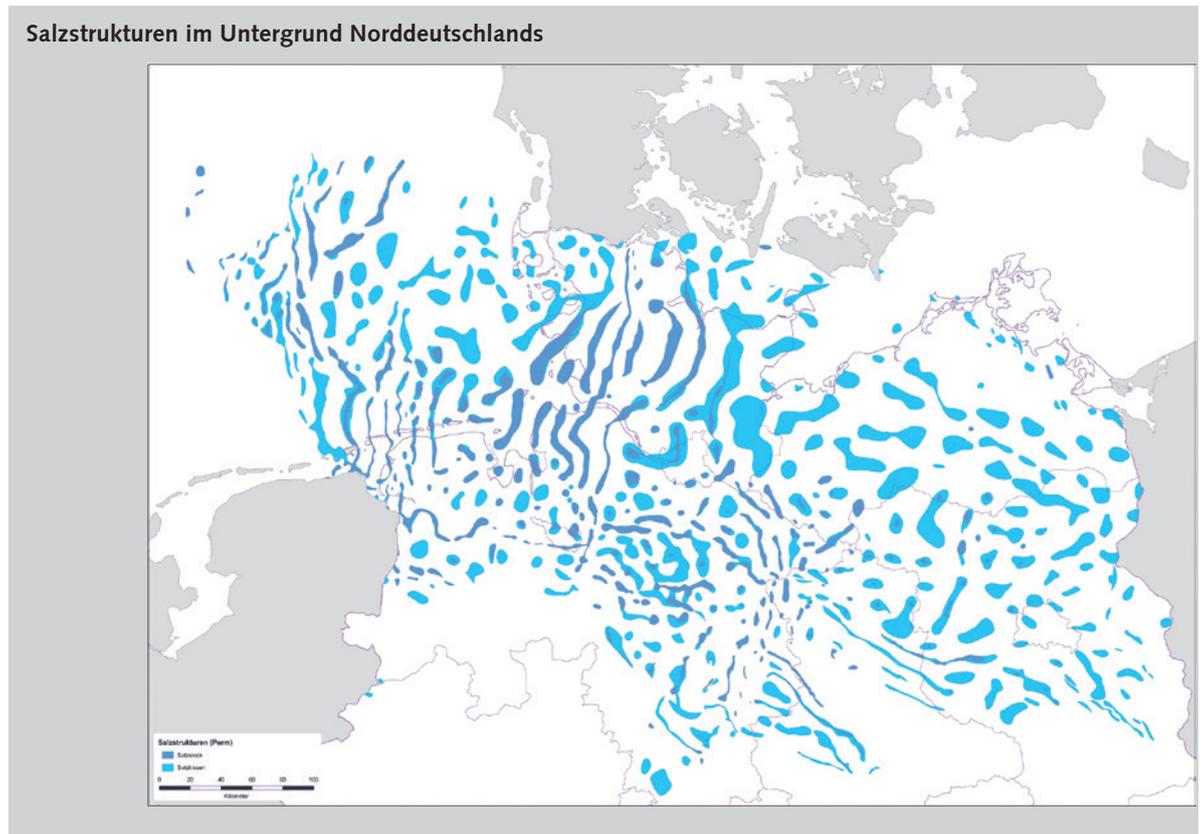


Abb. 1-3: Salzstrukturen im Untergrund Norddeutschlands (BGR 2008)

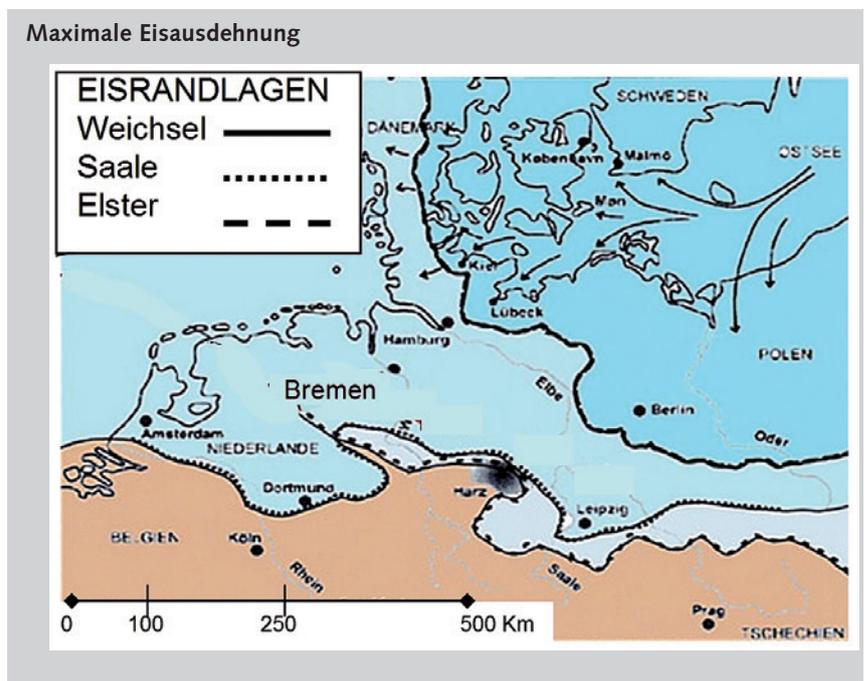


Abb. 1-4: Maximale Eisausdehnung während der Vereisungen in Norddeutschland

Die Weichselvereisung erreicht den Bereich der Weser nicht, überformt die Landschaft aber durch das Periglazialklima und in den Niederungen werden glazifluviale Ablagerungen sedimentiert. Mit der Klimaerwärmung im Holozän steigt der Meeresspiegel wieder und an neu entstehenden Küsten und in Flussniederungen kommt es zu Marschablagerungen und Moorbildungen (Jensen et al. 2003).

Die Weichselvereisung erreicht den Bereich der Weser nicht, überformt die Landschaft aber durch das Periglazialklima und in den Niederungen werden glazifluviale Ablagerungen sedimentiert. Mit der Klimaerwärmung im Holozän steigt der Meeresspiegel wieder und an neu entstehenden Küsten und in Flussniederungen kommt es zu Marschablagerungen und Moorbildungen (Jensen et al. 2003).

Subglaziale Rinnen der Elsterzeit

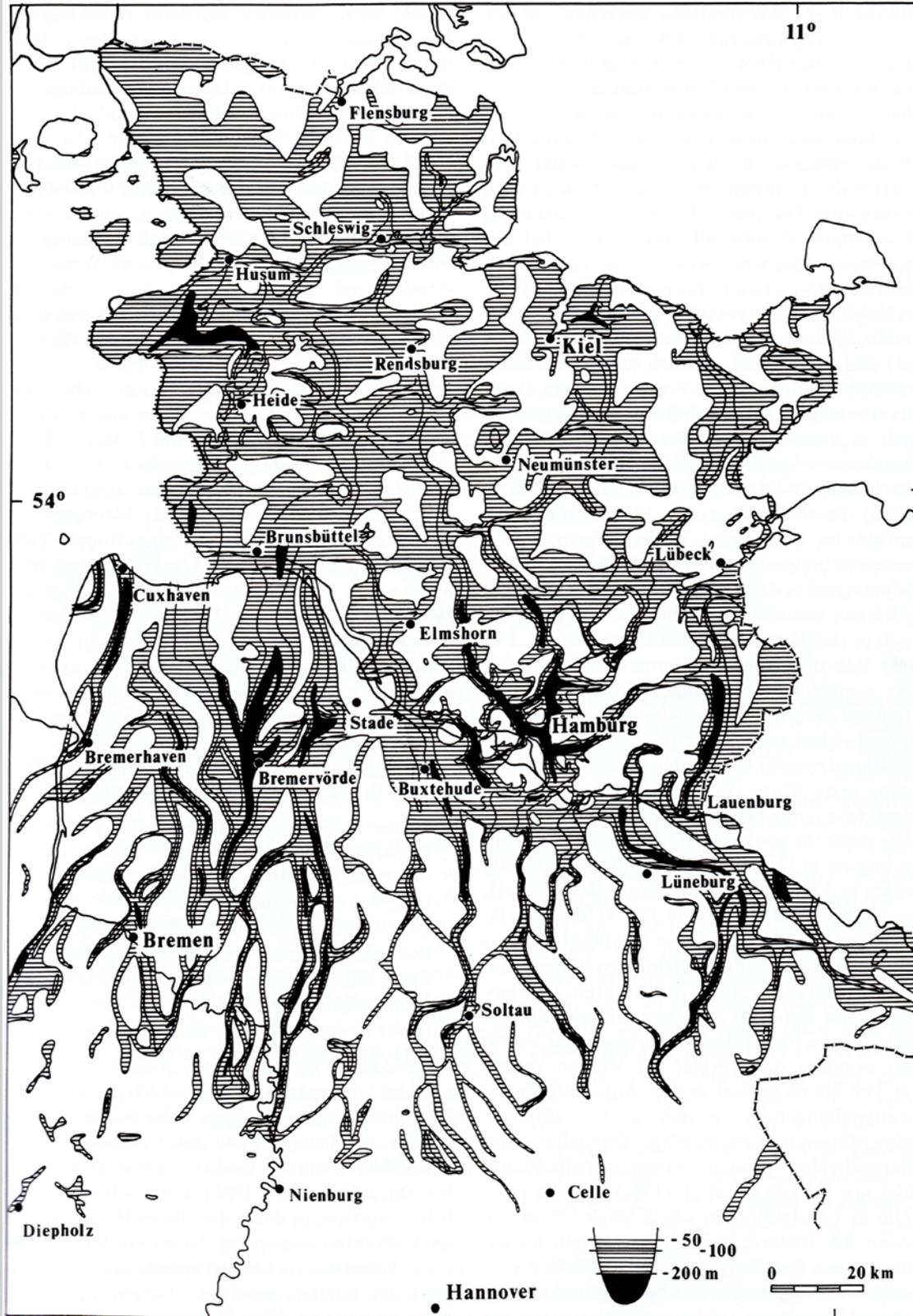


Abb. 1-5: Subglaziale Rinnen der Elsterzeit im Untergrund Norddeutschlands (aus Ehlers 1990)

### 1.3.1 Bremen

Die Bremer Niederung mit ihren Marsch-Ablagerungen wird durch die Geest in Bremen-Nord und nach Süden und Westen durch die Syke-Delmenhorster Geest und nach Osten durch die Geesthochflächen bei Achim und Zeven begrenzt (Abb. 1-6).

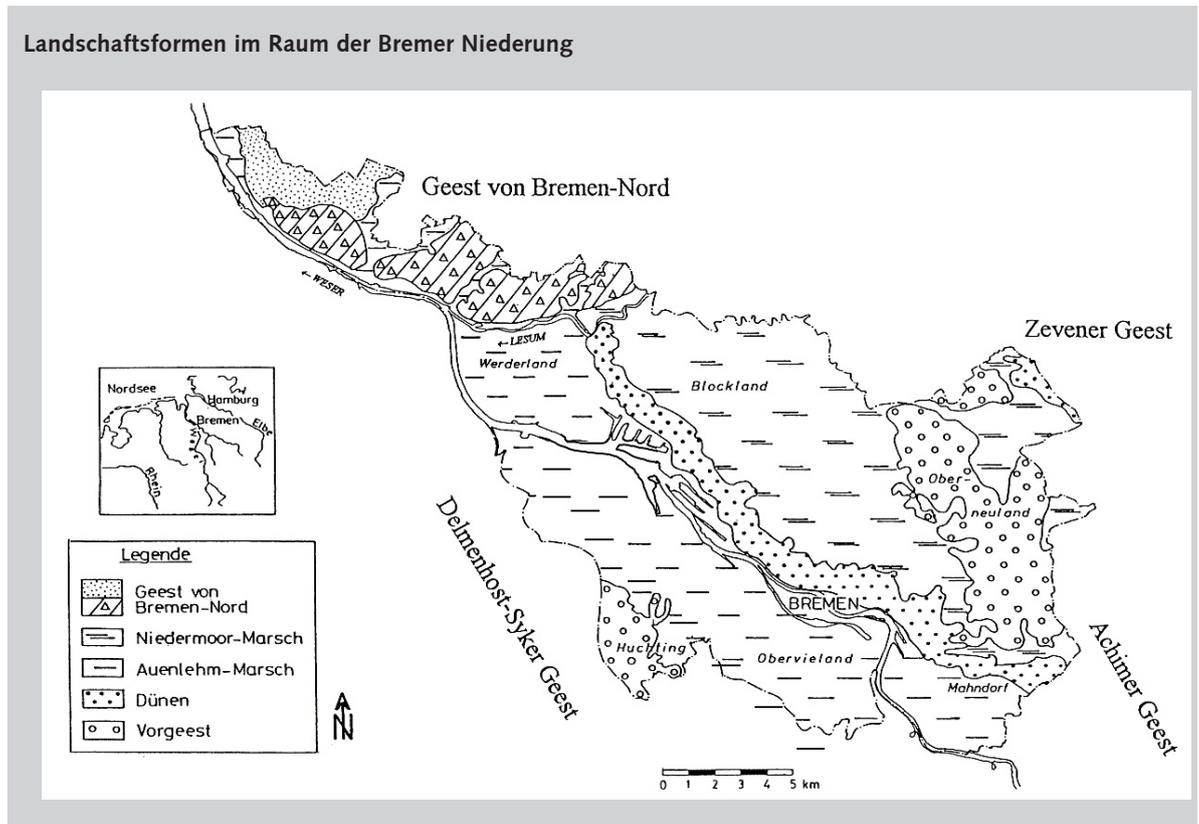


Abb. 1 6: Landschaftsformen im Raum der Bremer Niederung (aus Sauer 1999 nach Ortlam 1981)

Im Untergrund Bremens sind zwei Salzstöcke („Lesum“ und „Lilienthal“) und eine Salzmauer („Delmenhorst-Osterholz“) aus ursprünglich ca. 4500 m Tiefe bis auf 150 bis 400 m unter Gelände aufgestiegen (Ortlam und Schnier 1980) und haben dabei die überlagernden Ablagerungen bis ins Tertiär hinein verformt. Die quartären Ablagerungen sind davon in Mächtigkeit und Lagerung weitestgehend unbeeinflusst.

Die subglazialen Rinnen der Elster-Kaltzeit reichen in Bremen in Tiefen von bis zu - 350 m unter Gelände bis ins Tertiär und sind teilweise mit groben Sedimenten verfüllt. Die Rinnen werden von bis zu mehrere 10er m mächtigen Lauenburger Schichten überlagert (Ortlam 1989), die in zwei Ausprägungen, dem Lauenburger Ton und den Ritterhuder Sanden, vorliegen (Blankenburg et al. 2008). Die Lauenburger Schichten werden zum Teil von der Grundmoräne der Saale-Kaltzeit überlagert, die allerdings nicht flächendeckend ausgebildet ist. Sie ist vielfach erodiert oder nur als Steinlage

erhalten. Im Bereich der Geest von Bremen-Nord können über der Grundmoräne Dünesande anstehen, die teilweise von geringmächtigen holozänen Horizonten überlagert sind.

In den tieferen Lagen der Niederung folgen auf der Grundmoräne, sofern sie nicht erodiert wurde, die Wesersande, wobei hier Sande der Saale- sowie der Weichselkaltzeit und holozäne Terrassensande ineinander übergehen (Abb. 1-7). Darüber folgen fast flächendeckend Moor-Marsch und Auenlehm-Marsch. Die Auelehme und Torfe sind bis zu 10 m mächtig (Ortlam und Sauer 1993). Gleichzeitig entsteht die 5 bis 15 m mächtige Bremer Düne. Sie bildet sich durch die Aufwehung von Flusssanden der angrenzenden Weser und verläuft durch die Bremer Marsch von NW nach SO. Nordöstlich der Bremer Düne im Block- und Hollerland befinden sich die bis zu 4 m mächtigen Niedermoore, die Ausläufer des Teufelsmoores darstellen (Ortlam 1989).

1 Grundlagen der Grundwassergüte

Diese quartären Ablagerungen bilden in Bremen insgesamt zwei Hauptgrundwasserleiter. Dabei stellen die Verfüllungen der subglazialen Erosionsrinnen einen Grundwasserleiter, der von den Lauenburger Schichten überlagert wird, und die Wesersande den zweiten Hauptgrundwasserleiter dar (Ortlam 1989).

In den Bereichen der Marsch und Düne steht das Grundwasser oberflächennah und teilweise gespannt an, während es im Bereich der höher gelegenen Geest in Bremen-Nord wesentlich tiefer unter der Geländeoberfläche als im Marschbereich liegt. Die Grundwasserfließgeschwindigkeiten gelten aufgrund sehr geringer Gefälle mit 3,5 m/a (Ortlam und Sauer 1993) bis 30 m/a (Roth et al. 2007) als niedrig.

Der Tidenhub der Weser von ca. 4 m ist auch im hydraulisch an die Weser angebotenen Grundwasser messbar. Er wird aber mit zunehmender Entfernung so gedämpft, dass er wenige hundert Meter von der Weser entfernt nicht mehr nachweisbar ist (Ortlam und Schnier 1980).

Die Grundwasserbeschaffenheit in Bremen wird teilweise durch hohe Salzkonzentrationen geprägt, die auch oberflächennah auftreten können. Als Ursache für erhöhte Salzkonzentrationen im Grundwasser werden fossile, ursprünglich tertiäre Meerwässer, Salzstocklösungswässer und die Infiltration von Weserwasser mit Salzkonzentrationen, deren Höhe auf die Einleitung von Abwässern aus der Kalisalzaufbereitung im Einzugsgebiet der Weser zurückzuführen ist, diskutiert (Ortlam 1989).

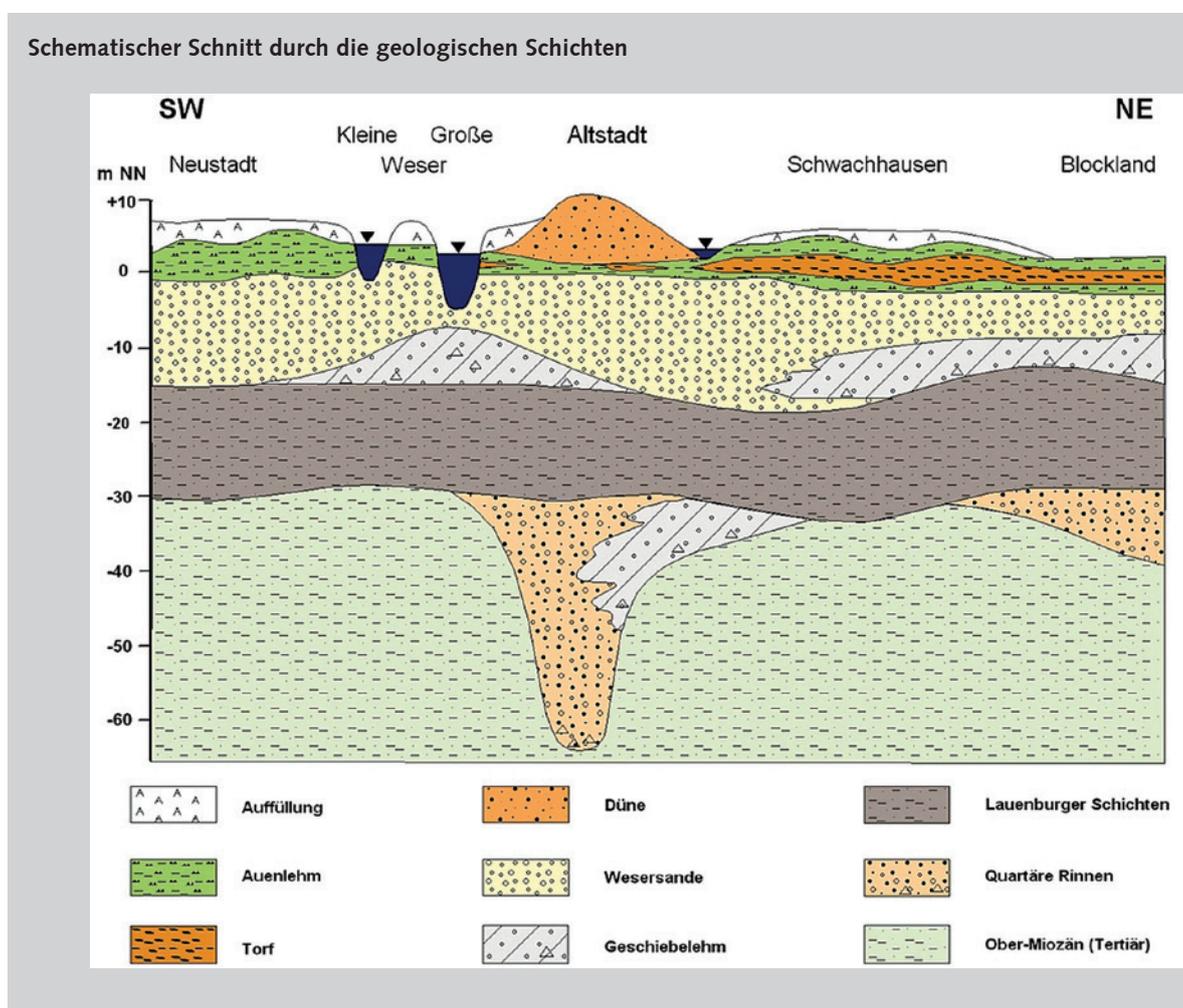


Abb. 1-7: Schematischer Schnitt durch die geologischen Schichten von Südwesten über die Weser und die Altstadt bis in die Niederungen des Blocklandes (aus SBUV 2006)

### 1.3.2 Bremerhaven

Bremerhaven liegt zwischen drei Salzstrukturen: Salzstock „Dedesdorf“ in der Wesermündung, Salzstock „Spieka“ im Norden der Stadtgrenze und Salzstock „Bramel“ östlich der Stadtgrenze. Diese Salzstöcke haben die jüngeren Ablagerungen bis ins Tertiär verformt.

Mit dem Vorrücken des Inlandeises werden glaziale Sedimente gebildet. Ebenso wie in Bremen sind im Untergrund subglaziale Erosionsrinnen aus der Elster-Kaltzeit zu finden, die sich in tertiäre Ablagerungen einschneiden. Die Breite der Rinnen variiert und beträgt bis zu 1 km. Sie sind ca. 250 m tief und an der Basis meist mit groben Kiesen und Sanden verfüllt, die nach oben hin in feinkörnigere Sedimente übergehen. Überdeckt werden die Rinnensedimente wie im Raum Bremen von den Lauenburger Schichten. Diese glazilimnischen Sedimente weisen eine Mächtigkeit von 30 bis 50 m auf und zeigen Wechselfolgen von glazigen Feinsanden und Schluffen mit Anteilen von Ton und Mittelsand.

Auf die Elster-Kaltzeit folgt die Holstein-Warmzeit, die im südlichen Bremerhaven durch 0,4-1,3 m mächtige Torflagen dokumentiert ist. Die anschließende Vereisung der Saale-Kaltzeit führt zur Ablagerung von 20-40 m mächtigen Mittel-Grobsanden mit untergeordneten Feinsand- und Schluffanteilen. Diese Sande werden von der Grundmoräne überdeckt, die in Niederungen der Weser und Geeste aber erodiert ist. Diese Grundmoräne ist sehr heterogen aufgebaut und kann bis zu 7 m, in einigen Bereichen auch über 10 m mächtig sein. Zum Ende der Saale-Kaltzeit dient die heutige Weserniederung als Abfluss für Schmelzwässer des Inlandeises und hat diese Funktion auch während

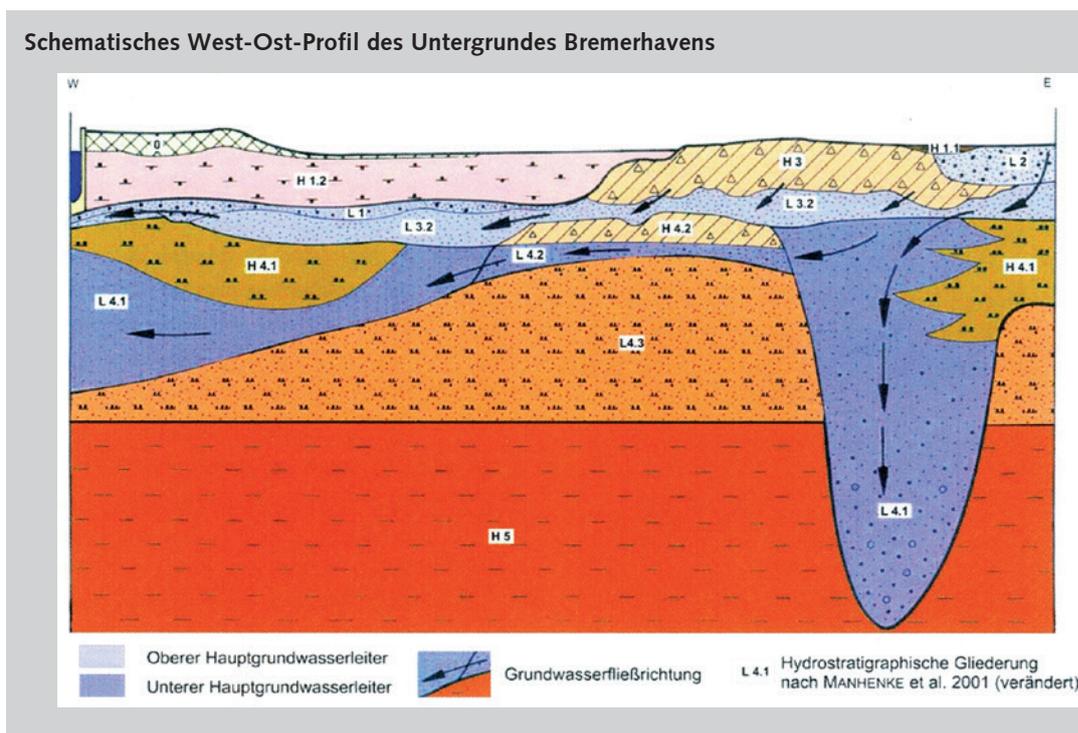
der folgenden Weichselvereisung. Ab dieser Zeit bilden sich die Wesersande (Meinke 1992).

Nach dem Abschmelzen des Inlandeises steigt der Meeresspiegel und es bilden sich Marschablagerungen an der neu entstehenden Küste. Die weichselzeitlich überprägten Ablagerungen der Saalezeit bilden das Festland und werden auch als Geest bezeichnet. Die Marschablagerungen in den Niederungen sind durch eine Wechsellagerung von Torfen sowie klastischen Brackwassersedimenten und Watablagerungen gekennzeichnet.

Hydrogeologisch bilden die Sedimente des Quartärs und des Tertiärs zwei Hauptgrundwasserleiter: Die sandig gefüllten subglazialen Rinnen der Elstervereisung sind in Bremerhaven in tertiäre Ablagerungen eingeschnitten. Teilweise sind auch die Ablagerungen des Tertiärs sandig ausgebildet und haben ähnliche hydraulische Eigenschaften wie die Sande in den Rinnen. Stratigraphisch gehören die Rinnenfüllungen zu den Lauenburger Schichten, die tonig, schluffig und auch sandig ausgebildet sein können. In Bereichen, in denen die tonigschluffige Fazies der Lauenburger Schichten ausgebildet ist, schließen diese den ersten Grundwasserleiter der Rinnenfüllungen nach oben hin ab.

Darüber folgt als weiträumig verbreiteter Grundwasserleiter das Paket der Wesersande und der Schmelzwassersande der Saalezeit. Während in den Niederungen darauf die feinsandigen Tone und Schluffe der Marschablagerungen zu finden sind, überlagern im Bereich der Geestrücken tonig, sandige Schluffe der Saalevereisung die Sande des oberen Grundwasserleiters. Ganz vereinzelt finden sich saalezeitliche Nachschüttsande direkt auf dem Grundwasserleiter (Abb. 1-8).

Abb. 1-8: Schematisches West-Ost-Profil des Untergrundes Bremerhavens. Schichtbezeichnungen mit „L“ bezeichnen grundwasserleitende, während „H“ schlecht leitende Schichten markieren (Abb. aus Jensen et al. 2003)



Die Grundwasseroberfläche liegt im Stadtgebiet Bremerhavens in den Niederungen in einer Tiefe von 2 m unter Geländeoberfläche, während sie auf den Geestrücken bis zu bis 25 m unter der Oberfläche liegen kann. Das Grundwasser strömt in Richtung Weser bzw. deren Nebenflüsse ab. Grundwasserentnahmen und der Einfluss der Tide führen zu kleinräumigen, aber messbaren Einflüssen. Im Bereich der Geestemündung lässt sich die Druckspiegelschwankung innerhalb des oberen Hauptgrundwasserleiters in 2 km Entfernung zur Weser noch feststellen. Im übrigen Stadtgebiet ist der Tideinfluss in einer Entfernung von 500 m zur Weser hin nachweisbar (Jensen et al., 2003).

Die Grundwasserbeschaffenheit des oberen Grundwasserleiters in Bremerhaven weist Mischungen von Wassertypen aber auch räumliche Nähe sehr unterschiedlicher Wässer auf, die auch auf die verschiedenen Dichten von Süß- und Salzwasser zurückzuführen sind. Anthropogene Überprägungen sind von den natürlichen Beschaffenheiten nicht sicher abgrenzbar (Jensen et al. 2003).

## 1.4 Einflussfaktoren für die Beschaffenheit des Grundwassers

Unter Grundwassergüte kann man die Gesamtheit der chemischen, physikalischen und biologischen Bestandteile und Eigenschaften eines Grundwassers zusammenfassen. Sie ist das Ergebnis der Wechselwirkungen von infiltrierendem Niederschlagswasser mit dem Bodenkörper. Da Bodenbeschaffenheiten, geologische Untergrundverhältnisse und die hydrologische Situation lokal variieren können, stellt sich jeweils eine lokal typische Zusammensetzung des Grundwassers ein.

Durch die Bodenschichten oder auch Grundwasserdeckschichten wird das darunter liegende Grundwasser nicht nur in seinen Eigenschaften geprägt, sondern auch vor Stoffeinträgen aus der Atmosphäre und der jeweiligen Landnutzung geschützt. Je nach Mächtigkeit und Filtereigenschaften der überlagernden Bodenschichten kann der natürliche, geogen geprägte Chemismus des Grundwassers allerdings auch durch Stoffeinträge aus diffusen oder punktuellen Quellen unterschiedlich stark verändert werden. Folgende, überwiegend anthropogene Faktoren können das Grundwasser beeinträchtigen:

- Flächennutzungen durch Landwirtschaft und Gartenbau
- Altlasten durch Altablagerungen und Altstandorte
- Abfallbeseitigung

- Leckagen in der Kanalisation
- Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
- unsachgemäß ausgeführte Bohrungen
- Versalzung Süßwasserführender Grundwasserleiter durch Aufstieg hoch mineralisierter Grundwässer oder küstennah eindringendes Meerwasser
- Versauerung und steigende Sulfatbelastung durch Bodenaushub
- atmosphärische Belastung (durch Autoabgase, Industrieemissionen, Feuerungen u. ä.; bei spielsweise in Form von „saurem Regen“)
- Straßenabwässer (z. B. durch Straßenverkehr und Streusalz)

## 1.5 Grundwasser als Ressource und Lebensraum

Grundwasser ist für das Land Bremen die bedeutendste Trinkwasserressource und wird auch für weitere Nutzungen dringend in guter Qualität benötigt. Neben der öffentlichen Wasserversorgung wird Grundwasser für Nutzungen in der Fischzucht, den Betrieb von Kraftwerken, in metallproduzierender und -verarbeitender Industrie, dem Textilgewerbe, der Nahrungs- und Genussmittelindustrie, im Bereich Steine und Erden sowie städtischen Einrichtungen benötigt und eingesetzt (Tab. 1-3).

Der Umfang der Wasserentnahmen aus dem Grundwasser schwankt, da der Grundwasserverbrauch wirtschaftlichen Randbedingungen und unternehmerischen Entscheidungen der jeweiligen Abnehmer des Grundwassers unterliegt. Zusätzliche Einflüsse auf die Entwicklung des Verbrauchs sind Verbesserungen im Stand der Technik und Sparmaßnahmen im jeweiligen industriellen Bereich, sicherlich auch beeinflusst durch die Einführung der Grundwasserentnahmegebühr, die seit 1993 erhoben wird (Senator für Umweltschutz und Stadtentwicklung 1993).

Die Versorgung des Landes Bremen mit Trinkwasser basiert vollständig auf Grundwassernutzung<sup>1</sup>. Diese Förderung erfolgt, abgesehen von der Trinkwasserproduktion in Bremen-Nord sowie Leherheide und Wulsdorf/Ahnthamsmoor in Bremerhaven, überwiegend durch Wasserlieferungen aus Niedersachsen (Abb. 1-9).

<sup>1</sup> Der Trinkwasserversorgungsbericht des Landes Bremen (Sen. für Bau, Umwelt und Verkehr 1993) wird aktualisiert. Er war zu Redaktionschluss des vorliegenden Berichts zur Grundwassergüte noch nicht veröffentlicht

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Wasserversorgung	4.584	4.440	4.279	4.007	3.914	3.812	3.561
Nahrungs- und Genussmittel	1.757	1.780	1.973	1.875	1.854	1.683	1.702
Textilgewerbe	599	612	668	648	729	735	564
Steine u. Erden	60	59	64	55	55	249	50
Automobilindustrie	545	507	456	443	449	478	383
Deutsche Bahn	43	38	31	29	28	28	1
Kraftwerke	339	156	240	242	195	220	223
Städt. Einrichtungen	572	441	440	529	603	534	373
Fischzucht	165	122	158	138	91	106	78
Sonstige	160	107	105	127	595	569	746
Summe	8.826	8.261	8.415	8.095	8.513	8.416	7.681

Tab. 1-3: Grundwasserentnahmen (in 1.000 m<sup>3</sup>)  
im Lande Bremen<sup>2</sup>

Grundwasserschutz wird in Deutschland flächendeckend betrieben und beschränkt sich nicht auf Gebiete, aus denen Trink- oder Brauchwasser gewonnen wird. Da Grundwasser in die Weser, Nebenflüsse oder andere Oberflächengewässer abfließt, ist die Grundwasserbeschaffenheit für die Qualität auch dieser Gewässer von grundlegender Bedeutung. Grundwasserschutz in Deutschland beachtet daher bei der Beurteilung der chemischen Grundwasserbeschaffenheit neben Trinkwasserkriterien auch und gleichrangig die möglichen ökotoxikologischen Auswirkungen von Grundwasserinhaltsstoffen (LAWA 2004). Zusätzlich ist Grundwasser ein großes, relativ wenig erforschtes Ökosystem an sich. Daher finanzieren Bund und Länder Forschungsvorhaben zur Erfassung der Grundwasserökologie selbst (Schminke und Gad 2007) und Entwicklung erster Bewertungskriterien (Griebler et al. 2008).



<sup>2</sup> Geringfügige Entnahmen wie z.B. die so genannte Eigengewinnung privater Haushalte, die nicht an das öffentliche Wasserversorgungsnetz angeschlossen sind, sind hier nicht dargestellt.

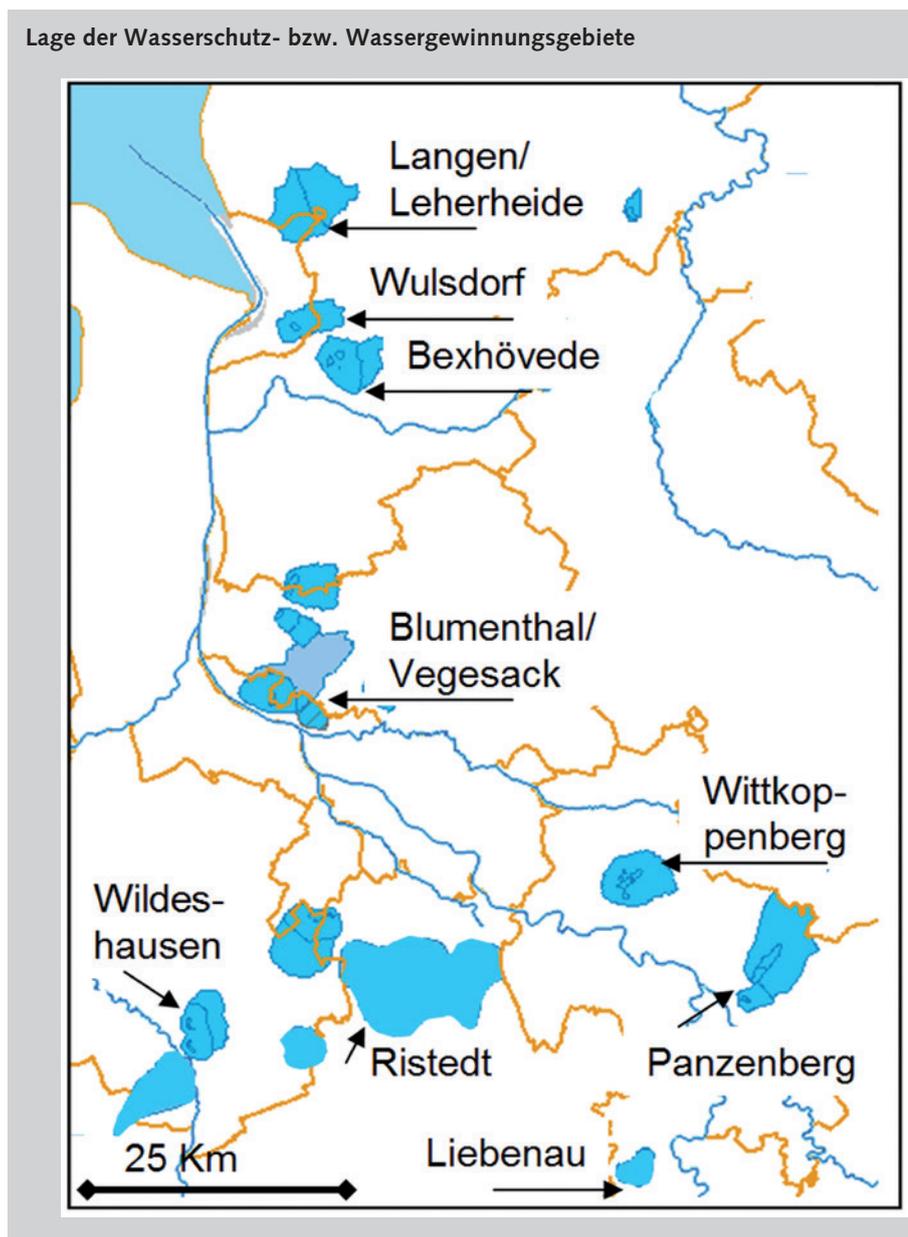


Abb. 1-9: Lage der Wasserschutzgebiete bzw. Wassergewinnungsgebiete der Wasserwerke, die zur Trinkwasserversorgung Bremens beitragen (Daten aus NLWKN<sup>3</sup>, Dezember 2012: Umweltkarten des Landes Niedersachsen<sup>4</sup>)

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der vorsorgende flächendeckende Grundwasserschutz in Deutschland ein wichtiges Umweltziel darstellt, das auf die Bedeutung des Grundwassers für die Trinkwasserversorgung, seine Funktion als Ökosystem und als Grundlage der Gewässerqualität vieler Oberflächengewässer zurückzuführen ist. Denn besonders bei diffus eingetragenen Stoffen sind die Maßnahmen des Trinkwasserschutzes mit dem räumlich begrenzt einsetzba-

ren Instrument der Wasserschutzgebiete allein nicht in der Lage, die notwendige Vorsorge und Ursachenbeseitigung für das Ökosystem Grundwasser und daraus gespeiste Oberflächengewässer sicherzustellen. Diese Erkenntnis wurde durch die Politik der EU berücksichtigt, indem die entsprechenden Leitlinien des europäischen Gewässerschutzes, nämlich der Vorsorgegrundsatz, das Verschlechterungsverbot und das Minimierungsgebot, formuliert wurden.

<sup>3</sup> NLWKN: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

<sup>4</sup> Braune Linien stellen Landkreisgrenzen dar

## 2 Grundwassermessnetze der Freien Hansestadt Bremen



## 2 Grundwassermessnetze der Freien Hansestadt Bremen

Die Gewässerüberwachung und ihre Auswertung liefern Grundlagen für nachhaltige wasserwirtschaftliche Entscheidungen. Nachhaltigkeit bedeutet in diesem Zusammenhang, das Wasser so zu nutzen, dass die Bedürfnisse der heute lebenden Menschen und der Umwelt befriedigt werden, ohne dass eine zukünftige Nutzung eingeschränkt wird. Der Bundesgesetzgeber hat der Bedeutung einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Gewässer mit dem neuen Wasserhaushaltsgesetz Rechnung getragen, indem er die Nachhaltigkeit zu einer übergeordneten Leitlinie der Gewässerbewirtschaftung erklärt (§ 6 Abs. 1 WHG vom 31. Juli 2009 (Wasserhaushaltsgesetz WHG 2009)).

Traditionell ist es in Deutschland Ziel, die Grundwasservorräte flächendeckend zu sichern und hohe Ansprüche an die Beschaffenheit von Grund- und Oberflächenwasser für die Trinkwasserversorgung zu stellen. Ihren rechtlichen Ausdruck finden diese Ziele im so genannten Besorgnisgrundsatz (§§ 32 und 48 WHG), indem dieser zum Maßstab für die Reinhaltung von Oberflächen- und Grundwasser erklärt wird. Aus diesen Zielen ergibt sich die Notwendigkeit zur Grundwasserbeobachtung, um Grundwasserschutzmaßnahmen nicht nur durchführen, sondern auch planen und überprüfen zu können. Konkrete Aufgaben der landesweiten Grundwasserüberwachung sind:

- Erfassung der natürlichen, weitgehend unbelasteten Grundwasserbeschaffenheit in Abhängigkeit von Grundwasserleitern, Landnutzung und Gefährdungspotentialen

- Darstellung der Grundwasserstände und Grundwasservorräte sowie deren Schwankungen
- Erkennung von qualitativen und quantitativen Veränderungen
- Feststellung von Fließrichtung, Abstromraten und die Bestimmung von Wasserscheiden
- Bereitstellung von Grundlagen für wasserwirtschaftliche Entscheidungen

Im Allgemeinen unterteilt man Grundwassermessnetze in folgende Typen:

- Grundmessnetz des Landes
- Rohwassermessungen (in Produktionsbrunnen der Wasserversorger)
- Vorfeldmessstellen (im Anstrom von Wassergewinnungseinrichtungen)
- Sondermessnetze (Emittentenkontrolle, Schadensfallmessstellen)

Das Land Bremen erfasst flächendeckend Grundwasserdaten auch zur Umsetzung europäischer Richtlinien wie der Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG), der Richtlinie zum Schutz des Grundwassers (2006/118/EG), der Richtlinie zur Festlegung von Spezifikationen für die chemische Analyse (2009/90/EG) und für die Berichterstattungen zur EU-Nitratrichtlinie (91/676/EWG). Für die jeweiligen Berichterstattungen wurden repräsentative Messstellen aus Grundmessnetz zur Grundwassergüte in Bremen ausgewählt und im Bedarfsfall auch Messstellen neu eingerichtet.



## Übersichtskarte aller Gütemessstellen im Land Bremen

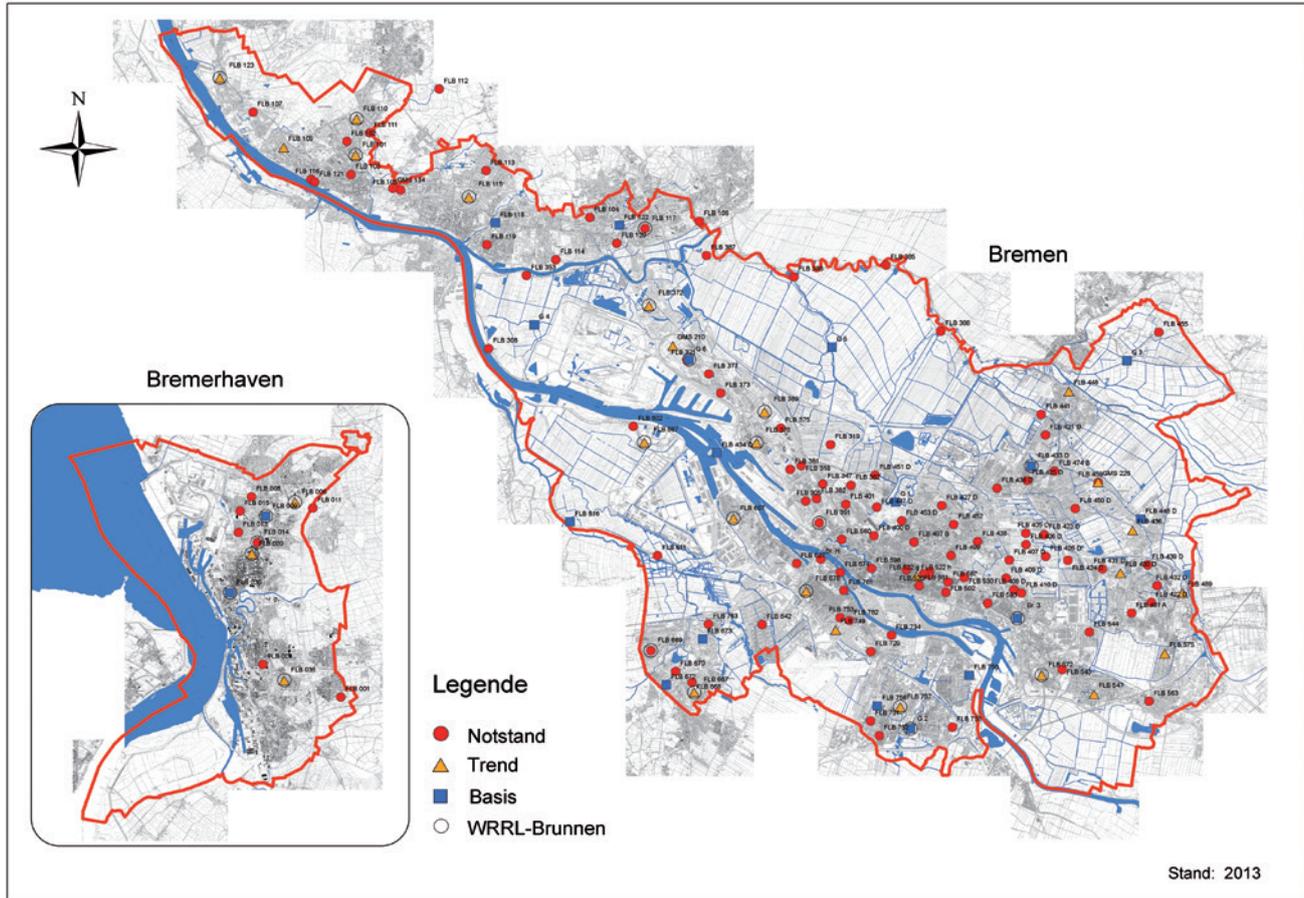


Abb. 2-1: Grundwassermessstellen zur Erfassung der Güte im Land Bremen

## 2.1 Messnetz zur Überwachung der Grundwassergüte (Grundmessnetz) und Messprogramm

Mitte der 80er Jahre entwickelten das Wasserwirtschaftsamt Bremen und die Außenstelle Bremen des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLFb) <sup>5</sup> ein Messstellenkonzept zur flächendeckenden Erfassung der Grundwassergüte. Neben der Neuerrichtung von Messstellen wurden Brunnen privater Nutzer und so genannte Notstandsbrunnen bzw. Feuerlöschbrunnen Bestandteile des Landesmessnetzes. Das Grundwassermessnetz berücksichtigt sich ändernde Besiedlung, Nutzung, gesetzliche Anforderungen, Stand des Wissens und technische Notwendigkeiten.

Das Grundmessnetz zur flächendeckenden Erfassung der Güte des oberflächennahen Grundwassers unterscheidet Basis- und Trendmessstellen. Ziel der Basismessstellen ist die Erfassung der natürlichen, weitgehend unbeeinflussten Beschaffenheit des oberflächennahen Grundwassers. Die gewählten Messstellen repräsentieren typische Grundwasserverhältnisse, unterschieden nach naturräumlichen und Nutzungsaspekten.

Die Trendmessstellen hingegen dienen besonders der Beobachtung aktueller, anthropogen bedingter Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit durch diffuse Einträge. Daher liegen sie möglichst in Grundwasserneubildungsgebieten mit entsprechenden Nutzungen.

Basis- und Trendmessstellen werden zweimal jährlich beprobt. Darüber hinaus werden weitere Brunnen zur Qualitätsüberwachung des Grundwassers eingesetzt, sie werden aber seltener (mindestens alle 5 Jahre) und in geringerem Parameterumfang beprobt, so dass heutzutage bis zu 152 Messstellen insgesamt zur Grundwassergütee Erfassung eingesetzt werden können (Abb. 2-1). Bei den seltener erfassten Brunnen handelt es sich überwiegend um Messstellen der Notstandswasserversorgung, die zur Umsetzung des Wassersicherungsgesetzes (WasSIG, BGBl 1965) betrieben werden. Tab. 2-1 zeigt das Messprogramm in der Übersicht, für Details sind weitere Informationen in Anhang A-1 dargestellt.

Messprogramm A	Messprogramm B	Messprogramm C
2-mal jährlich	alle 2 Jahre zusätzlich	alle 4 Jahre zusätzlich
Chemisch-physikalische Vor-Ort-Parameter	Schwermetalle	Polychlorierte Biphenyle (PCB)
Anorganische Hauptelemente	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffverbindungen (LHKW)	Organochlorverbindungen
Organische Summenparameter	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Phenoxyalkancarbonsäuren
	BTEX-Verbindungen	Triazine und Triazinone
		Phenylharnstoff-Herbizide
		Stickstoffhaltige Pflanzenschutzmittel/ Carbonsäurederivate
		Organophosphorverbindungen
		Carbamate und sonstige PSM
		Phenolindex
		Cyanide

Tab. 2-1: Messprogramme A,B,C zur Grundwassergüte in Bremen (Übersicht)

<sup>5</sup> Heutige Bezeichnung: Geologischer Dienst für Bremen (GDfB)

## 2.2 Weitere Messnetze oder Untersuchungsprogramme

Im Land Bremen gibt es weitere Grundwassermessnetze. So werden Messstellen zur landesweiten Erfassung der Grundwasservorräte betrieben, die auch zur Charakterisierung von Grundwasserständen, der Abgrenzung von Wassergewinnungsgebieten (z.B. Trinkwasserschutzgebiete), der Bestimmung von Wasserscheiden, Fließgeschwindigkeiten und der Bereitstellung von hydraulischen Grundlageninformationen dienen.

Wenn lokal begrenzte Grundwasserunreinigungen nicht auszuschließen sind (z.B. bei der Beobachtung von Deponien oder Altablagerungen), werden im Rahmen von orientierenden Untersuchungen Emissionenmessstellen eingerichtet. Im Falle der Überwachung von Schadensfällen, Auffinden von Schadensursachen und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen werden hingegen Belastungsmessstellen eingerichtet. Zusätzlich werden von Wasserversorgern an Wassergewinnungsbrunnen Rohwassermessungen vorgenommen und sogenannte Vorfeldmessstellen im Grundwasser-einzugsbiet der Förderbrunnen betrieben<sup>6</sup>.

Das Land Bremen hat in der Vergangenheit Informationen zur Beeinflussung der Grundwasserqualität Bremens durch Altlasten veröffentlicht (SBUV 2006). Außerdem werden regelmäßig Daten zur Grundwasserbeschaffenheit zur Verfügung gestellt, die in bundesweiten Berichten über Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Gewässerqualität durch Pflanzenschutzmitteln (LAWA 2011) und Stickstoffverbindungen (BMU 2004, 2008) ausgewertet wurden. Tab. 2-2 bietet einen Überblick zu erfassten Parametern zur Grundwasserqualität, die nicht Bestandteil des Routinemessprogramms des Grundmessnetzes in Bremen sind.

Diese Daten sind zwar nicht Bestandteil des Routinemessprogramms zur Erfassung der Grundwassergüte, sie werden aber im vorliegenden Bericht berücksichtigt.

Parameter	Zeitraum der Datenerfassung	Bericht oder Zuständigkeit
Pflanzenschutzmittel	jährlich	Berichte des Bundes und der Länder (LAWA, z.B. 2011)
Spezielle Metaboliten (nrM) von Pflanzenschutzmitteln	2007-2011	Datenerfassung des Bundes und der Länder (LAWA 2011)
Arzneimittel, endokrine Stoffe, Moschusverbindungen, Desinfektionsmittel	2000-2002	Datenerfassung durch Senator für Bau, Umwelt und Verkehr (SBUV 2004)
Vanadium und Molybdän	2008-2011	Datenerfassung des Bundes und der Länder (LAWA 2011)
Antimon	2011-2012	Datenerfassung des Bundes und der Länder
Nitrat, Nitrit und Ammonium	1998-2002, 2002-2006 und 2006-2010	Berichte des Bundes: BMU/ BMELV (2004 und 2008)

Tab. 2-2: Datenerfassungen und Berichte zur Grundwasserqualität außerhalb des Routinemessprogramms zur Grundwassergüte<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Diese zeitlich oder räumlich begrenzten Fragestellungen werden nicht routinemäßig im Landesmessnetz zur Grundwassergüte erfasst. Diese Messstellen und Ergebnisse hierzu sind daher nicht Bestandteil der vorliegenden Auswertung

<sup>7</sup> nrM bedeutet pflanzenschutzrechtlich nicht relevanter Metabolit eines Pflanzenschutzmittelwirkstoffes; siehe auch Abschnitt 5.3.3.6

### 2.3 Qualitätssicherung bei der Erfassung von Grundwasserdaten

Die Erfassung der Grundwassergüte und die Beschreibung durch Daten umfassen viele Teilschritte, die grundlegende Voraussetzungen erfüllen müssen (Tab. 2-3). Die Schritte Standortwahl für Messstellen, Messstellenbau und Prüfung schon vorhandener Messstellen hat das Wasserwirtschaftsamt seinerzeit mit dem zuständigen staatlichen geologischen Dienst abgestimmt.



Teilschritte zur Erfassung der Grundwassergüte	Wichtige Voraussetzung
Standortwahl	umfassende Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse
Bohrung und Messstellenbau	fachgerechte Durchführung der Bohrung und des Messstellenbaus (Bohrgerät, Ringraum, Verfiltern, Teil-Verfilterung, Materialauswahl)
Messstellenprüfung	Funktion nach Inbetriebnahme und vor Wiederinbetriebnahme
Probenahme	geeignete Abpumpzeiten, Materialien der Schläuche, Pumpentypen besonders in Hinblick auf zu untersuchende Stoffgruppen
Probenkonservierung und -transport	je nach Stoffgruppe gewählte Gefäße und Konservierung
Analytik	Qualitätssicherung intern und extern
Messwertverarbeitung	Transparenz bei Messwertbearbeitung und Ablage in Datenbanken/Berichten

Tab. 2-3: Schritte zur Erlangung qualitativer Grundwasserdaten

Die Durchführung der Probenahme und Analytik im Rahmen des Grundwassermessprogramms im Land Bremen obliegt dem Landesuntersuchungsamt für Chemie, Hygiene und Veterinärmedizin (LUA). Das LUA führt ein Qualitätsmanagementsystem entsprechend der internationalen Anforderung der Norm DIN EN ISO/IEC 17025 (DIN 2005) durch und ist seit 1999 akkreditiert (1999-2009 „Akkreditierungsstelle Hannover-AKS“, ab 2010 „Deutsche Akkreditierungsstelle -DAKKS“). Neben internen Maßnahmen zur Qualitätssicherung nimmt das LUA regelmäßig an Vergleichsuntersuchungen und Ringversuchen teil.

Fachliche Grundlage für den Betrieb von Grundwassermessnetzen und der Dateninterpretation ist ein hydrogeologisches Konzeptmodell. Da sich die Erkenntnisse zur Hydrogeologie der Region Bremen mit jedem Projekt weiter entwickeln, wurde begonnen, ein

Fachinformationssystem (FIS) aufzubauen. Im Jahr 2004 haben daher der Senator für Bau, Umwelt und Verkehr sowie der Senator für Wirtschaft und Häfen beschlossen, geowissenschaftliche Planungsunterlagen wie Fachgutachten zur Geologie und Hydrogeologie sowie Baugrunduntersuchungen mit den jeweiligen Bohrungen in einem Fachinformationssystem (FIS) digitalisiert zusammenzuführen und auch auszuwerten. Im Jahr 2008 wurde für Bremen-Nord ein Teilergebnis vorgelegt (Blankenburg et al. 2008) und soll 2013 für Bremen-Stadt abgeschlossen sein und hat den Titel Geoplan. Seit 2012 wird aufbauend auf der „Grundwasser- und Geotechnische Planungskarte Bremerhaven“ (Jensen et al. 2003) auch für Bremerhaven der Informationsstand digitalisiert und aktualisiert.

## 3 Methodik der Datenauswertung

Dieses Kapitel beschreibt, wie die Daten zur Grundwasserqualität ausgewertet wurden. Die Eignung der gewählten Messstellen hinsichtlich Standortwahl und Ausbau ist bei der Festlegung des Messnetzes durch Abstimmung von Wasserwirtschaftsamt und Geologischem Dienst berücksichtigt worden. Vorhandene hydrogeologische Informationen und der Stand der Technik sind hier berücksichtigt. Die Auswertung der Daten erfolgt schrittweise:

- Prüfung der Plausibilität der Daten
- Feststellung der Überschreitung von Kriterien
- Erfassung von zeitlichen Entwicklungen bei Überschreiten von 75% des jeweiligen Kriteriums
- Bewertung der Befunde vor dem Hintergrund der Randbedingungen (Geologie/Hydrogeologie)

### 3.1 Plausibilität von chemischen Grundwasserdaten

Trotz korrekter Probenahme und Analytik muss die Plausibilität von Analyseergebnissen geprüft werden. Die Plausibilitätsprüfung der Daten erfolgt insbesondere durch Prüfung der Ionenbilanz. Die Ladungen der anorganischen Anionen und Kationen neutralisieren sich und müssen rechnerisch als molare Equivalentkonzentrationen innerhalb gewisser Toleranzwerte gleich sein. Zusätzlich werden weitere Verfahren (LAWA 2008; z.B. Ausschlussverfahren und Plausibilitätsgrenzen/Ausreißer) eingesetzt. Die Prüfungen umfassen:

- Prüfung der Ionenbilanz
- Vergleich des gemessenen pH-Werts mit dem zu berechnenden aus der Säure- und Basenkapazität
- wasserchemische Korrelationen relevanter Inhaltsstoffe

### 3.2 Darstellung der Grundwasserdaten

Die Grundwassergüte ist das Ergebnis der chemisch-physikalischen Prozesse bei der Versickerung von Niederschlagswasser und der Grundwasserbewegung im Grundwasserleiter. Für Einteilung in Grundwassertypen und die Betrachtung der Genese eines Grundwassers ist die Betrachtung von Ionen-Verhältnissen aussagekräftiger als die Betrachtung von Ionen-Konzentrationen. Eine typische Darstellung von Ionenverhältnissen (in meq-%) ist die der Piperdiagramme (Piper 1944). Sie verdeutlicht den Streubereich von Analysen eines Wassertyps und ermöglicht Rückschlüsse auf Prozesse wie Mischung von Wassertypen, Lösung und Fällung oder Ionenaustausch.

### 3.3 Überschreitung von Grundwassergütekriterien

Nach Prüfung der Plausibilität der chemischen Analysen werden statistische Grunddaten ermittelt; dazu gehört die Angabe von Minimal- und Maximalkonzentrationen, den Konzentrationen beim 50 und 90 Perzentil. Zur Angabe von Perzentilwerten ordnet man alle Messwerte der Größe nach. Diese Verteilung der Messwerte wird in 100 umfangsgleiche Teile zerlegt. Perzentile teilen diese nach Wert sortierten Daten in Prozent-Segmente auf. So entspricht das Perzentil 90 dem Wert, unterhalb dessen 90 % aller Werte der Verteilung liegen. Das bekannteste Perzentil ist das 50-Perzentil, der sogenannte Medianwert einer Verteilung (Abb. 3-1).

## Beispiel für die Errechnung von Perzentilen

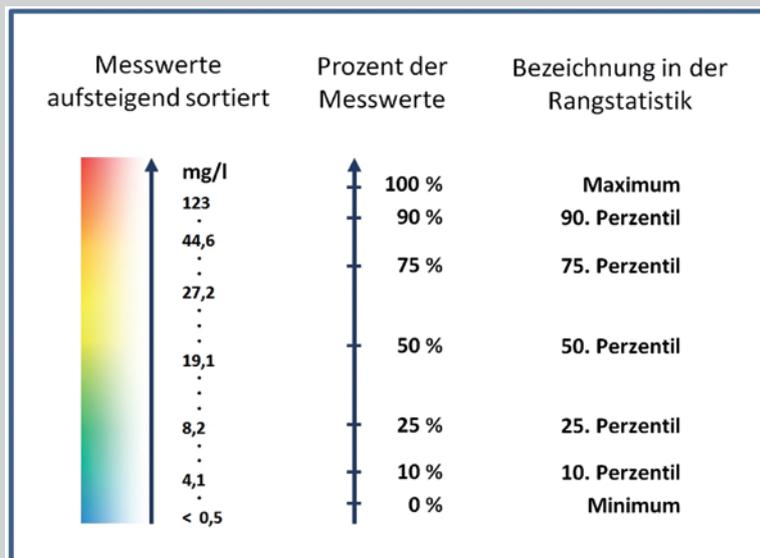


Abb. 3-1:  
Beispiel für die Errechnung  
von Perzentilen einer Gruppe  
von Messwerten

In der Auswertung wird festgestellt, ob es Überschreitungen der gewählten Grundwassergüte-Kriterien durch Messwerte, 90-, 75- oder 50-Perzentilwerte im Bremer Grundwasser gibt. Grundwassergütekriterien in diesem Sinne sind die europäischen Umweltqualitätsnormen für Nitrat und Pflanzenschutzmittel, die Schwellenwerte der Grundwasserverordnung (GrwV 2010) und die Geringfügigkeitsschwellen der LAWA (2004)<sup>8</sup>. Zusätzlich wird die aktuelle Überarbeitung der Richtlinie 2008/105/EG (Tochterrichtlinie für prioritäre Stoffe) berücksichtigt. Diese Kriterien setzen die Vorgaben der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) um und sind mit den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung abgestimmt (Zusammenstellung der Grundwassergütekriterien siehe Anhang A2). Eine Überschreitung von Grundwasserkriterien löst Maßnahmen aus, die sich im ersten Schritt aus Überprüfung der Ergebnisse und Wiederholungsmessungen zusammensetzen. Daran anschließend werden weitere zuständige Stellen informiert und stufenweise Klärung des Einzelfalls abgestimmt. Je nach Parametergruppe wie beispielsweise Schwermetallen, Pflanzenschutzmittel oder Nährstoffen gibt es unterschiedliche Vorgehensweisen.

In Zusammenhang mit Spurenstoffen werden häufig Ergebnisse unter der analytischen Bestimmungsgrenze festgestellt. Sie stellen trotzdem Befunde dar und werden für die Berechnung von Perzentilen mit dem numerischen Wert der halben Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Wenn an einer Messstelle Messwerte 75% eines Kriteriums erreichen, so wird dies als Warnwert betrachtet und geprüft, ob ein Einzelfall oder ein Trend vorliegt (LAWA 2008). Die beobachteten Trends und auch Überschreitungen von Grundwassergütekriterien werden vor dem Hintergrund der regionalen geologisch/hydrogeologischen Randbedingungen bewertet. Viele gemessene Parameter treten natürlicherweise im Grundwasser auf und haben ein übliches Hintergrundniveau. Hintergrundwerte können aufgrund naturgegebener Verhältnisse über dem Niveau von Grundwassergütekriterien liegen. Beispielsweise können Chlorid- und Sulfat-Konzentrationen in küstennahen Grundwässern oder in Gebieten an oberflächennahen Salzstöcken weit über den Schwellenwerten der Grundwasserverordnung liegen. Für die Bewertung der Grundwassergüte bedeutet dies konkret, dass bei anorganischen Parametern regional typische Hintergrundwerte als gleichwertig zu genannten Grundwassergütekriterien betrachtet werden. Die staatlichen Geologischen Dienste haben für diese Zwecke ca. 50.000 Grundwasserproben ausgewertet und eine deutschlandweite Übersicht der Hintergrundgehalte der Grundwässer (Wagner et al. 2011) erstellt.

<sup>8</sup> Aufgrund der RL 2008/105/EG wurden für einige Parameter die Geringfügigkeitsschwellenwerte nach der entsprechenden Ableitungsmethodik (LAWA 2004) aktualisiert. Die Umweltqualitätsnormen der RL 2008/105/EG wurden für Wasserproben abgeleitet, die vor der Analyse filtriert werden müssen. Diese Werte konnten berücksichtigt werden, da eine Filtration an Grundwasserproben standardmäßig vorgenommen wird.

## 4 Grundwasserbeschaffenheit im Land Bremen

		%	Pb	%	Zn	
		16,5	107.	10,6		
	25.01	16.5	119.	10.6		
	21.15		36.	4,9	508.	3,5
	5.31	5,9	37.79	4.9	528.	3,9
	15.08		111.		2.738	
	28		110.	0.9	3.028	10,1
	44	15.4	33.		521.	
			22	3.1	520.	9,2

## 4.1 Parameter der Gruppe A

Die Parametergruppe A umfasst physikalische und chemische Vor-Ort-Parameter und Konzentrationen der Hauptkationen und -anionen, die eine Charakterisierung von Wassertypen erlauben. Diese Werte werden bei nahezu jeder Grundwasserprobennahme erfasst. Die statistischen Kennzahlen zeigen, dass die Parameter über weite Wertebereiche streuen (Tab. 4-1).

Eine Darstellung in Piper-Diagrammen (Daten siehe Anhang A 8; Piper 1944) erlaubt einen Überblick auf die Grundwasserbeschaffenheit in Bremen und die Einteilung in Wassertypen, wie sie auch für die geotechnische Planungskarte in Bremerhaven (Jensen et al. 2003) (Abb. 4-1, Tab. 4-2) gewählt wurden.

Das Grundwasser im Land Bremen bildet in über 50 % der Wasseranalysen ein Calcium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Wasser (Wassertyp 3, Tab. 4-1). Daneben treten Calcium-Hydrogencarbonat-Wasser (15,1%), Calcium-Sulfat/Chlorid-Nitrat (15,6%) und Natrium-Chlorid-Wasser (10,5%) auf.

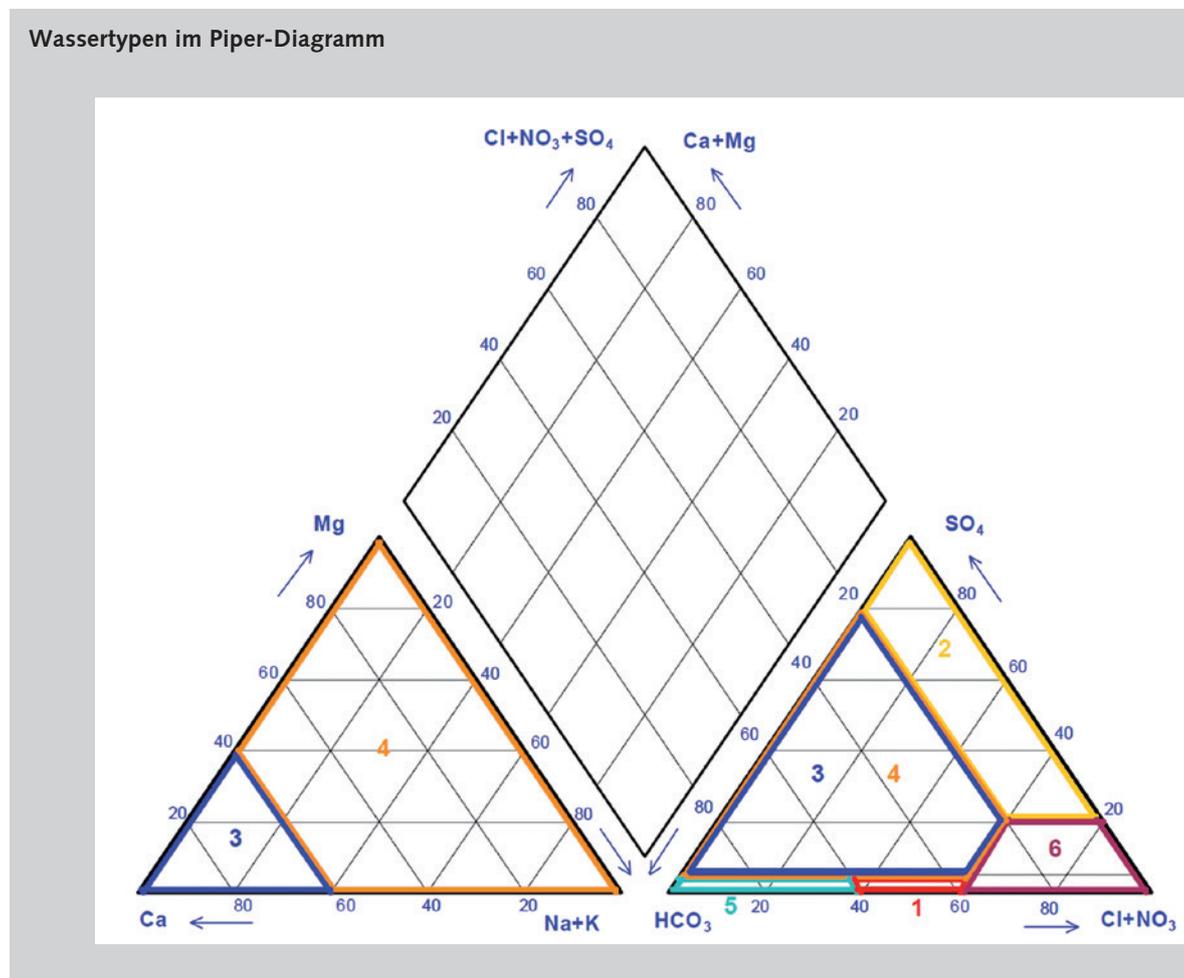


Abb. 4-1: Es werden sechs Wassertypen im Piper-Diagramm unterschieden (Erläuterung der Typen siehe Tab. 4-1).

Nr.	Wassertyp	Typgrenzen [%]					Anteil [%]
		Ca	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl-NO <sub>3</sub>	Na-	
1	Calcium-Hydrogencarbonat	> 60	> 5	> 40	< 30	10-25	15,1
2	Calcium-Natrium-Hydrogencarbonat	> 50	< 5	> 60	< 40	10-40	3,9
3	Calcium-Hydrogencarbonat-Chlorid	< 60	> 5	> 20	< 40	15-60	52,3
4	Calciumsulfat-Chlorid/Nitrat	< 50	> 20	< 20	> 30	20-50	15,6
5	Natrium-Calcium-Chlorid	< 40	< 5	> 40	< 60	< 60	2,6
6	Natrium-Chlorid	< 20	< 15	< 40	> 60	> 60	10,5

Tab. 4-1: Klasseneinteilung in Grundwassertypen

Der Vergleich der Anteile der Wassertypen von 1986 bis heute zeigt lediglich geringe Verschiebungen von max. 5% untereinander (vgl. Tab. 4-2). Die Beschaffenheit des Grundwassers in Bremen und Bremerhaven kann daher als relativ stabil bezeichnet werden.

Wassertyp	1986-89	1990-94	1995-1999	2000-2004	2005-2011			
	Änderung zu 1986-89	Änderung zu 1990-94	Änderung zu 86-89	Änderung zu 95/99	Änderung zu 2000-04			
1	11,9	2,0	-0,6	1,4	2,5	3,9	0,9	4,8
2	2,1	0,5	0,2	0,8	2,0	2,7	-0,3	2,4
3	49,7	-0,1	6,4	6,4	-2,1	4,2	-3,1	1,2
4	18,9	-1,9	1,1	-0,8	-3,1	-3,9	-1,1	-5,0
5	1,4	1,6	-0,8	0,8	0,3	1,1	0,3	1,5
6	16,1	-2,2	-6,3	-8,5	0,4	-8,1	3,3	-4,8

Tab. 4-2: Entwicklung der Anteile [%] der Wassertypen

Im Folgenden werden für die Einzelparameter der Parametergruppe A (Tab. 4-3) die Minimal- (Min) und Maximalkonzentrationen (Max) sowie die Perzentile 50 und 90 (P50 und P90) aufgeführt:

## 4 Grundwasserbeschaffenheit im Land Bremen

Parameter	Min	Max	P50	P90	Kriterium	Messzeitraum
Temperatur (°C)	6,4	17,6	11,4	12,8		1986-2011
pH-Wert	3,1	11	6,4	7,1		1986-2011
Leitfähigkeit (µS/cm)	6,77	9270	770	1700		1986-2011
Sauerstoff	0	11,5	0,4	4,0		1986-2011
Chlorid	1	3960	89	375	250	1986-2011
Sulfat	1	770	99	180	240	1986-2011
Phosphat	0,005	6,4	0,16	1		1986-2011
Eisen	0,005	58	5	29		1986-2011
Mangan	0,008	21	0,7	6		1986-2011
DOC <sup>2</sup>	0,01	60	6,5	15		1986-2011
AOX (µg/L) <sup>3</sup>	2,9	1710	21	68		1986-2011
Hydrogencarbonat (mmol/L)	0	484	3,15	6,3		1986-2011
Bor (µg/L)	6	3200	74	181	740	1988-2011
Calcium	2,7	480	77	150		1986-2011
Magnesium	0,7	230	12	29		1986-2011
Kalium	0,002	1110	8,3	24		1986-2011
Natrium	5,5	2200	55	220		1986-2011
Aluminium	0,001	3,6	0,02	0,2		1986-1996
Bromid	0,04	58	0,2	0,75		1990-1995
Iodid	0,002	0,16	0,02	0,06		1990-1995

Tab. 4-3: Statistische Kennzahlen der Parametergruppe A<sup>9</sup>: Minimal- (Min) und Maximumkonzentration- (Max) sowie Konzentrationen des 50 (P50)- und 90-Perzentils<sup>p</sup> (P90) [mg/L]<sup>1</sup>

<sup>p</sup>: Zur Erläuterung des Begriffs Perzentil siehe Abschnitt 4.3

<sup>1</sup>: andere Einheiten sind in Klammern ( ) genannt

<sup>2</sup>: DOC (gelöste organische Kohlenstoffverbindungen)

<sup>3</sup>: AOX (adsorbierbare halogenierte Kohlenstoffverbindungen)

Für einige Parameter der Gruppe A existieren Grundwassergütekriterien zur Bewertung von Konzentrationen. Für Bor, Chlorid und Sulfat sind diese Überschreitungen zusammengefasst in Tab. 4-4. Die Stickstoffverbindungen werden in einem Unterabschnitt behandelt.

<sup>9</sup> Die Stickstoff-Verbindungen sind in den Tabelle 5-5 bis 5-8 behandelt.

### 4.1.1 Vor-Ort-Parameter

Bei der Probenahme werden einige Parameter wie die Temperatur, der pH-Wert, die Sauerstoffkonzentration, die Leitfähigkeit und die Alkalität sowie das Redoxpotential direkt erfasst und hier als chemische Vor-Ort-Parameter zusammengefasst:

Die gemessenen Temperaturen des Grundwassers liegen zwischen 6,4°C und 17,6°C. Die 50- und 90 Perzentilwerte liegen mit 11,4°C und 12,8°C nahe am Mittelwert von 11,4°C.

	Messwerte	Anzahl			Messstellen > GW-Kriterium	Zeitraum der Überschreitung
		> BSG	> Warnwert	> GW-Kriterium <sup>1</sup>		
Bor	2090	1993	22	9	5	1988-2010
Chlorid	2150	2128	543	408	39	1986-2011
Sulfat	2130	2070	242	107	19	1986-2011

Tab. 4-4: Überschreitung von Grundwassergütekriterien der Parametergruppe A

<sup>1</sup>: Grundwassergütekriterium

Die pH-Werte der Grundwasserproben erstrecken sich über weite Wertebereiche. Der 50-Perzentilwert liegt im schwach sauren Bereich von 6,4 und der 90-Perzentilwert im neutralen Bereich von 7,1. Über 60 % der Messwerte liegen in einen pH-Bereich von 6-7 (Abb. 4-2).

Von 2338 Messungen liegen 16 über pH 8, wobei von denen zwei Messungen einen pH-Wert von 9 überschreiten, die sich in Folgemessungen nicht bestätigen ließen. 13 Werte liegen unter einem pH-Wert von 4, bei denen es sich auch um Einzelwerte handelt, da diese sonst an der jeweiligen Messstelle nicht auftreten. Messstelle FLB 110 stellt eine Ausnahme dar, in dieser schwanken die pH-Werte zwischen 3 und 4,6.

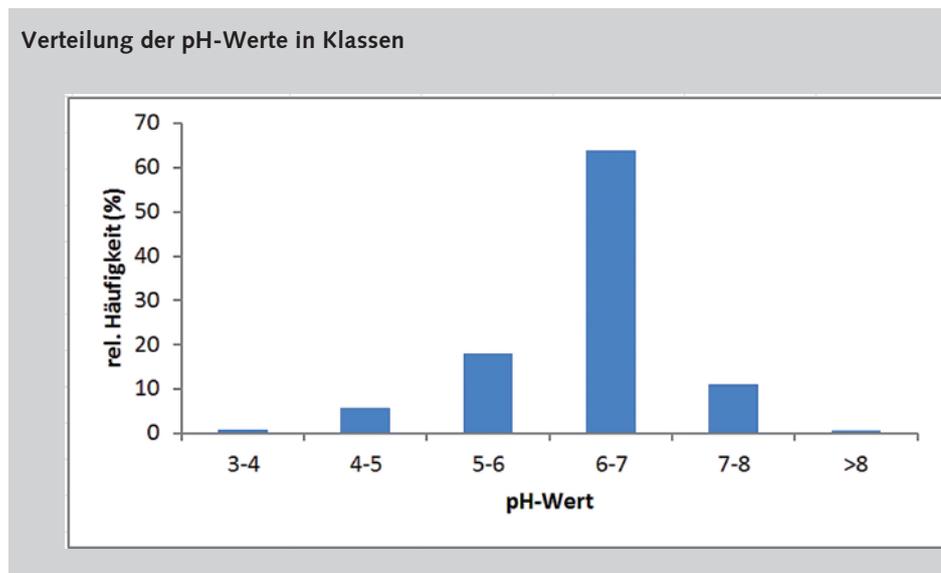


Abb. 4-2: Verteilung der pH-Werte in Klassen

4 Grundwasserbeschaffenheit im Land Bremen

Die Leitfähigkeit weist eine Spannbreite von 6,8 bis 9300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf, wobei die 50- und 90-Perzentilwerte bei 770  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und 1700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  liegen. In den Brunnen Br 3, Br H, FLB 522h, 607, 678, 750, 758 und G5 treten gehäuft Werte  $> 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$  auf. Diese Messstellen liegen über einen weiten Bereich verteilt (siehe Karten Anhang A 10-1 und -2).

Die Sauerstoffkonzentrationen im Grundwasser schwanken zwischen sauerstofffrei und 11,5 mg/L. Der 50-Perzentilwert befindet sich bei 0,4 mg/L und der 90-Perzentilwert bei 4,0 mg/L. Insgesamt liegen anoxische oder sauerstoffarme Grundwässer vor.

4.1.2 Chlorid

Natürlicherweise kommt Chlor in Form von Chloriden (Cl<sup>-</sup>) vor, die in Norddeutschland bedeutende Salzlager bilden und leicht wasserlöslich sind. Die hohe Wasserlöslichkeit, die Nähe zu Salzlagerstätten und die Küstennähe in Bremerhaven führen zu sehr unterschiedlichen Chloridkonzentrationen im Grundwasser von wenigen mg/L bis zu mehreren Tausend mg/L. Diese Spannbreiten sind für die Grundwässer Bremens und Bremerhavens bekannt und gelten als geogen.

Neben der Verwendung als Streusalz ist die Freisetzung aus dem Kalibergbau zur Düngemittelherstellung eine wesentliche anthropogene Quelle für Chlorid im Grundwasser. Die Einträge aus der Kaliindustrie in Hessen und Thüringen erfolgen durch Einleitungen in die Werra, wodurch die Weser und das hiervon beeinflusste Grundwasser noch in Bremen spürbar belastet werden.

Im Rahmen des Grundwassermonitorings wird Chlorid 2150-mal an insgesamt 173 Messstellen untersucht und an 39 Messstellen werden 408 Überschreitungen des Schwellenwertes nach Grundwasserverordnung von 250 mg/L festgestellt.

Die Messstellen mit Überschreitung des Warnwertes werden auf Trends hin untersucht, wobei wenige einen signifikant steigenden (FLB 522h) oder fallenden Trend (Br 3; FLB 616, FLB 750) zeigen (Anhang A 9 und Abb. 4-3). Die übrigen Messstellen verbleiben ohne signifikante Konzentrationsänderungen auf dem Niveau der Überschreitung.

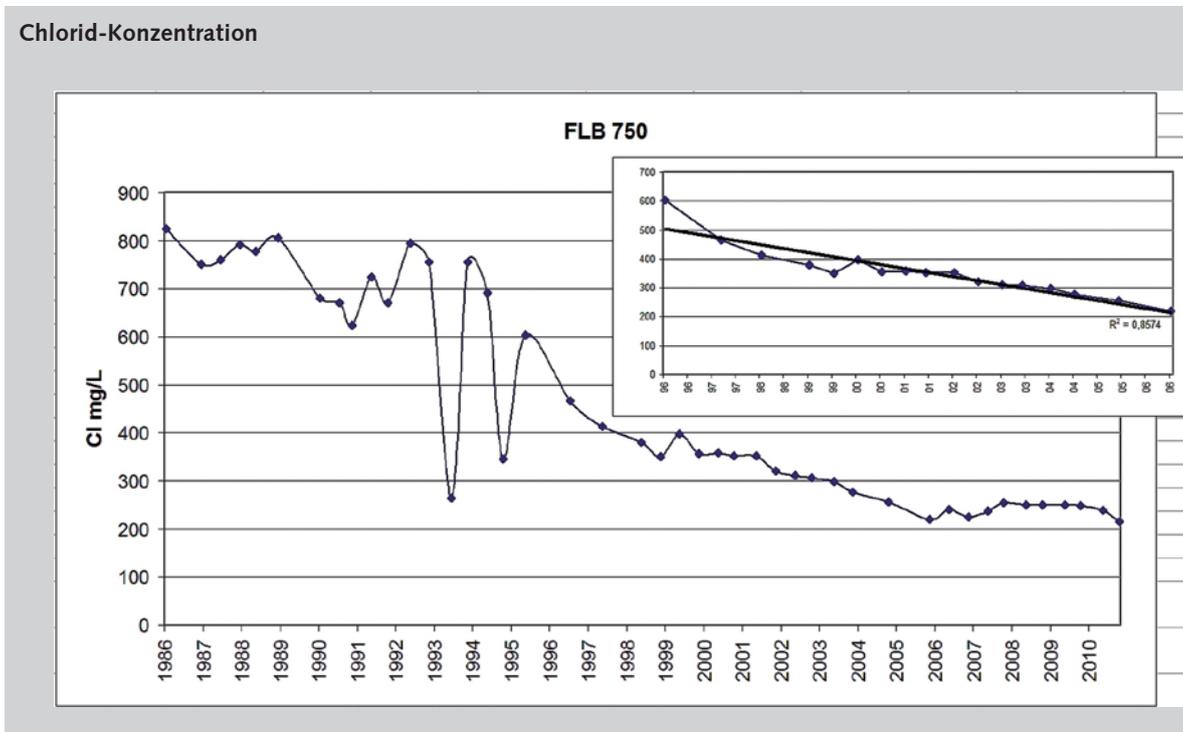


Abb. 4-3: Chlorid-Konzentration in der Messstelle FLB 750. Zwischen 1996 und 2006 (siehe Ausschnitt) lässt sich ein linear fallender Trend (mit Varianz  $R^2 = 0,86$ ) berechnen.

### 4.1.3 Sulfat und Sulfid

Im Grundwasser tritt Schwefel vorwiegend in Form von Sulfaten ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) und Sulfiden ( $\text{S}^{2-}$ ) auf. Sulfide sind nur unter anoxischen Verhältnissen im Grundwasser stabil, während Sulfat die unter oxidischen Verhältnissen stabile Form darstellt. Geogen sind neben sulfidischen Lagerstätten saline Ablagerungen als Quelle für Schwefelverbindungen von Bedeutung. Besonders Salzablagerungen aus dem Zechstein sind in Norddeutschland weit verbreitet und können bei Lösung zu hohen Sulfatkonzentrationen führen.

Die Ablagerung und Verwertung von Bauschutt, Verwendungen in der Landwirtschaft, Verbrennung fossiler Brennstoffe und Oxidation von Sulfiden durch Bodenaushub bei Bau- oder Bergbautätigkeit stellen zusätzlich potentielle anthropogene Quellen für Sulfat im Grundwasser dar.

Sulfid wurde von 1991-1995 insgesamt 290-mal gemessen, aber nur einmal nachgewiesen.

Sulfat überschreitet an 19 Messstellen 107-mal den in der Grundwasserverordnung genannten Schwellenwert von 240 mg/L. Insgesamt liegen 2070 Nachweise bei 2130 Messungen vor. Die Messstellen mit Überschreitung des Warnniveaus von 180 mg/L Sulfat zeigen mit einer Ausnahme keine signifikant fallenden Trends (Abb. 4-4). In den übrigen Konzentrationsverläufen sind Änderungen zu erkennen, die jahreszeitliche Schwankungen (Messstelle G3), Redoxeinflüsse (G 4) oder abschnittsweise gegenläufige Entwicklungen (FLB 678) zeigen (Abbildungen siehe Anhang A9), ohne einem signifikanten Trend zu folgen.

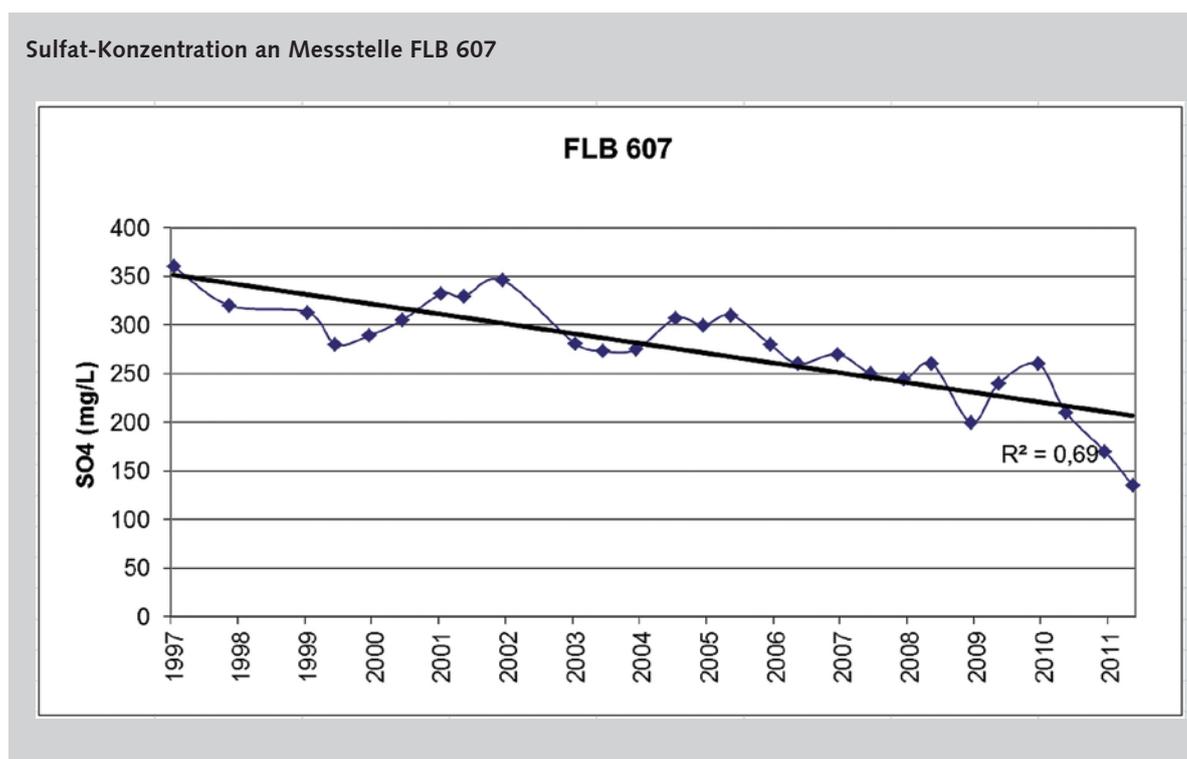


Abb. 4-4: Fallender Trend der Sulfat-Konzentration an Messstelle FLB 607

#### 4.1.4 AOX

Der AOX-Wert ist ein Summenparameter, der u.a. Halogen-Kohlenwasserstoffe abbildet. Da dieser Summenparameter als unspezifisch gilt, wird er nur als Indikator für die Beurteilung von Grundwasser und Auslöser für Folgeuntersuchungen genommen:

- Werte bis zu 10 µg/L AOX repräsentieren ein „background“-Niveau
- AOX-Werte zwischen 10 bis 20 µg/L zeigen eine Beeinflussung an, die keiner konkreten Emissionsquelle zuzuordnen ist
- Werte ab 20 µg/L AOX weisen generell auf eine Beeinflussung hin
- Konzentrationen von ca. 60 bis 300 µg/L AOX können oft spezifischen Emissionsquellen zugeordnet werden.

Die Daten zeigen (siehe Tab. 4-3), dass die Hälfte aller Messungen unter 21 µg/L liegen und damit im Bereich des sogenannten Hintergrundniveaus oder leichter unspezifisch erhöhter Werte liegen. Mehr als 10 % aller Messungen liegen in einem Konzentrationsbereich über 60 µg/L, in dem man spezifische Emissionsquellen nicht ausschließen kann.

Neben halogenierten Kohlenwasserstoffen gelten Chlorid und gelöste organische Verbindungen (DOC) als Parameter, die die Höhe des AOX-Wertes beeinflussen können. Statistische Analysen zeigen, dass AOX-Werte im Bremer Grundwasser keine signifikante Korrelation mit LHKW aufweisen. Da neben dem AOX-Wert auch die Konzentrationen von Chlorid, DOC und LHKW gleichermaßen erfasst werden, werden stoffspezifische Überschreitungen, die der AOX anzeigen könnte, in jedem Fall stoffspezifisch gemessen.

#### 4.1.5 Stickstoffverbindungen

Stickstoff liegt im Grundwasser entweder organisch gebunden oder anorganisch als Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) oder Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) vor.

##### Nitrat

Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) stammt aus der Mineralisation organischer Substanz oder wird als Stickstoffeinzeldünger sowie als Komponente stickstoffhaltiger Dünger direkt aufgebracht. Es gilt daher als Leitparameter für den Einfluss der Landwirtschaft auf die Grundwasserqualität. Neben den diffusen Einträgen aus der Landwirtschaft stellen die Austräge aus undichten Schmutzwasserkanalisationen sowie aus Kleinkläranlagen Punktquellen für Nitrat oder Ammonium dar.

Die Zusammenfassung der Nitratkonzentration im Grundwasser des Landes Bremen zeigt, dass der prozentuale Anteil der Messstellen mit Überschreitung der Grundwasserqualitätsnorm von 50 mg/L sich über die betrachteten Zeitabschnitte unter 10 % stabilisiert (Tab. 4-5).

In den betrachteten Messzeiträumen wurden verschiedene Messstellen beprobt, so dass nur eingeschränkt Aussagen zu Trends möglich sind. Die Betrachtungen von Trends erfordert vielmehr die Auswertung von Messreihen an einzelnen Messstellen. Für einzelne Messstellen mit Überschreitungen des Warnwertes bzw. der Grundwasserqualitätsnorm finden sich Zeitreihendarstellungen im Anhang (A9).

	1986-2011	1986-90	1991-95	1996-2000	2001-05	2006-11
Anzahl der Messwerte	2181	251	335	494	465	636
Anzahl der Messstellen	155	91	141	149	101	119
Mittelwert (mg/L)	10,7	12,7	9,1	9,8	10,5	11,8
P50 <sup>p</sup> (mg/L)	0,7	1,5	0,5	0,6	0,8	0,2
P90 <sup>p</sup> (mg/L)	35	58	23	36	34	37
Maximalwert (mg/L)	265	190	265	104	199	181
Messwerte > 50 mg/L	148	29	22	31	24	42
Messwerte > Warnwert	195	2	4	13	7	21
Anzahl der Messstellen > 50 mg/L	25	11	16	11	4	10
Anteil der Messstellen > 50 mg/L (%)	16,1	12,1	11,4	7,4	4,0	8,4

Tab. 4-5: Nitrat-Konzentrationen im Messnetz

<sup>p</sup>: Zur Erläuterung des Begriffs Perzentil siehe Abschnitt 4.3

**Nitrit**

Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) entsteht beim Abbau organischer Substanz entweder nach der Oxidation von Ammonium oder bei der Reduktion des Nitrations. Nitrit tritt als Zwischenprodukt dieser Prozesse auf (Tab. 4-6). Die ermittelten Werte liegen überwiegend unterhalb der Bestimmungsgrenze (Anhang A2).

	1986-2011	2000	2010
Anzahl der Messwerte	2170	139	166
Anzahl der Messstellen	151	97	117
Mittelwert (mg/L)	0,03	0,03	0,03
P50 <sup>P</sup> (mg/L)	0,02	0,03	0,02
P90 <sup>P</sup> (mg/L)	0,02	0,03	0,04
Maximalwert (mg/L)	0,85	0,16	0,33

Tab. 4-6: Nitrit im Grundwasser des Landes Bremen

<sup>P</sup>: Zur Erläuterung des Begriffs Perzentil siehe Abschnitt 4.3

	1986-2011	1986-90	1991-95	1996-2000	2001-05	2006-10
Anzahl der Messwerte	2031	246	334	493	420	538
Anzahl der Messstellen	150	91	141	147	99	117
Mittelwert (mg/L)	1,1	1,1	1,3	1,1	1,0	1,0
P50 <sup>P</sup> (mg/L)	0,6	0,8	0,9	0,5	0,5	0,5
P90 <sup>P</sup> (mg/L)	2,9	2,6	3,4	3,0	2,8	2,8
Maximalwert (mg/L)	18,9	10,0	7,4	18,9	13,0	15,0
Messwerte >0,5 mg/L	1100	151	204	259	217	269
Messwerte > Warnwert	1191	16	12	26	14	23
Anzahl der Messstellen > 0,5 mg/L	104	56	77	84	56	70
Anteil der Messstellen > 0,5 mg/L (%)	69,3	61,5	54,6	57,1	56,6	59,8

Tab. 4-7: Ammonium-Konzentrationen im Grundwasser des Landes Bremen

<sup>P</sup>: Zur Erläuterung des Begriffs Perzentil siehe Abschnitt 4.3

## 4 Grundwasserbeschaffenheit im Land Bremen

Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) kann geogen aus dem Abbau organischer Substanz entstehen aber auch anthropogen u.a. durch flächenhafte Düngung oder punktuell aus Leckagen im Abwassersystem ins Grundwasser eingetragen werden.

Die  $\text{NH}_4^+$ -Konzentrationen der untersuchten Grundwässer liegen überwiegend oberhalb des Schwellenwertes der Grundwasserverordnung von 0,5 mg/L. Die Ursache dafür liegt in den häufig vorherrschenden Bedingungen oberflächennahen Grundwassers mit reduzierenden Verhältnissen, niedrigen pH-Werten und hohen Anteilen organischer Substanz in den Deckschichten und Grundwasserleitern.

Raumeinheit	geogener Hintergrund (mg/L)
Marschen	28,9
Niederungen	2,0
Moore innerhalb Niederungen	7,5
Moore innerhalb Mittelpleistozän	2,6

Tab. 4-8: Regionale geogene Hintergrundwerte für  $\text{NH}_4^+$  in Niedersachsen/Bremen

Diese natürlichen Gründe führen zu regional typischen Ammoniumkonzentrationen im Grundwasser. Niedersachsen und Bremen haben daher als Maßstab für Ammoniumkonzentrationen im Grundwasser regional typische Konzentrationen abgeleitet, die als Schwellenwert für diese Regionen herangezogen werden (Tab. 4-8).

Eine Voraussetzung für hohe Ammonium-Konzentrationen ist unter anderem ein hoher Anteil organischer Substanz in den vom Wasser durchströmten Schichten. Beim Abbau der Organik wird Ammonium freigesetzt und hohe Ammoniumkonzentrationen treten oft gemeinsam mit niedrigen Sauerstoffkonzentrationen auf. Grundwasserbeeinflusste Niedermoorschichten bzw. Einlagerungen sind besonders für die in den Weserniederungen liegenden Bereiche weit verbreitet (Anhang A-10). Ähnlich hohe Konzentrationen wie in Bremen sind aus Butjadingen und der Elbmarsch (Jensen et al. 2003) bekannt.

#### 4.1.6 Bor

Bor (B) gelangt durch Verwitterung von Böden und Gesteinen auf natürliche Weise in die Gewässer der Umwelt. Es kommt in Mineralen von subvulkanischen Gesteinen, Tongesteinen sowie kalk- oder dolomit-

haltigen Gesteinen vor. Die wichtigsten Minerale, in denen Bor vorkommt, sind Kernit, Borax, Ulexit und Colemanit.

Verwendung in der Industrie findet Bor zur Herstellung von Metallboriden, Verbesserung der Leitfähigkeit von Aluminium oder Fließigenschaften von Eisen. Borverbindungen in Form von Perboraten werden Wasch- und Reinigungsmitteln zur Desinfektion und Bleichung hinzugegeben. Außerdem dienen Borate als Wasserenthärter und sind Bestandteile von Düngemitteln für Mais, Wein und Gemüse. In Abwässern eignet sich Bor aufgrund seiner Verwertung in Wasch- und Reinigungsmitteln als Indikator für anthropogene Verunreinigung. Da Bor unter normalen Bedingungen nicht mit Wasser reagiert, ist es im Grundwasser sehr mobil. Der Geringfügigkeitsschwellenwert (LAWA 2004) liegt für Bor bei 740  $\mu\text{g/L}$ .

Bor wurde über 2000 Mal erfasst und überschreitet an 5 Messstellen dieses Grundwassergütekriterium von 740  $\mu\text{g/L}$ . Es handelt sich grundsätzlich um Einzelnachweise, die bei späteren Messungen nicht bestätigt wurden. Der Warnwert wurde in Messstelle FLB 616 von 1988-1993 zwar kontinuierlich überschritten, liegt aber seitdem unter 500  $\mu\text{g/L}$  und nahm bis 2000 kontinuierlich ab. Seitdem ist die Konzentration stabil.

### 4.1.7 Praktische Bedeutung der Grundwasserbeschaffenheit - Bauwirtschaft

Da in den Niederungen Bremens das Grundwasser oberflächennah angetroffen wird, müssen viele Bauwerke in Grundwasser beeinflussten Bereichen gegründet werden. Während der Bauphase ist außerdem oft eine temporäre Absenkung des Grundwassers notwendig, so dass die chemische Beschaffenheit des Wassers beim Verbleib des abgepumpten Grundwassers von Interesse ist. Befinden sich Teile des Baukörpers oder Gründungsbauteile im Einflussbereich des Grundwassers, so sind die Korrosionseigenschaften des Wassers gegenüber der Bausubstanz zu beurteilen.

Werden beim Bau Wässer mit hohen Salzgehalten oder anoxische Wässer mit hohen Eisenkonzentrationen gefördert, so ist das Einleiten der gepumpten Wässer in Oberflächengewässer problematisch, da hohe Salz- und Eisenkonzentrationen den Zustand von Gräben, Fleeten, Kanälen und Seen erheblich stören können.

Erhöhte Salzkonzentrationen sind in Einzugsgebieten von Salzstöcken und küstennah im Grundwasser anzutreffen. Oft liegt spezifisch leichteres süßes Grundwasser über spezifisch schwerem salzigem Grundwasser, wobei beide durch eine Grenzfläche getrennt sind. Beim Absenken des Grundwasserspiegels zur Baugrubenentwässerung folgt diese Grenzfläche hydraulischen Gesetzen, so dass sie ansteigt und die Gefahr besteht, salzhaltiges Wasser zu fördern. Dieser Prozess ist zwar reversibel, es kann jedoch Jahre dauern, bis der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt ist.

Neben salzhaltigen Grundwässern sind die Auswirkungen der Förderung von eisenhaltigen Grundwässern zu beachten. Die Förderung von eisenhaltigen anoxischen Grundwässern führt bei Kontakt mit der Atmosphäre oder dem Sauerstoff im Gewässer zur Oxidation des Eisens zu Eisenhydroxiden und Eisenoxiden. Über die Hälfte aller Grundwasseranalysen zeigen Eisenkonzentrationen über 5 mg/L (Tab. 4-3 und Anhang A-10). Zusätzlich zu den sichtbaren rostfarbenen Ausfällungen (Verockerungen), die die Gewässerbiologie durch einen Belag schädigen und Sauerstoff zehrend wirken, kann dabei auch der pH-Wert des Wassers sinken. Diese Prozesse können zu Problemen in den technischen Einrichtungen zur Wasserhaltung und zu ökologischen Folgen im betroffenen Gewässer führen.

Daher hat der Senator für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa seinerzeit in einem Pilotprojekt ein Verfahren entwickelt, das bei temporären Grundwasserabsenkungen durch Reinfiltration des Förderwassers in das Grundwasser eingesetzt werden kann. Dadurch kann die umgebende Vegetation geschützt werden und eine Eisenfällung in Gewässern, in die sonst eingeleitet werden würde, vermieden und zusätzlich der oben geschilderte Aufstieg von Salzwasser verhindert bzw. gemindert werden (Arge Infiltration 2008).

Bei der Gefahr, salzhaltige Wässer zu fördern, wird salzarmes Wasser so infiltriert, dass die Salz-Süßwassergrenze in einer stabilen Position bleibt (Abb. 4-5), so dass kein salzhaltiges Grundwasser gefördert werden kann.



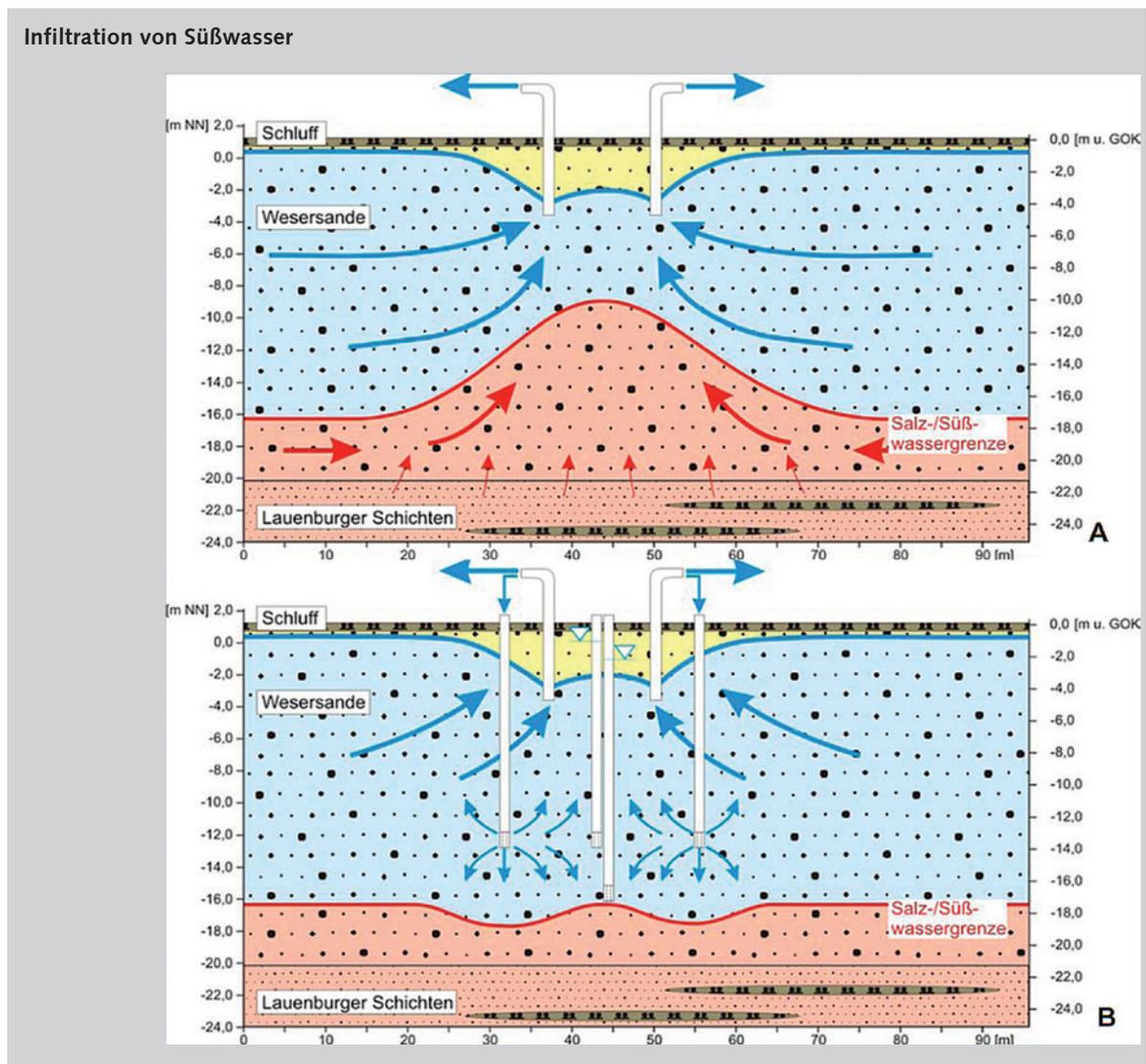


Abb. 4-5: Infiltration von Süßwasser bei der Wasserhaltung in Baugruben zur Vermeidung des Aufstiegs von Salzwasser (aus ARGE „Infiltration“ 2008).

Für die Bauplanung bedeutsam ist ebenso die Berücksichtigung des Angriffsgrads der Grundwässer gegenüber Beton. Die Betonaggressivität von Wässern wird nach DIN 4030 eingeteilt (Tab. 4-9). Neben dem pH-Wert gelten Ammonium, Magnesium, Sulfat und der Anteil der kalklösenden Kohlensäure als Indikatoren.

Untersuchungsparameter	schwach angreifend	stark angreifend	sehr stark angreifend
pH-Wert	6,5–5,5	5,5–4,5	< 4,5
kalklösende Kohlensäure (CO <sub>2</sub> ) [mg/L]	15–40	40–100	> 100
Ammonium (NH <sub>4</sub> ) [mg/L]	15–30	30–60	> 60
Magnesium (Mg) [mg/L]	300–1000	1000–3000	> 3000
Sulfat (SO <sub>4</sub> ) [mg/L]	200–600	600–3000	> 3000

Tab. 4-9: Betonangriffsgrad von Grundwasser gemäß DIN 4030 (DIN 2008)

Für die Ermittlung des Grads ist jeweils der höchste Angriffsgrad maßgebend. Die Betonaggressivität der Grundwässer ist flächenhaft für Bremerhaven (Jensen et al. 2003) und Bremen-Nord (Blankenburg et al. 2008) erfasst und dargestellt. Sie wechselt auf engstem Raum sehr stark (z.B. Jensen et al. 2003).

## 4.2 Parametergruppe B

Die Parametergruppe B fasst anorganische (Fluorid und Schwermetalle) und organische (MKW, LHKW, BTEX und PAK) Parameter zusammen.

### 4.2.1 Metallische und metalloide Spurenstoffe

Metallische und metalloide Spurenstoffe kommen in Böden und Grundwasser natürlicherweise vor. Konzentrationen und Gehalte variieren abhängig von den lokalen Gegebenheiten. Die natürlichen Vorkommen können durch anthropogene Einträge erhöht werden.

Im Folgenden werden einige Informationen zu den Einzelsubstanzen zusammengefasst (Tab. 4-10).

#### Antimon

Das Metalloid Antimon (Sb) tritt mit etwa 0,3 mg/kg in der Lithosphäre nur in geringen Mengen auf, wobei das Sulfid Stibnit ( $Sb_2S_3$ ) das häufigste und wichtigste Sb-Erz darstellt. Des Weiteren ist Antimon in fossilen Rohstoffen angereichert. In die Umwelt gelangt es durch anthropogene Emissionen beim Bergbau, der metallverarbeitenden Industrie, dem Kraftfahrzeugverkehr sowie bei Verbrennungsprozessen. In der Atmosphäre kann es über große Entfernungen transportiert werden. In Böden und Oberflächengewässern gelangt Antimon neben dem Pfad der Atmosphäre über chemische Dünger und die Ausbringung von Klärschlämmen. Der Geringfügigkeitsschwellenwert (LAWA 2004) von 5 µg/L wird seit Beginn der Messreihen im Jahre 2010 nicht überschritten. Der 90-Perzentilwert liegt für Antimon unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (Anhang A 2).

Parameter	Messzeitraum	P50 <sup>P</sup>	P75 <sup>P</sup>	P90 <sup>P</sup>	Max	GW-Kriterium <sup>a</sup>
Arsen As	1986-2011	0,84	2,8	5,7	37 <sup>5</sup>	10 <sup>1</sup>
Blei Pb	1986-2011	1	1	2,0	36	7,2 <sup>2</sup>
Cadmium Cd	1986-2011	0,1	0,2	0,5	5	0,25 <sup>2</sup>
Chrom Cr	1986-2011	1	2	5	140	7 <sup>3</sup>
Kupfer Cu	1986-2011	2	5	8,5	2660	14 <sup>3</sup>
Nickel Ni	1986-2011	2,1	6,5	12	76	20 <sup>2</sup>
Quecksilber Hg	1986-2011	0,1	0,1	(0,1) <sup>4</sup>	2,6	0,05 <sup>2</sup>
Zink Zn	1986-2011	15	41	96	1220	58 <sup>3</sup>
Molybdän Mo	seit 2010	1	1	5,4	14	35 <sup>3</sup>
Antimon Sb	seit 2010	1	1	1	4,9	5 <sup>3</sup>
Selen Se	seit 2010	0,5	1,25	1,9	9,6	7 <sup>3</sup>
Vanadium V	seit 2010	0,5	2,025	5,7	13	4 <sup>3</sup>
Thallium Tl	seit 2010	0,5	0,5	0,5	(1) <sup>4</sup>	0,8 <sup>3</sup>
Cobalt Co	seit 2010	1	2,5	4,54	27	8 <sup>3</sup>
Fluorid F	1986-2011	100	100	300	46.000	750 <sup>3</sup>

Tab. 4-10: Kennzahlen für Befunde (µg/L) metallischer und metalloider Spurenstoffe sowie Fluorid

<sup>1</sup>: Schwellenwert der Grundwasserverordnung

<sup>2</sup>: Umweltqualitätsnorm nach Richtlinie für prioritäre Stoffe (RL 2008/105/EG). Die Umweltqualitätsnormen wurden für Wasserproben abgeleitet, die vor der Analyse filtriert werden. Da die Filtration an Grundwasserproben standardmäßig vorgenommen wird, konnten diese Werte als Grundwassergütekriterium berücksichtigt werden.

<sup>3</sup>: Geringfügigkeitsschwellenwert nach LAWA (2004)

<sup>4</sup>: Bestimmungsgrenze liegt über dem Grundwassergütekriterium

<sup>5</sup>: Überschreitungen von Kriterien sind in Fettdruck hervorgehoben

<sup>a</sup>: Grundwassergütekriterium

<sup>P</sup>: Zur Erläuterung des Begriffs Perzentil siehe Abschnitt 4.3

## 4 Grundwasserbeschaffenheit im Land Bremen

**Arsen**

Arsen (As) ist ebenfalls ein Metalloid. In eisenhaltigen Tonen, Mergeln und Sandsteinen liegt es sulfidisch gebunden oder sorbiert vor. Ins Grundwasser gelangt es durch Lösungsprozesse sowie punktuell durch industrielle Abwässer oder Auslaugung von Abraumhalden aus dem Bergbau oder Deponien. Bei Verbrennungsprozessen gelangen Arsenverbindungen in die Atmosphäre und werden ubiquitär verteilt. Bis in die 80er Jahre fanden Arsenverbindungen außerdem im Pflanzen- und Holzschutz Verwendung.

Der Schwellenwert für Arsen von 10 µg/L (GrwV 2010) wird an 16 Messstellen in 61 Fällen in den Jahren von 1988-2011 erreicht bzw. überschritten. Der maximale Wert von 37 µg/L wurde bereits im

Jahr 1988 ermittelt. Ab 2003 schwanken die Überschreitungen schließlich zwischen 11 und 18 µg/L. Ein Warnwert von 75 % des Schwellenwertes wird in 30 zusätzlichen Fällen erreicht. Der 90-Perzentilwert liegt für Arsen bei 5,7 µg/L.

Die Messstelle FLB 20 weist als einzige derjenigen, an denen der Warn- oder Schwellenwert überschritten wurde, einen statistisch signifikant steigenden Trend auf (Abb. 4-6). Weitere Messstellen, in denen der Schwellenwert überschritten wird, zeigen episodische Änderungen ohne signifikanten aktuellen Trend (Anhang A 9). Die zuständige Stelle wurde informiert und die Ursachenermittlung eingeleitet.

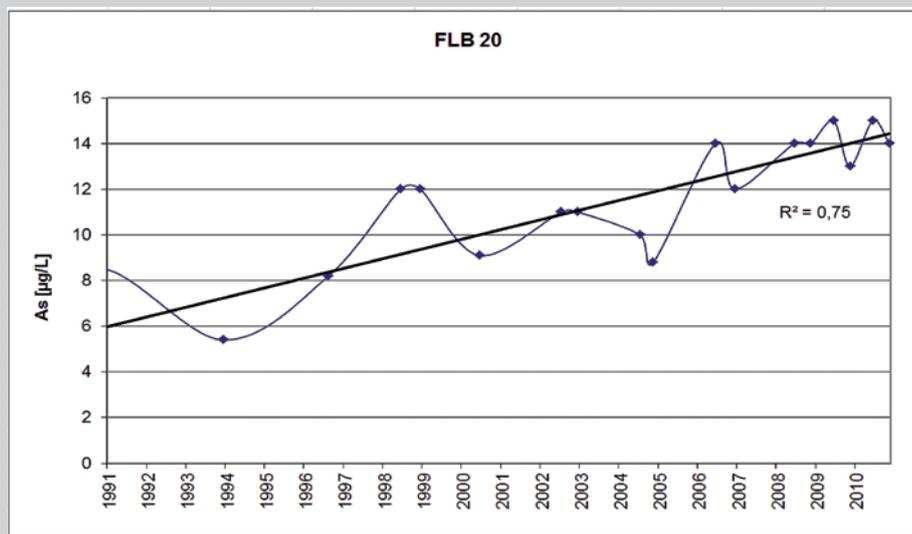
**Entwicklung der Arsenkonzentration**

Abb. 4-6: Entwicklung der Arsenkonzentration in der Messstelle FLB 20

**Blei**

Blei (Pb) ist ein weit verbreitetes, metallisches Spurenelement in der Erdkruste. Es gelangt über Stäube, Vulkanausbrüche und Brände in die Atmosphäre. Hohe Konzentrationen im Wasser treten in Bereichen von Erz- und Öllagerstätten auf. Da jedoch Bleiverbindungen nur wenig löslich sind und Blei eine hohe Sorptionsneigung aufweist, ist es im Grundwasser selten nachweisbar.

In Anlehnung an die Richtlinie für prioritäre Stoffe (RL 2008/105/EG) sollten Bleikonzentrationen im Grundwasser 7,2 µg/L unterschreiten. In den Jahren 1986-2005 wird dieser Wert in 22 Fällen an 16 Messstellen erreicht bzw. überschritten. Der maximale Wert von 36 µg/L wurde im Jahr 1991 erreicht. Weitere 12 Fälle liegen in dem Warnbereich der Bleikonzentration von 5,3 µg/L. Nach 2005 werden weder Warnwert noch Schwellenwert überschritten, so dass keine steigenden Trends an Messstellen Bremens festgestellt werden. Der 90-Perzentilwert liegt für Blei bei 2 µg/L.

**Cadmium**

Cadmium (Cd) kommt in der Erdkruste selten vor. Es gelangt als Nebenprodukt der Zinkverbrennung in die Umwelt und stellt daher z.B. einen Bestandteil des Abraums des frühen Bergbaus im Harz dar. Durch Erosion ist dies von Auensedimenten im Harz bis in die Niederungen der Weser bis nach Bremen verfolgbar (z.B. Monna et al. 2000).

Cadmium gelangt durch Verbrennungsprozesse in die Atmosphäre, von wo aus es durch atmosphärische Deposition ubiquitär verteilt werden kann. Einträge aus Abwässern und Auswaschung aus dem Boden lassen Cadmium das Grundwasser erreichen.

Das Kriterium nach den Richtlinien für prioritäre Stoffe (RL 2008/105/EG) liegt für Cadmium abhängig von der Wasserhärte bei maximal 0,25 µg/L und wird in den Jahren von 1986-2011 in 227 Fällen an 76 Messstellen überschritten. Der 90-Perzentilwert liegt mit 0,5 µg/L oberhalb der Anforderungen der Richtlinie für prioritäre Stoffe.

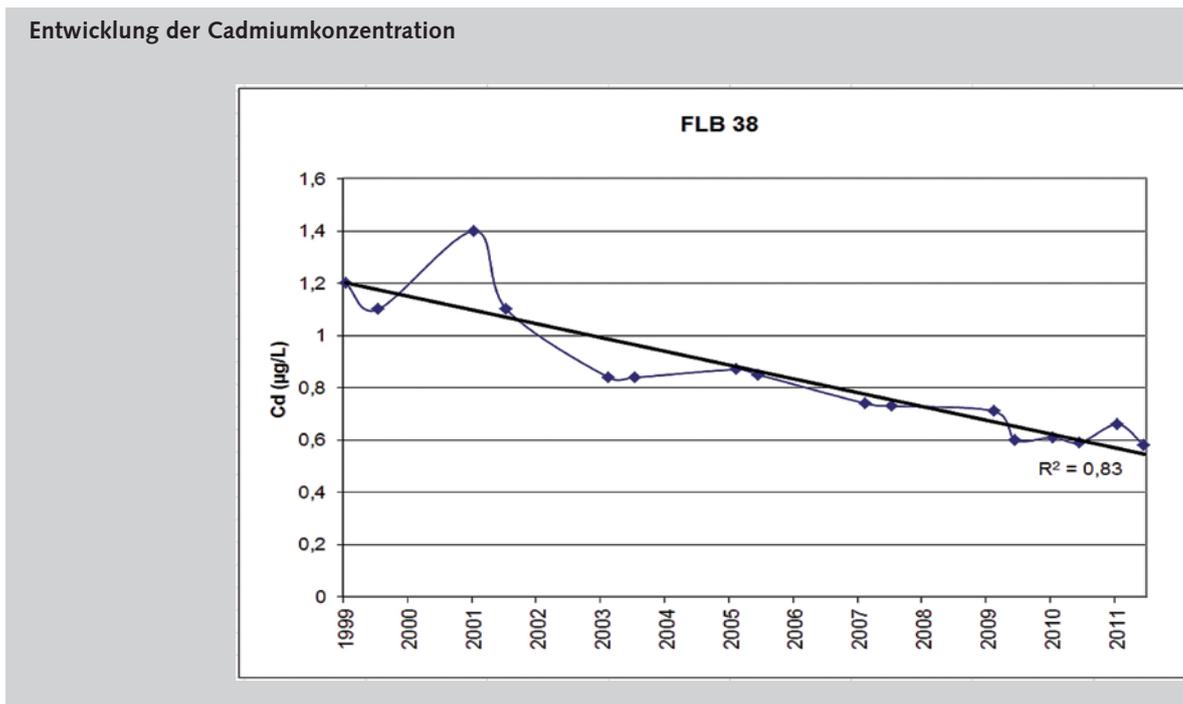


Abb. 4-7: Entwicklung der Cadmiumkonzentration mit fallendem Trend seit 1999 an der Messstelle FLB 38

Von allen Messstellen mit Überschreitungen des Geringfügigkeitsschwellenwertes von  $0,25 \mu\text{g/L}$  zeigt nur FLB 38 ab 1999 einen fallenden Trend (Abb. 4-7 und Anhang A 9). Steigende Trends liegen nicht vor.

#### Chrom

Chrom (Cr) kommt natürlicherweise in Magmatiten, Kalk- und Tonablagerungen vor. Verwendung findet das Mineral in der Metallindustrie, wo es zur Verchromung oder als Legierungsbestandteil in Edelstählen benötigt wird. Unter anderem durch industrielle Abwässer, chromhaltige Stäube und aus Deponien kann Chrom in die Umwelt gelangen. Ins Grundwasser kann Chrom zusätzlich durch Verwitterung an Erzgängen eingetragen werden.

Für Chrom liegt der Geringfügigkeitsschwellenwert bei  $7 \mu\text{g/L}$ . An 27 Messstellen wird dieser Wert in 33 Fällen in den Jahren 1988-1994 erreicht bzw. überschritten. An 15 Messstellen wird in 18 weiteren Fällen der Warnwert von  $5,2 \mu\text{g/L}$  erreicht. Alle Überschreitungen liegen zwischen 1988-1993, so dass keine steigenden Trends für Chromkonzentrationen vorliegen. Der 90-Perzentilwert liegt für Chrom bei  $5 \mu\text{g/L}$ .

#### Cobalt

Cobalt (Co) tritt häufig in Verbindung mit Nickel auf und ist in der Erdkruste eher selten vorhanden. Es ist ein für Lebewesen essentielles Element und findet als Legierungsbestandteil von Stahl sowie Pigment in der Farberstellung Verwendung.

Die Konzentration im Boden ist für Cobalt stark pH-Wert abhängig. Im Grundwasser ist es nur in Wässern mit pH-Werten unter 5 mobil, da es im Boden bei darüber liegenden pH-Werten stark sorbiert wird. Der Geringfügigkeitsschwellenwert liegt für Cobalt bei  $8 \mu\text{g/L}$ . An 2 Messstellen wird dieser Wert in 8 Fällen in den einzigen Messjahren 2010 und 2011 mit  $19 \mu\text{g/L}$  bis  $27 \mu\text{g/L}$  überschritten. Aufgrund der kurzen Messperiode sind Trendbetrachtungen nicht möglich. Der 90-Perzentilwert liegt für Cobalt bei  $4,5 \mu\text{g/L}$ .

#### Kupfer

Kupfer (Cu) kommt häufig in Erzen als Kupferglanz oder -kies vor. Kupfer findet weite Verwendung in Bereichen der Metallverarbeitung, Elektroindustrie und im Pflanzenschutz. Im Grundwasser sind erhöhte Konzentrationen von Kupfer in Gebieten von Industriebetrieben und Erwerbsgemüsebau zu finden.

Der Geringfügigkeitsschwellenwert (LAWA 2004) liegt für Kupfer bei  $14 \mu\text{g/L}$  und wird in den Jahren von 1988-2011 in 57 Fällen an 35 Messstellen erreicht bzw. überschritten. Der Warnwert von  $10,5 \mu\text{g/L}$  wird bereits in 35 weiteren Fällen erreicht. Der 90-Perzentilwert liegt für Kupfer bei  $8,5 \mu\text{g/L}$ .

Mit Ausnahme der Messstelle GMS 210 (Abb. 4-8) werden keine statistisch signifikant steigenden Trends festgestellt (Anhang A 9).

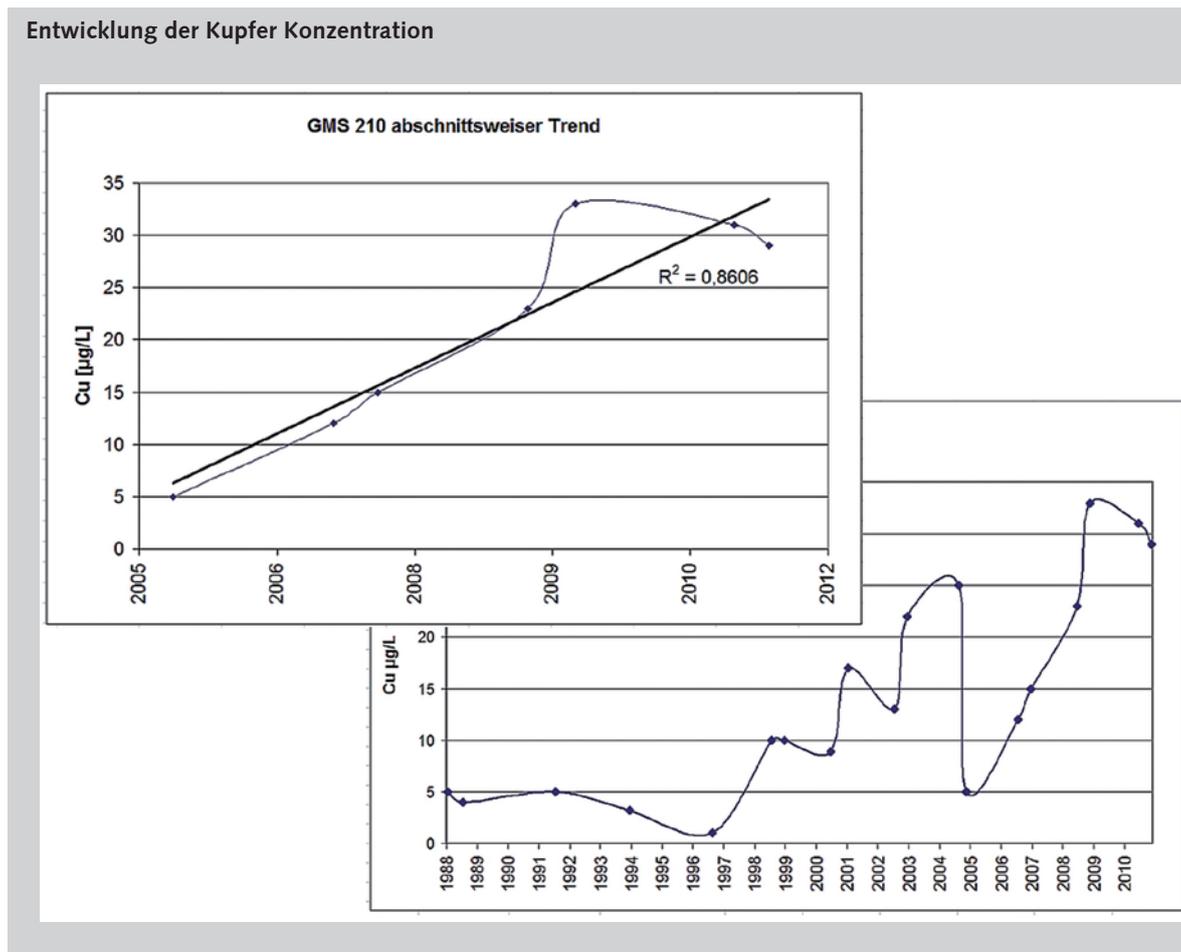


Abb. 4-8: Entwicklung der Kupfer Konzentration an Messstelle GMS 210 mit Trend seit 2005

### Molybdän

Molybdän (Mo) ist in der Erdkruste in sulfidischen Lagerstätten und Erdöl in geringen Gehalten enthalten. Verwendet wird Molybdän in Mo-Stahl, Legierungen, Auftausalzen und Düngemitteln. Molybdän bildet wie Arsen und Vanadium sogenannte Oxoanionen. Im Wasser zeigt Molybdän eine gute Löslichkeit und Mobilität, welche nur durch die Bildung von Molybdaten eingeschränkt wird. Bemerkenswert ist die hohe Löslichkeit von Molybdänverbindungen aus thermisch behandelten Rohstoffen (Karius et al. 2002).

Der Geringfügigkeitsschwellenwert beträgt 35 µg/L, welcher bei keiner Messung erreicht wird. Auch der Warnwert von 26 µg/L wird im gesamten Messzeitraum nicht überschritten. Maximal wird ein Wert von 14 µg/L verzeichnet. Der 90-Perzentilwert liegt bei 5,4 µg/L.

### Nickel

Nickel (Ni) tritt in der Erdkruste meist in sulfidischen Erzen auf. Hauptsächlich findet Nickel Verwendung in der Stahlveredlung.

Die Löslichkeit von Nickelverbindungen im Wasser wird durch einen geringen pH-Wert, Anwesenheit von organischen Verbindungen und reduzierende Bedingungen erhöht. Unter Berücksichtigung der Richtlinie für prioritäre Stoffe (RL 2008/105/EG) sollten Grundwasserkonzentrationen für Nickel 20 µg/L nicht überschreiten. Dieser Wert wird in den Jahren von 1988-2011 an 20 Messstellen in 92 Fällen erreicht bzw. überschritten. Ein Warnwert von 15 µg/L wird in 22 weiteren Fällen erreicht. Der 90-Perzentilwert liegt bei 12 µg/L.

Die Messstellen FLB 38, 101, 110 und 667 zeigen über lange Zeiträume Konzentrationen über der Grundwasserqualitätsnorm, aber nur FLB 38 zeigt einen deutlich fallenden Trend in den letzten Jahren (Abb. 4-9 und Anhang A 9).

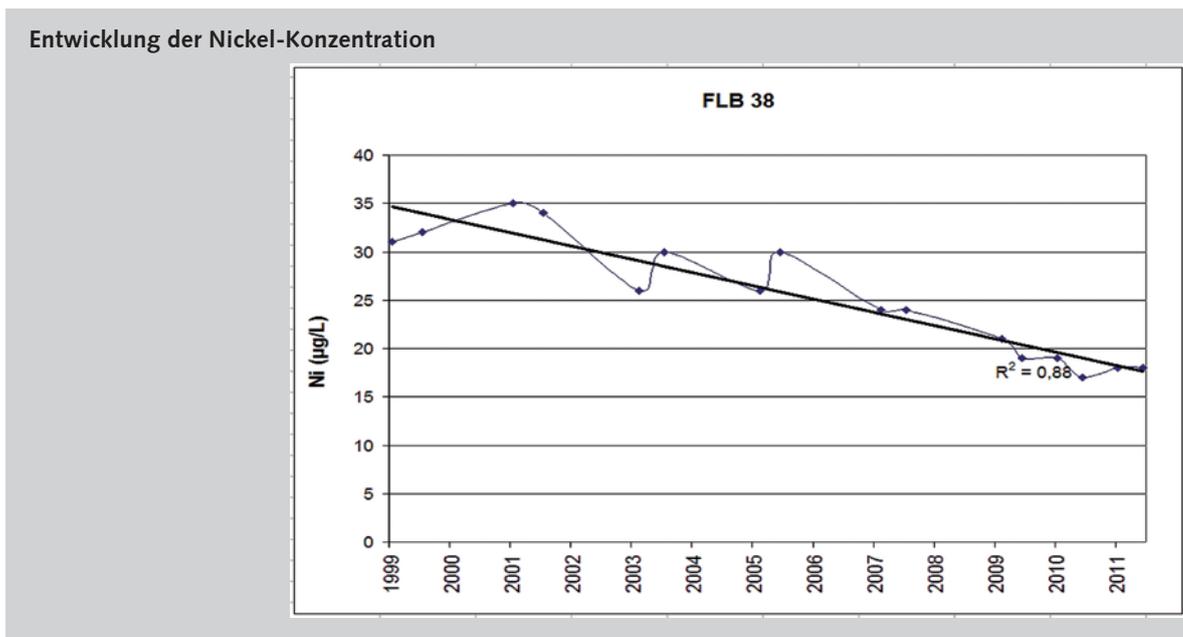


Abb. 4-9: Entwicklung der Nickel-Konzentration in Messstelle FLB 38

#### Quecksilber

Quecksilber (Hg) gehört ebenfalls zu den Übergangsmetallen. Verwendung findet es unter anderem in Thermometern, Batterien und elektrotechnischen Bauteilen.

Gemäß der Richtlinie für prioritäre Stoffe (RL 2008/105/EG) liegt die Umweltqualitätsnorm für Quecksilber im Grundwasser bei 0,05 µg/L. Von 1987-1995 wird dieser Wert in 16 Messungen an 13 Messstellen überschritten. Dabei wird der maximale Wert von 2,6 µg/L zu Beginn der Überschreitungen im Jahr 1987 verzeichnet.

Da die analytische Bestimmungsgrenze für Quecksilber im angewendeten analytischen Verfahren oberhalb des niedrigen aktuellen Grundwasserkriteriums liegt (Bestimmungsgrenzen siehe Anhang 2), erfolgt hierzu zukünftig eine Anpassung.

#### Selen

Selen (Se) kommt in kleinen Mengen als gediegenes Selen natürlich vor und ist in Mineralen wie Selenblei (PbSe), Naumannit (Ag<sub>2</sub>Se) sowie Erdöl enthalten. Verwendung findet Selen in der Elektrophotographie, Lasertechnik oder auch als Mischfutterzusatz in der Tierzucht.

Der Geringfügigkeitsschwellenwert liegt für Selen bei 7 µg/L (LAWA 2004) und wird in 2 Fällen an der Messstelle FLB 351 in den einzigen Messjahren 2010 und 2011 überschritten. Zeitliche Entwicklungen lassen sich aufgrund dieses kurzen Beobachtungszeitraums nicht feststellen. In FLB 351 wird auch der Warnwert von 5,2 µg/L in 2 weiteren Fällen überschritten. Der maximale Wert für Selen liegt bei 9,6 µg/L und der 90-Perzentilwert bei 1,9 µg/L.

#### Thallium

Thallium (Tl) tritt in Spuren in kaliumreichen Gesteinen auf und fällt als Nebenprodukt der Verhüttung von Kupfer, Blei- und Zinkerzen an. Aufgrund seiner geringen Löslichkeit und seiner Sorptionsneigung reichert sich Thallium in Sedimenten an.

Der Geringfügigkeitsschwellenwert liegt für Thallium bei 0,8 µg/L (LAWA 2004). Weder dieser Wert noch der Warnwert von 0,6 µg/L konnten nachgewiesen werden. Da die analytische Bestimmungsgrenze für Thallium im angewendeten analytischen Verfahren oberhalb des aktuellen Geringfügigkeitsschwellenwertes für Thallium von 0,8 µg/L (LAWA 2004) liegt, erfolgt hierzu zukünftig eine Anpassung.

#### Vanadium

Das Spurenmetall Vanadium (V) tritt in Eisenerzen auf und wird vor allem in der Metallindustrie als Legierungszusatz verwendet. Es tritt unter oxidischen Bedingungen überwiegend in löslicher Form als Vanadat auf, welches als gut wasserlöslich gilt. Diese gute Löslichkeit wird besonders bei thermisch behandelten Bau- und Recyclingmaterialien beobachtet und deren Auswirkung als Bestandteil von Recyclingkreisläufen wird diskutiert (Karius et al. 2002).

Für Flora und Fauna stellt Vanadium ein essentielles Element dar.

Der Geringfügigkeitsschwellenwert liegt für Vanadium bei 4 µg/L (LAWA 2004). Dieser Wert wird an 4 Messstellen in den einzigen Messjahren 2010 und 2011 in 16 Fällen überschritten. Der kurze Beobachtungszeitraum erlaubt keine Aussagen zu Trends. Der Warnwert von 3 µg/L für Vanadium wird nicht zusätzlich zu den Fällen mit Überschreitung des Geringfügigkeitsschwellenwertes erreicht. Der maximale Wert liegt bei 13 µg/L und der 90-Perzentilwert bei 5,6 µg/L.

## 4 Grundwasserbeschaffenheit im Land Bremen

**Zink**

Zink stellt ein in der Natur relativ häufig vorkommendes Metall dar. Als Zinkblende (ZnS) bildet es Erzlagerstätten und kommt häufig in Erguss- und metamorphen Gesteinen vor, wo es oft mit Blei und Cadmium vergesellschaftet ist. Ebenso enthalten Kohle, Bitumen und Öl Zink. Da Zink als Werkstoff oder Korrosionsschutz weitverbreitet verwendet wird, können Anteile der Zinkkonzentrationen auch anthropogenen Ursprungs sein.

Der Geringfügigkeitsschwellenwert (LAWA 2004) liegt für Zink bei 58 µg/L. Dieser Wert wird in den Jahren von 1988-2011 an 71 Messstellen in 221 Fällen erreicht bzw. überschritten. Der Warnwert von 43,5 µg/L wird zusätzlich in 75 Fällen an 34 Brunnen überschritten. Der 90-Perzentilwert liegt für Zink bei 96 µg/L. 94 Überschreitungen wurden in den Messstellen FLB 38, 110, 118, 123, 547 und 607 festgestellt. Trendanalysen ergaben keine signifikanten Trends im Zeitraum der letzten 10 Jahre (Abb. 4-10, Anhang A 9).

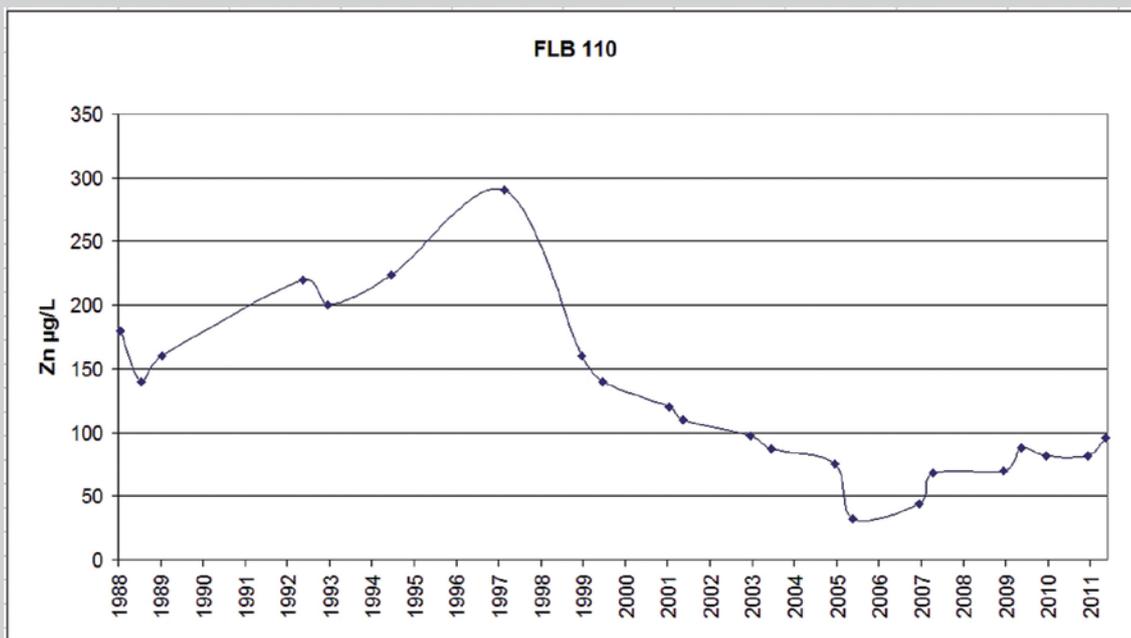
**Entwicklung der Zink-Konzentration**

Abb. 4-10: Entwicklung der Zink-Konzentration in Messstelle FLB 110. Es liegt zwar eine deutliche Abnahme seit 1997 bis heute vor (von ca. 280 mg/L auf ca. 100 mg/L), aber ohne aktuellen Trend (stabil seit 2005)

**Bewertung der Schwermetallkonzentrationen**

Metallische Spurenstoffe sind natürliche Bestandteile des Grundwassers. Je nach Beschaffenheit des Aquifers variiert ihre Konzentration im Grundwasser. Darüber hinaus können weitere Belastungen auch durch anthropogene Einträge entstehen.

Von den 14 untersuchten metallischen Spurenstoffen sind für Arsen, Cadmium, Blei, Nickel und Quecksilber durch die Richtlinie für prioritäre Stoffe (RL 2008/105/EG) Umweltqualitätsnormen und die Grundwasserverordnung 2010 Schwellenwerte festgelegt. Für die übrigen werden die jeweiligen Geringfügigkeitsschwellenwerte (LAWA 2004) zur Beurteilung herangezogen.

Für 3 Stoffe (Thallium, Molybdän, Antimon) wurden keine Überschreitungen der Grundwasserkriterien nachgewiesen. Für alle übrigen werden Überschreitungen zumindest mit Einzelwerten festgestellt (Tab. 4-10 und -11). Mit Ausnahme von zwei Einzelfällen, je einem bei Arsen und Kupfer, wurden keine aktuellen steigenden Trends nachgewiesen.

	Anzahl der Messwerte				Anzahl der Messstellen > GW-Kriterium <sup>1</sup>	Zeitraum der Überschreitung
	insgesamt	>BSG	> Warnwert	> GW-Kriterium <sup>1</sup>		
Arsen	1281	1042	91	61	16	1988-2011
Blei	1260	212	33	25	15	1986-2005
Cadmium	1233	317	308	227	76	1988-2011
Chrom	1256	353	51	33	27	1988-1993
Kupfer	1261	663	92	57	35	1988-2011
Nickel	1250	657	114	92	20	1988-2011
Quecksilber	1176	16	16	16	13	1989-1995
Zink	1254	786	296	221	71	1988-2011
Molybdän	108	25	0	0		
Antimon	108	5	3	0		
Selen	107	31	4	2	1	2010-2011
Vanadium	108	34	16	16	4	2010-2011
Thallium	108	0	0	0	0	
Cobalt	107	31	8	8	2	2010-2011
Fluorid	1033	825	35	22	17	1986-2003

Tab. 4-11: Überschreitung von Grundwassergütekriterien: Metalle/ Metalloide und Fluorid

<sup>1</sup>: Grundwassergütekriterium

Nur bei Cadmium, Vanadium und Zink überschreitet der 90-Perzentilwert die Grundwasserkriterien, d.h. für alle anderen Parameter liegen über 90% der Werte der jeweiligen Parameter unter den gewählten Qualitätskriterien für Grundwasser (Tab. 4 10).

Da die Schwermetallkonzentrationen seit Beginn der Messreihen 1986 bis heute kaum signifikante Trends zeigen, können sie als regional typisch für das oberflächennahe Grundwasser angesehen werden. Der Vergleich mit regionalen Hintergrundkonzentrationen im Grundwasser bestätigt diese Schlussfolgerung. Hintergrundkonzentrationen für oberflächennahes Grundwasser sind für Deutschland ermittelt worden. Hierzu wurde das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland in hydrogeochemische Einheiten nach ihren hydrogeologischen und chemischen Eigenschaften unterteilt (Wagner et al. 2011). Das Land Bremen ist auf 4 hydrogeochemische Einheiten aufgeteilt (Abb. 4-11).

## Einteilung des oberen Grundwassers in hydrogeochemische Einheiten



Abb. 4-11: Einteilung des oberen Grundwassers in Nord-Westdeutschland in hydrogeochemische Einheiten

Für einige Elemente (Thallium, Molybdän, Antimon und Selen) liegen bundesweit insgesamt zu wenige Daten vor, um Hintergrundwerte für diese einzelnen Gebiete zu ermitteln. Einschränkungen gibt es auch für Cobalt, Quecksilber und Vanadium. Weitere Datenerhebungen werden diese Informationen in Zukunft bereitstellen.

Man kann festhalten, dass die Konzentrationen der 90-Perzentilwerte für Cadmium und Vanadium im Bremer Grundwasser verglichen mit den Hintergrundwerten in Grundwasserleitern, die vergleichbare geologische und chemische Bedingungen aufweisen, erhöht sind, während für die übrigen Metalle und Metalloide im Land Bremen Konzentrationen ermittelt werden, die vergleichbar hoch sind.

Metall	Perzentil	Grundwasser im Land Bremen		Grundwasser in hydrogeochemischen Einheiten Bremens			
		1986-2011	2005-2011	Marschen	Moor-niederung	Urstrom-/Nebentäler	Geest
As	P 90	5,7	6,2	2,49	6,5	9,29	3,28
	P 75	2,8	2,2	1	3,9	3,9	2,38
	P 50	0,84	0,62	0,38	2,23	1,49	1,37
Cd	P 90	0,5	0,47	0,021	n.a.Werte <sup>1</sup>	0,146	0,57
	P 75	0,2	<BSG <sup>2</sup>	0,004		<BSG	0,036
	P 50	<BSG	<BSG	0,0007		<BSG	<BSG
Co	P 90	4,5	4,5	n.a.Werte	n.a.Werte	4,15	n.a.Werte
	P 75	2,5	2,5			1,43	
	P 50	<BSG	<BSG			0,43	
Cr	P 90	5	<BSG	2,13	n.a.Werte	0,81	0,97
	P 75	2	<BSG	0,96		0,21	0,34
	P 50	<BSG	<BSG	0,39		0,05	0,11
Cu	P 90	8,5	8,5	2,33	15,8	6,7	2,15
	P 75	5	4,4	0,89	5,66	1,85	1,14
	P 50	2	<BSG	0,31	<BSG	0,44	0,566
Hg	P 90	<BSG	<BSG	0,408	n.a.Werte	n.a.Werte	n.a.Werte
	P 75	<BSG	<BSG	0,077			
	P 50	<BSG	<BSG	0,012			
Ni	P 90	12	12	5,42	15,2	11,5	13,1
	P 75	6,5	4,2	2,46	9,64	3,3	5,42
	P 50	2,1	<BSG	1,02	3,46	0,827	2,03
Pb	P 90	2	<BSG	1,09	6,29	7,47	1,53
	P 75	<BSG	<BSG	0,51	1,1	1,29	0,77
	P 50	<BSG	<BSG	<BSG	0,16	0,18	0,36
Zn	P 90	96	62	24,6	131	74,6	67,5
	P 75	41	21	15,1	31,2	23,5	22,5
	P 50	<BSG	<BSG	4,48	6,33	6,5	6,6
V	P 90	5,7	5,7	<BSG	n.a.Werte	n.a.Werte	n.a.Werte
	P 75	2,0	2,0	<BSG			
	P 50	<BSG	<BSG	<BSG			

Tab. 4-12: Vergleich der Hintergrundwerte [ $\mu\text{g/L}$ ] in hydrogeochemischen Einheiten (HGE) mit der Grundwassergüte des Landes Bremen

<sup>1</sup>: n.a.Werte = nicht ausreichend Werte zur Berechnung der Perzentile

<sup>2</sup>: <BSG = Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen

## 4.2.2 Fluorid

Das bedeutendste Fluoridmineral ist Fluorit ( $\text{CaF}_2$ ), ein meist hydrothermal entstandenes Salz, das zur Gewinnung von Flusssäure abgebaut wird. Anorganische Fluorverbindungen werden in der glas- sowie metallverarbeitenden Industrie und in der Herstellung halogener organischer Verbindungen eingesetzt.

Aus der Atmosphäre und beim Einsatz phosphathaltiger Dünger kann es zu diffusiven Einträgen über einen Konzentrationsbereich von 1-20 kg/ha und Jahr kommen (Merkel und Sperling 1996). Als mittlere Fluoridkonzentration im Sickerwasser werden 0,1 mg/L für Deutschland angegeben. Werte über 1 mg/L werden oft in Thermal- oder Heilwässern festgestellt.

Als Geringfügigkeitsschwellenwert werden 750 µg/L angegeben. In Bremen liegen 825 Nachweise in 1033 Messungen zwischen 1988-2011 an 141 verschiedenen Messstellen vor. Die Bestimmungsgrenze liegt bei 20 µg/L.

Der Geringfügigkeitsschwellenwert wird 22-mal überschritten, zusätzlich liegen Fluoridwerte 13-mal über dem Warnwert. Von diesen insgesamt 35 Werten sind 33 in der Zeit vor 2001 festgestellt worden (Tab. 4-3). Es wird an keiner Messstelle ein Trend festgestellt.

## 4.2.3 Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)

Die Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) stellen einen Sammelbegriff für Raffinationsprodukte aus Rohölen dar. Dazu gehören Benzin, Petroleum, Kerosin, Dieselmotorenstoff, Heizöl und Motorenöl. Die chemische Zusammensetzung der MKW variiert aufgrund der Unterschiede in Herkunft und Verarbeitung. Die Hauptkomponenten sind Kohlenwasserstoffe (Aliphaten, Aromaten, Cycloaliphaten, Naphthene); Nebenbestandteile sind sauerstoffhaltige (z.B. Phenole), schwefelhaltige (z.B. Thioarene) und stickstoffhaltige (z.B. Porphyrene, Azarene) Verbindungen.

Grundwasserunreinigungen mit MKW können von organischen Flüssigkeiten ausgehen, die z.B. bei Unfällen und aus undichten Lagertanks oder Leitungen in den Untergrund gelangen. Diese können mit dem Grundwasser direkt in Kontakt treten oder in einsickerndem Regenwasser oder Sickerwasser gelöst werden.

In Bremen und Bremerhaven wurden seit 1999<sup>10</sup> an 53 verschiedenen Messstellen 652 Messungen auf MKW vorgenommen. Zwischen 1999 und 2001 werden 5 Nachweise oberhalb der aktuellen Bestimmungsgrenze von 0,2 mg/L an verschiedenen Messstellen festgestellt. Von diesen Werten liegen vier Werte oberhalb des Geringfügigkeitsschwellenwertes von 0,1 mg/L. Zusätzliche Grundwassergütekriterien sind für Einzelsubstanzen wie Benzol und die Verbindungen der BTEX und PAK festgelegt.

## 4.2.4 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) bilden eine Stoffgruppe der Kohlenwasserstoffe, deren Grundgerüst sich durch zwei oder mehr kondensierte Benzolringe auszeichnet und nur aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen besteht, wobei mehrere hundert Verbindungen bekannt sind. Nach einem Vorschlag der amerikanischen Umweltbehörde EPA werden stellvertretend für die PAK 16 Einzelstoffe betrachtet, die auch im Grundwassermonitoring des Landes Bremen berücksichtigt werden.

PAK sind u.a. in Steinkohleteer, Rohöl und Mineralölprodukten enthalten und entstehen bei der unvollständigen Verbrennung und thermischen Zersetzung organischer Materialien. Sie werden als Feinstaubpartikel durch Rauch, Flugstaub und Rußpartikel über den Luftpfad verbreitet und sind daher ubiquitär nachweisbar. Neben diesen diffusen Einträgen treten PAK als punktuelle Bodenverunreinigungen auf Flächen von Kokereien und Gaswerken der Petrochemie und des Kohlebergbaus sowie von Dachpappe produzierenden Betrieben auf. In Deutschland sind die momentanen Hauptverwendungszwecke für PAK in der Farbstoffherstellung oder als Lösungsmittelbestandteil zu suchen.

Zu den PAK gehören humantoxikologisch bedenkliche Verbindungen mit karzinogenem und mutagenem Potenzial.

<sup>10</sup> 1986-1997 wurden Kohlenwasserstoffe analytisch als Summenparameter mit IR-Spektroskopie (DIN 38409-H18) erfasst. Diese Ergebnisse sind nicht mit denen des aktuellen GC-Verfahrens (DIN EN ISO 9377-2 (2001)) vergleichbar und werden in diesem Bericht nicht berücksichtigt.

PAK	Messungen	Messungen > BSG	GW-Kriterium [µg/L]	Anzahl der Werte > GW-Kriterium <sup>1</sup>	Anzahl der Messstellen > GW-Kriterium	Zeitraum
Acenaphthen	602	7	0,200	2	2	2011
Acenaphthylen	605	1	0,200	0		
Anthracen	602	12	0,1	0		
Benzo(a)anthracen	605	5	0,200	0		
Benzo(a)pyren	1061	53	0,010	10	9	1987-94
Benzo(b)fluoranthen	1061	75	0,03	2	2	1990/94
Benzo(ghi)perylene	1022	7	0,002	7	7	1987-94
Benzo(k)fluoranthen	1059	70	0,030	1	1	1990
Chrysen	560	3	0,200	0		
Dibenz(ah)anthracen	605	0	0,01	0		
Fluoranthen	1056	25	0,100	0		
Fluoren	605	6	0,200	0		
Indeno(1,2,3cd)pyren	1059	19	0,002	19	17	1986-93
Naphthalin	560	2	2,000	0		
Phenanthren	605	35	0,200	0		
Pyren	603	26	0,200	0		

Tab. 4-13: Überschreitung der Grundwassergütekriterien durch PAK

<sup>1</sup>: Grundwassergütekriterium

Im Laufe der Grundwassermessungen haben sich der Parameterumfang und die Bestimmungsgrenzen für Einzelstoffe entwickelt (Anhang A-7). Bei der Auswertung werden vier unterschiedliche PAK-Summenwerte betrachtet, wobei die 2012 gültigen Geringfügigkeitsschwellenwerte als Grundwassergütekriterium verwendet wurden.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Es wurden insgesamt 12.270 Messungen auf Vertreter der PAK durchgeführt. Es wurden dabei 346 Befunde oberhalb der Bestimmungsgrenze ermittelt, die in 63 verschiedenen Messstellen auftraten. 41 Mal wurden Grundwassergütekriterien für PAK überschritten. Bis auf die Funde von Acenaphthen aus dem Jahr 2011

liegen alle Überschreitungen mehr als 10 Jahre zurück (Tab. 4-13).

Die Summe der PAK gemäß US-EPA<sup>11</sup> ohne Naphthalin weist zwei Überschreitungen auf (Tab. 4-14). Die Grundwassergütekriterien für die  $\Sigma$  Benzo-b-fluoranthen und Benzo-k-fluoranthen werden in vier Fällen und für die  $\Sigma$  von Benzo-b-fluoranthen, Benzo-k-fluoranthen, Benzo-ghi-perylene und Indeno-1,2,3-cd-pyren einmal überschritten. Bezüglich der  $\Sigma$  Benzo-ghi-perylene und Indeno-123cd-pyren liegen die analytischen Bestimmungsgrenzen meist über dem anzuwendenden Kriterium.

<sup>11</sup> US-EPA: Umweltbehörde der USA, United States Environmental Protection Agency

$\Sigma$ -Parameter PAK	GW-Kriterium <sup>1</sup> [ $\mu\text{g/L}$ ]	Anzahl der Befunde > GW-Kriterium [ $\mu\text{g/L}$ ]	Anzahl der Befunde > Warnwert [ $\mu\text{g/L}$ ]
$\Sigma$ PAK US-EPA 16 ohne Naphthalin	0,2	2	4
$\Sigma$ Benzo-b-fluoranthen und Benzo-k-fluoranthen	0,03	4	1
$\Sigma$ (PAK-TVO 4)= Benzo-b-fluoranthen, Benzo-k-fluoranthen, Benzo-ghi-perylen + Indeno-1,2,3-cd-pyren	0,1	1	1
$\Sigma$ Benzo-ghi-perylen und Indeno123cd-pyren	0,002	- <sup>B</sup>	

Tab. 4-14: Summen-Werte ( $\Sigma$ ) der PAK-Funde im Bremer Grundwasser

<sup>B</sup>: Die Bestimmungsgrenze liegt über dem Grundwassergütekriterium<sup>1</sup> (=GW-Kriterium)

<sup>1</sup>: Grundwassergütekriterium

Zusätzlich zu den genannten Überschreitungen der Grundwassergütekriterien wird der 75%-Warnwert lediglich in sechs Fällen erreicht. Eine zeitliche oder räumliche Häufung von PAK-Funden ist nicht festzustellen.

#### 4.2.5 BTEX – Vertreter aromatische Kohlenwasserstoffe

Die aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol werden unter der Abkürzung BTEX zusammengefasst. Außerdem werden 1,2,3-, 1,2,4- und 1,3,5-Trimethylbenzol dazugerechnet. Anilin und Nitrobenzol werden in dieser Stoffgruppe mit betrachtet, gehören aber nicht zu den BTEX. Die BTEX-Aromaten haben eine mittlere bis hohe Wasserlöslichkeit und eine niedrige bis mittlere Sorptionsneigung.

Die BTEX-Verbindungen sind Bestandteile des Steinkohleteers, werden aber hauptsächlich aus Erdöl gewonnen. Sie dienen als Rohstoff in der chemischen Industrie als Löse- und Entfettungsmittel und im Benzin zur Erhöhung der Oktanzahl.

In den vergangenen 25 Jahren verringern sich die Bestimmungsgrenzen für BTEX (Anhang A-7). Bei über 6000 Einzelmessungen werden 22-mal Vertreter der BTEX erfasst, meistens Benzol. Dadurch werden dann auch teilweise die Grundwassergütekriterien für Benzol und auch für den Summenparameter  $\Sigma$  BTEX überschritten (Tab. 4-15).

Diese insgesamt vier Überschreitungen für Benzol liegen an drei verschiedenen Messstellen: 2011 wurde in FLB 488 D Benzol mit  $1,3 \mu\text{g/L}$  erfasst. Der Höchstwert aller Messungen von  $27 \mu\text{g/L}$  im FLB 627 stellte eine Überschreitung der Grundwassergütekriterien für Benzol als Einzelsubstanz und den Summenparameter  $\Sigma$  BTEX dar. Dieser Wert stellt ebenso wie die Nachweise an der Messstelle FLB 678 von 2007 und 2009 einen Einzelbefund dar, die an FLB 678 bei späteren Messungen bis 2011 nicht bestätigt werden konnten.

Parameter	Anzahl Messungen	Bestimmungsgrenze [ $\mu\text{g/L}$ ]	Werte >BSG	GW-Kriterium <sup>1</sup> [ $\mu\text{g/L}$ ]	Anzahl der Messungen > GW-Kriterium
1,2,3-Trime-thylbenzol	630	0,1-15	0	20	0
1,2,4-Trime-thylbenzol	384	0,1-2	2	20	0
1,3,5-Trime-thylbenzol	384	0,1-4	1	20	0
Benzol	1104	0,1-10	14	1	4
Ethylbenzol	922	0,1-5	0	20	0
Toluol	1108	0,1-10	2	20	0
Xylole	1697	0,1-10	3	20	0
$\Sigma$ BTEX	6229	-	22	20	1
Anilin	683	0,05-0,5	2	-	-
Nitrobenzol	708	0,05-1	1	0,7	0

Tab. 4-15: Bestimmungsgrenzen und Überschreitungen der Grundwassergütekriterien für BTEX sowie für Anilin und Nitrobenzol

<sup>1</sup>: Grundwassergütekriterium

Die Einzelsubstanzen Anilin und Nitrobenzol werden zwei- bzw. einmal direkt oberhalb ihrer jeweiligen analytischen Bestimmungsgrenze (Tab. 4-15) erfasst.

#### 4.2.6 Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)

Die leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe (LHKW) sind einfach oder mehrfach halogenierte, meist chlorierte Alkane und Alkene mit 1 oder 2 C-Atomen, in Ausnahmefällen auch mehr. Sie zeichnen sich durch eine sehr hohe Mobilität in der ungesättigten und der gesättigten Bodenzone aus. Im Gegensatz zu den BTEX-Aromaten können sie aufgrund ihrer hohen Dichte bis auf die Grundwassersohle vordringen. Dort werden sie nur in sehr geringem Umfang abgebaut.

Bis zum 2. Weltkrieg wurden LHKW überwiegend zur Textilreinigung sowie für spezielle Fertigungen, z.B. im Flugzeugbau, verwendet. Ab den 60er Jahren stieg

der Einsatz, da sie in der metallverarbeitenden Industrie als Entfettungsmittel eingesetzt wurden. Mit dem zunehmendem Wissen über das Gefährdungspotenzial der LHKW sanken die Produktions- und Einsatzzahlen in den letzten Jahren. Die LHKW werden heute noch als Entfettungs-, Löse- und Extraktionsmittel in den Bereichen Reinigung/Wäscherei, Fahrzeugbau, Farben- und Lackherstellung, Tierkörperbeseitigung, Kunststoff-, Gummi-, Druck- und pharmazeutische Industrie eingesetzt. Im Raum Bremen und Bremerhaven wurden in den vergangenen 25 Jahren folgende 20 LHKW gemessen (Tab. 4-16):

## 4 Grundwasserbeschaffenheit im Land Bremen

LHKW <sup>1</sup>	GW-Kriterium <sup>2</sup> [µg/L]	Anzahl der				Zeit der Überschreitung
		Messungen	Messungen > BSG	Werte > GW-Kriterium	Messstellen mit Wert > GW-Kriterium	
1,1,1-Trichlorethan	20	1232	64	2	1	1989, 1992
1,1,2-Trichlorethan	20	1017	3	0		
1,1,2-Trichlortrifluorethan	20	2	0	0		
1,1-Dichlorethan	20	1018	275	1	1	2005
1,1-Dichlorethen	20	971	23	2	2	1991
1,2-Dichlorethan	3	1018	42	2	2	1999, 2005
1,2-Dichlorethen	20	392	1	1	1	1990
Bromdichlormethan	20	1237	1	0		
Cis-1,2-Dichlorethen	20	783	95	26	4	1998-2011
Dibromchlormethan	20	1235	1	0		
Dibrommethan	20	1015	2	0		
Dichlormethan	20	1233	48	16	1	1986-97
Hexachlorbutadien	20	85	0			
Tetrachlorethen	10	1226	236	1	1	2011
Tetrachlormethan	20	722	36	0		
Trans-1,2-Dichlorethen	20	778	26	1	1	2005
Tribrommethan	20	340	12	0		
Trichlorethen	10	1227	97	1	1	99
Trichlormethan	20	1231	69	0		
Vinylchlorid	0,5	655	31	26	10	1999-2011
Σ LHKW	20		1062	51	9	1986- 2011
Σ Tri- und Tetrachlorethen	10	1226	333	2	2	1999,2011

Tab. 4-16: LHKW im Grundwasser des Landes Bremen

<sup>1</sup>: 1,2-Dichlorpropan wird aufgrund seiner Hauptverwendung im Kapitel „Pflanzenschutzmittel“ behandelt.

<sup>2</sup>: Grundwassergütekriterium

Parameter	Messzeitraum	BSG <sup>1</sup>	P50	P75	P90	Max
1,1,1-Trichlorethan	1986-2011	0,1	0,05	0,05	0,05	72
1,1,2-Trichlorethan	1986-2011	0,1	0,5	0,5	2,5	5
1,1,2-Trichlor-trifluor-ethan	1987-1997	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05
1,1-Dichlorethan	1986-2011	0,1	0,5	1	1,25	29
1,1-Dichlorethen	1986-2011	0,1	0,05	0,25	2,5	76
1,2-Dichlorethan	1986-2011	0,1	0,5	0,5	2,5	5,4
1,2-Dichlorethen	1986-1997	1	2,5	2,5	2,5	27
Bromdichlormethan	1986-2011	0,1	0,05	0,05	0,05	0,1
Cis-1,2-Dichlorethen	1986-2011	0,1	0,5	0,5	1,98	840
Dibromchlormethan	1986-2011	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1
Dibrommethan	1986-2011	0,1	0,05	0,15	2,5	0,16
Dichlormethan	1986-2011	0,1	0,5	1,25	2,5	180
Hexachlorbutadien	2008-2011	0,07	0,005	0,035	0,035	0,07
Tetrachlorethen	1986-2011	0,1	0,05	0,05	0,2	23
Tetrachlormethan	1988-2011	0,1	0,05	0,05	0,05	1
Trans-1,2-Dichlor-ethen	1986-2011	0,1	0,165	0,5	0,5	74
Tribrommethan	1986-1998	0,5	0,15	0,15	0,25	0,3
Trichlorethen	1986-2011	0,1	0,05	0,05	0,05	160
Trichlormethan	1986-2011	0,1	0,05	0,05	0,05	2,4
Vinylchlorid	1999-2011	0,1	0,25	0,275	0,5	230

Tab. 4-17: Statistische Kennzahlen für Befunde ( $\mu\text{g/L}$ ) der LHKW

BSG<sup>1</sup>: Bestimmungsgrenze des letzten Messzeitraums

Neben Einzelparametern werden bei LHKW auch Summenparameter betrachtet. Die  $\Sigma$  LHKW sollte einen Wert von 20  $\mu\text{g/L}$  nicht überschreiten. Insgesamt wird das Kriterium für diesen Summenwert in Bremen und Bremerhaven 51-mal überschritten. Diese Überschreitungen treten besonders an den Messstellen FLB 9 (16 mal), FLB 678 (15 mal) und Messstelle FLB 749 (13 mal) auf. Die 9 weiteren Überschreitungen zeigen weder Trends noch treten sie an einigen Orten besonders oft auf.

Überschreitungen des Schwellenwertes für die Summe von Tri- und Tetrachlorethen treten auf, zeigen aber weder zeitliche noch räumliche Häufung. Oft sind Überschreitungen des Grundwasserkriteriums für Vinylchlorid zu beobachten, die unter anderem in den Messstellen FLB 678 (8 Fälle) und FLB 749 (6 Fälle) auftreten. Die Konzentrationsverläufe zeigen einen Anstieg zu Maximalwerten und danach Konzentrationserniedrigung (Abb. 4-12).

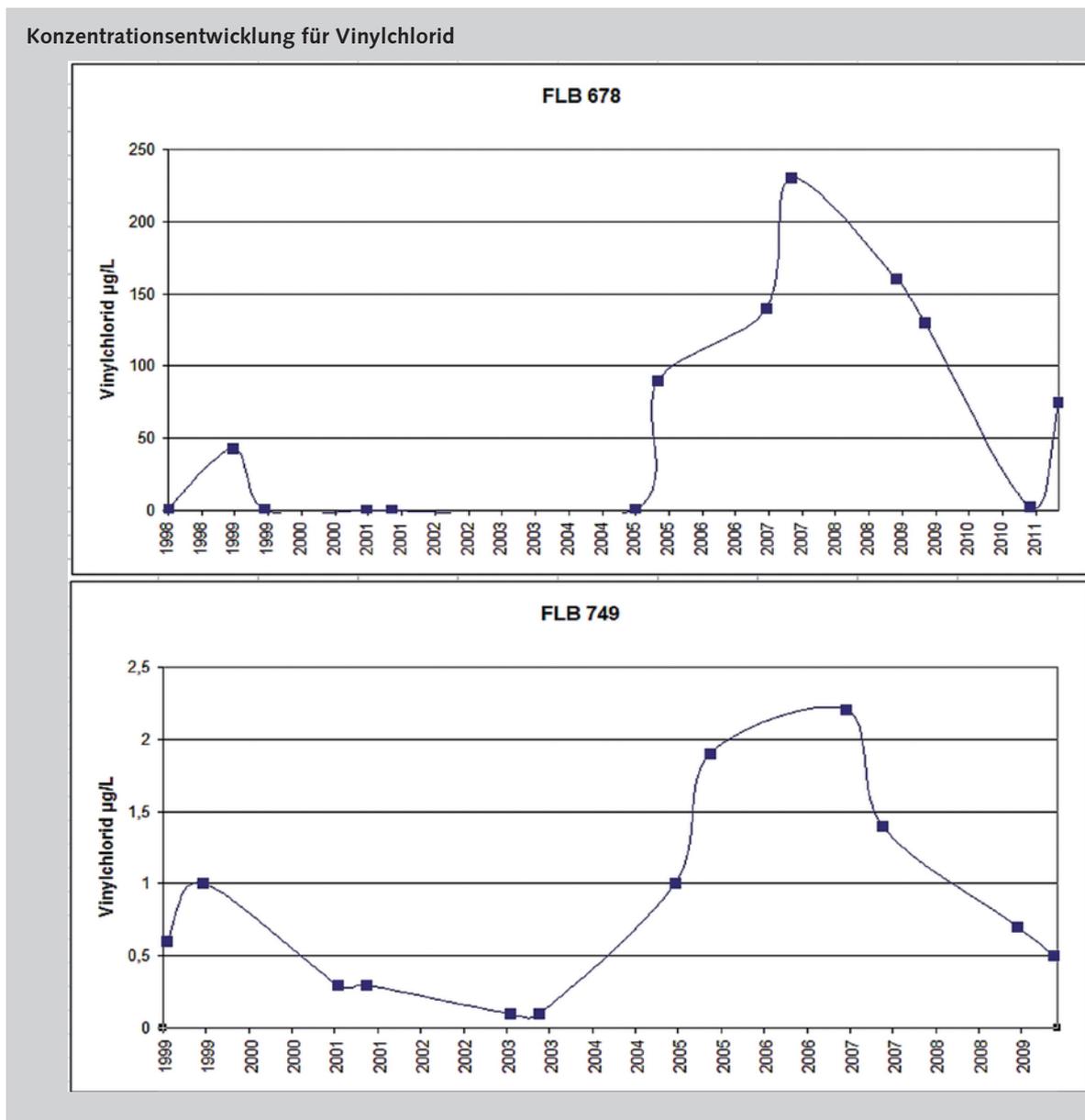


Abb. 4-12: Konzentrationsentwicklung für Vinylchlorid in den Messstellen FLB 678 und 749

### 4.3 Parametergruppe C

Die Parametergruppe C fasst Polychlorierte Biphenyle (PCB) und Pflanzenschutzmittel mit deren Metaboliten (PSM) zusammen. Darüber hinaus werden der Phenolindex und Cyanid (gesamt) erfasst.

Kunstharzen, Desinfektionsmitteln, Photochemikalien oder Pflanzenschutzmitteln.

Der Phenolindex umfasst als analytisches Konventionsverfahren Phenole, die eine Farbstoff-Kupplungsreaktion eingehen können (DIN 38409-H 16). Alle Werte des Phenolindexes liegen in 375 Messungen immer unterhalb der Bestimmungsgrenze.

#### 4.3.1 Phenolindex und Cyanid

Einfach aufgebaute und leichter flüchtige Phenole sind oft anthropogener Herkunft, während die komplizierter strukturierten höhermolekularen meist zu den Huminstoffen zählen, die überwiegend natürlichen Ursprungs sind. Phenole sind wichtige technische Stoffe und dienen z. B. zur Herstellung von Farbstoffen, Gerbstoffen,

Cyanide sind Salze des Cyanwasserstoffs, der Blausäure. Alkalicyanide werden bei der Gold- und Silbererzgewinnung, der Oberflächenbehandlung von Metallen, der Galvanisierung, bei der Herstellung von Farbstoffen und Pigmenten sowie als Schädlingsbekämpfungsmittel verwendet. Cyano-Komplexe finden zusätzlich Verwendung in der Lebensmittelindustrie als technische Hilfsstoffe.

Von insgesamt 376 Messungen wird Cyanid zehnmal oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/L an den Brunnen GMS 210 und Br H ab 2007 festgestellt. Während für den Phenolindex die analytische Bestimmungsgrenze von 10 µg/L in der Höhe des Grundwassergütekriteriums für Phenol von 8 µg/L liegt, wird der für Cyanid (gesamt) gültige Wert von 50 µg/L<sup>12</sup> von allen Messwerten unterschritten.

### 4.3.2 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Insgesamt bilden 209 mögliche Verbindungen (Kongenerne) die Gruppe der polychlorierten Biphenyle (PCB). Diese nicht natürlich vorkommenden Verbindungen gelten als äußerst persistent, da sie chemisch stabil gegenüber Licht, Säuren, Basen und Oxidation sind. Sie sind weder brennbar, noch korrosiv, zeigen gute elektrische Isolierungseigenschaften und sind schwer flüchtig, wenig wasserlöslich und gut fettlöslich.

	Anzahl der Messungen	Anzahl der Werte > BSG	Anzahl der Werte > GW-Kriterium (0,01 µg/L) <sup>2</sup>	Konzentration (µg/L) <sup>1</sup>
PCB Nr. 28	651	0		-
PCB Nr. 52	651	2		-
PCB Nr. 101	651	1	1	0,025
PCB Nr. 138	651	3	1	0,024
PCB Nr. 153	651	2	1	0,030
PCB Nr. 180	651	2	1	0,018

Tab. 4-18: PCB-Funde im Grundwasser

<sup>1</sup>: Konzentration bei Überschreitung des Grundwassergütekriteriums

<sup>2</sup>: Als Überschreitung der Grundwassergütekriterien werden nur Werte betrachtet, die über der jeweiligen aktuellen Bestimmungsgrenze lagen.

Die PCB werden in technischen Anwendungen vielfältig genutzt. Sie kommen in Schmiermitteln, Isolier- und Kühlflüssigkeiten in Elektrobauteilen, in Hydraulikölen, Papierbeschichtungen, Weichmachern und Flammenschutzmitteln für Lacke und Harze, in Kunststoffen, Kitzen, Spachtel-, Dichtungs- und Vergussmassen sowie in Pflanzenschutzmitteln zum Einsatz. In der Bundesrepublik Deutschland wurden seit 1930 rund 24.000 t PCB in offenen Systemen und 59.000 t in geschlossenen Systemen, hauptsächlich in der Elektroindustrie und als Hydraulikflüssigkeiten, eingesetzt.

Die Alterungsbeständigkeit dieser Stoffe führte auch zur Anreicherung in der Umwelt. Dies und das toxische Potenzial der Verbindungen führte 1983 zur Einstellung der Herstellung von PCB in Deutschland und seit 1989 dürfen keine PCB-haltigen Stoffe mehr in den Verkehr gebracht oder verwendet werden.

Bei der Untersuchung von Umwelt-, Lebensmittel- und Humanproben auf PCB werden konventionsgemäß sechs ausgewählte PCB-Kongenerne (Nr. 28, 52, 101, 138, 153 und 180) stellvertretend für alle 209 Kon-

<sup>12</sup> Bei Abwesenheit von leicht freisetzbarem Cyanid werden 50 µg/L als geringfügigkeitsschwellenwert und Grundwassergütekriterium für Cyanid herangezogen.

#### 4 Grundwasserbeschaffenheit im Land Bremen

genere quantitativ bestimmt. Seit Beginn der PCB-Messungen verbessern sich die Bestimmungsgrenzen (Anhang A-7.3).

Von den 3906 Einzelmessungen weisen lediglich zehn einen Wert oberhalb der Bestimmungsgrenze auf, wovon wiederum vier bereits das Grundwassergütekriterium von 10 ng/L für einzelne PCB überschreiten. Alle Überschreitungen treten an einer Messstelle (Br H) im Jahr 1991 auf. Da sie alle zur selben Zeit auftraten, war auch der Summenwert für PCB überschritten.

Gründe für die seltenen Nachweise sind, dass seit 1989 keine PCB-haltigen Stoffe mehr in den Verkehr gebracht und verwendet werden und dass PCB aufgrund ihrer geringen Wasserlöslichkeit im Wasser vorwiegend an Partikel gebunden vorliegen.

### 4.3.3 Pflanzenschutzmittel/ Metaboliten

Derzeit (Stand April 2011) sind in der Bundesrepublik Deutschland 252 Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe in 1.228 Handelsprodukten auf dem Markt. Vertrieb und Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) unterliegen in Deutschland seit 1968 einer Zulassungspflicht. Die Zulassung der eingesetzten Handelsprodukte erfolgt in Deutschland durch das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL). Das Bundesamt wendet die Richtlinie 91/414/EWG als Grundlage für eine einheitliche Prüfung und Bewertung an, die Deutschland mit einer Novelle des Pflanzenschutzgesetzes umsetzte. 2011 wurde diese Richtlinie durch eine neue Verordnung 1107/2009/EG abgelöst.

In Bremen und Bremerhaven wurden seit Beginn der Qualitätsüberwachung des Grundwassers 130 verschiedene Substanzen gemessen, davon ca. 40 regelmäßig, üblicherweise alle vier Jahre. Die höhere Zahl der gemessenen Stoffe gegenüber dem Standard Messprogramm ist auf Sonderfragestellungen zurückzuführen. So wurde seit 2008 ein Übersichtsmessprogramm für mehr als 80 zusätzliche Substanzen durchgeführt.

Derartige Sondermessprogramme werden u.a. zur Anpassung der Standardmessprogramme genutzt, wobei landestypische Bedingungen berücksichtigt werden. Denn in Flächenländern mit großen Anteilen an landwirtschaftlich genutzten Flächen sind zum Teil andere Parameter von Bedeutung als in urban geprägten Bundesländern mit hohen Flächenanteilen an Verkehrs-, Industrie- und Freiflächen sowie Haus- und Kleingärten.

### 4.3.3.1 Methodik der Auswertung

Bei der Auswertung interessieren die flächendeckende Ausdehnung von Befunden, die relevanten Stoffe und zeitliche Entwicklungen. Jeder Befund einer Messstelle ist für die vorliegende Auswertung einer der vier nachfolgend genannten Konzentrationsklassen zugeordnet:

Klasse 1: nicht nachgewiesen

Klasse 2: nachgewiesen bis 0,1 µg/L

Klasse 3: > 0,1 µg/L bis 1,0 µg/L

Klasse 4: > 1,0 µg/L

Eine Messstelle gilt in einem Zeitraum als belastet, sobald ein Wirkstoff in seiner Konzentration oberhalb des Grenzwertes von 0,1 µg/L liegt. Werte über 0,1 µg/L werden an das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) weitergeleitet, das auf dieser Grundlage als Zulassungsbehörde den Zulassungsinhaber mit der Fundaufklärung beauftragt und ggf. die Zulassung des Wirkstoffes anpassen oder sogar aufheben kann.

### 4.3.3.2 Häufigkeit von PSM-Befunden

In Deutschland sind nach den Erhebungen der letzten Jahre über zwei Drittel aller beprobten Messstellen ohne Befund für PSM (LAWA 2011) (Tab. 4-19 und -20). Die Pflanzenschutzmittelfunde im Grundwasser Bremens zeigen ein vergleichbares Bild, wobei zu berücksichtigen ist, dass im betrachteten Zeitraum die Anzahl von weniger als 50 Messstellen in Bremen einzelnen Nachweisen ein statistisch relativ hohes Gewicht gibt. Zur Ableitung von allgemeinen Trends wird daher auf die deutschlandweite Auswertung (LAWA 2011) und Abschnitt 5.3.3.4 verwiesen.

	Anzahl der Messstellen (Befunde mit höchstem Einzelsubstanz-Messwert der letzten Probe)				
	Insgesamt untersucht	< BSG	< 0,1 µg/L	> 0,1 – 1 µg/L	> 1,0 µg/L
Bremen (2001-2005)	47	34	10	3	0
Bremen (%)	100 %	72,3%	21,3%	6,4%	0%
Bremen (2006-08)	49	32	9	6	2
Bremen (%)	100 %	65,3%	18,4%	12,2%	4,1 %
Deutschland (2001-05)	100 %	78,6 %	16,1 %	4,5 %	0,8 %
Deutschland (2006-08)	100 %	82,6 %	12,8 %	3,8 %	0,8 %

Tab. 4-19: Gegenüberstellung der bundesweiten Befunde und der im Land Bremen (Auszug aus LAWA 2011)<sup>13</sup>

Für Deutschland kann man feststellen, dass die Pestizidbelastung zurückgeht, wobei dies im Wesentlichen auf den Rückgang länger nicht mehr zugelassener Stoffe zurückzuführen ist.

Wird jeder einzelne Befund seit Beginn der Messungen betrachtet, so zeigt sich, dass ca. 2% aller 34.000 Messungen PSM-Befunde über der Bestimmungsgrenze aufweisen, wovon insgesamt 124 Werte (< 0,4%) über dem Grenzwert für PSM liegen (Tab. 4-20).

Für einige PSM werden stoffspezifisch niedrigere Grundwassergütekriterien (LAWA 2004) zur Bewertung hinzugezogen. Die Zahl dieser Befunde über

einen stoffspezifischen Wert und gleichzeitig unterhalb von 0,1 µg/L, dem Grenzwert für Pflanzenschutzmittelkonzentrationen, ist mit 12 Befunden innerhalb von 25 Jahren geringfügig und betrifft mit Diuron und Hexachlorbenzol nur zwei Wirkstoffe (Anhang A-5).

Auffällig ist der Unterschied zwischen einem vergleichsweise geringen Anteil von Nachweisen in allen Messungen von 1986-2011 einerseits (ca. 2 %, Tab. 4 - 20) und dem höheren Anteil betroffener Messstellen mit Nachweisen (2006-2008) andererseits (20-30%, Tab. 4-19). Das ist darauf zurückzuführen, dass über 30 Parameter an jeder Messstelle analysiert werden.

	Insgesamt analysiert	<BSG	> BSG < 0,1 µg/L	>0,1-1 µg/L	>1 µg/L
1986-2000	14217	13824	355	28	10
		97,24 %	2,50 %	0,20 %	0,07 %
2001-2005	3416	3387	22	7	
		99,15 %	0,64 %	0,20 %	0,00 %
2006-2011	16436	16183	174	51	28
		98,46 %	1,06 %	0,31 %	0,17 %
1986-2011	34069	33394	551	87	37
		98,02 %	1,62 %	0,26 %	0,11 %

Tab. 4-20: PSM-Befunde in Konzentrationsklassen

<sup>13</sup> Es wird der höchste Wert der letzten Beprobung in einem Auswertzeitraum berücksichtigt.

## 4 Grundwasserbeschaffenheit im Land Bremen

Sobald eine Substanz nachgewiesen wird, gilt die Messstelle als betroffen und zwar unabhängig davon, ob nur eine oder mehrere Substanzen nachgewiesen wurden.

Insgesamt 27-mal überschreitet die Summe der nachgewiesenen PSM ( $\Sigma$  PSM) seit 1986 den Grenzwert von 0,5  $\mu\text{g/L}$ . In jedem dieser Fälle ist eine Einzelsubstanz so hoch konzentriert, dass zusätzlich der Einzelwert überschritten ist. Für die weitere Auswertung werden daher nur die Überschreitungen der Einzelwerte berücksichtigt.

Von insgesamt 148 beprobten Messstellen bleiben 38 über die gesamte Beobachtungszeit ohne Befund.

## 4.3.3.3 Bedeutung einzelner Pflanzenschutzmittelwirkstoffe

Die Auflistung der Wirkstoffe, die Befunde oberhalb des Grenzwertes von 0,1  $\mu\text{g/L}$  aufweisen, zeigt eine Vielzahl von Wirkstoffen, die heute keine Zulassung mehr besitzen. Die Aufspaltung des Zeitraums in drei Abschnitte erlaubt eine Betrachtung von zeitlichen Entwicklungen (Tab. 4-21). Diuron und Bromacil werden nach dieser Gegenüberstellung im Vergleich mit Mecoprop häufiger nachgewiesen. Wie diese beiden ersten Stoffe auf der Rangliste sind auch auf den Folgerängen mit Ethidimuron, Simazin und Atrazin Wirkstoffe genannt, deren Anwendung nicht mehr zugelassen ist. Der Vergleich mit der aktuellen deutschlandweiten Erhebung (LAWA 2011) zeigt Befunde derselben Stoffe.

2006-2011	Rang in im Land Bremen		Rang BRD 2006-2008	Wirkstoff/ Metabolit	Anzahl Messungen insgesamt	Anzahl Messungen			Zulassung
	2001-2005	1986-2000				< 0,1 $\mu\text{g/L}$	0,1 - 1,0 $\mu\text{g/L}$	> 1	
1	2	7	7	Diuron <sup>2</sup>	287	48	12	23	bis 2008
2	3	6	4	Bromacil	283	17	11	0	nein
3	1	1	9	Mecoprop	284	57	6	1	ja
4			5	Ethidimuron		1	0	3	nein
5		nn	20	Metazachlor	283	1	0	1	ja
6			6	Simazin	283	20	0	0	nein
7	6	5	2	Atrazin	283	12	0	0	nein
8			3	Bentazon	283	10	0	0	ja
9		nn		Terbutylazin	283	10	0	0	ja
10		12		Terbutryn	196	9	0	0	nein
11		nn		Metolachlor	283	8	0	0	ja
12		15		Desethylterbutylazin	283	7	0	0	ja
13	7	14		Hexachlorbenzol <sup>1</sup>	197	4	0	0	nein
14	4	3		2,4-DP (Dichlorprop)	283	3	0	0	ja
15		4	1	Desethylatrazin	283	2	0	0	nein
16			12	Isoproturon	283	2	0	0	ja
		13		$\gamma$ -HCH	598	202	0	0	

Tab. 4-21: Wirkstoffrangliste nach Befunden > 0,1  $\mu\text{g/L}$  von 2006-2011 und Vergleich mit den ermittelten Rängen anderer Zeiträume<sup>14</sup>

<sup>1</sup>: Für Hexachlorbenzol gilt eine niedrige Konzentration als Geringfügigkeitsschwellenwert. Während für PSM-Wirkstoffe 0,1  $\mu\text{g/L}$  als Umweltqualitätsnorm gelten, liegt es für Hexachlorbenzol bei 0,01  $\mu\text{g/L}$ . Dieses Kriterium überschreiten die Konzentrationen ab 2006 zweimal.

<sup>2</sup>: Für Diuron gilt eine niedrige Konzentration als Geringfügigkeitsschwellenwert. Während für PSM-Wirkstoffe 0,1  $\mu\text{g/L}$  als Umweltqualitätsnorm gelten, liegt dieser Wert für Diuron bei 0,05  $\mu\text{g/L}$ .

<sup>14</sup>  $\gamma$ -HCH wurde nach dem Wechsel des Analyse-Verfahrens 1993 nicht mehr nachgewiesen.

Andersherum lässt sich feststellen, dass ein großer Teil der untersuchten Wirkstoffe nicht nachgewiesen wird. Das gilt für 16 von 42 Wirkstoffen des aktuellen Routinemessprogramms und für 77 von 87 Wirkstoffen und Metaboliten des Sondermessprogramms ab 2008 (Anhang A 12). Dieses Sonderprogramm hat eine Prüfung und Aktualisierung des Routineumfangs zum Ziel.

#### 4.3.3.4 Flächendeckende Betrachtung

Ein Vergleich der Rangfolgen weist auf Problemstoffe hin, kann aber nicht die flächenhafte Relevanz eines Stoffes erfassen, so dass eine Rangliste nach Anzahl der betroffenen Messstellen von Befunden über 0,1 µg/L (Tab. 4-22) hilfreich ist.

In der Wirkstoffrangfolge der Befunde über 0,1 µg/L (Tab. 4-22) wird die Bedeutung der Substanzen Mecoprop und Diuron offensichtlich. 8% der untersuchten Messstellen zeigen für Diuron und 12% für Mecoprop Überschreitungen des Grenzwertes. Alle anderen Wirkstoffe werden in weniger als vier Messstellen in Konzentrationen oberhalb des Grenzwertes nachgewiesen.

#### 4.3.3.5 Zeitliche Entwicklungen

Die Fundaufklärung bei Befunden oberhalb der Umweltqualitätsnorm kann zur stoffspezifischen Trendanalyse an einer Messstelle genutzt werden. Für großräumigere Trends ist die deutschlandweite Auswertung der geeignete Rahmen, da der Datensatz der Freien Hansestadt Bremen zum Einen durch urbane Einflüsse geprägt ist und außerdem jeweils verschiedene Gruppen von unter 50 Messstellen, die alle vier Jahre beprobt werden, eine kleine Datenmenge darstellt.

Bundesweit lässt sich feststellen, dass die Anzahl der Messstellen, die Konzentrationen für PSM über 0,1 µg/L aufweisen, zurückgeht. Dies wird auf Maßnahmen zur Verbesserung des Pestizideinsatzes zurückgeführt. Dazu gehören der Wandel der Produktion (Bioanbau), Beratungsmaßnahmen, Anwendungsbeschränkungen für Handelsprodukte mit bestimmten Wirkstoffen in sensiblen Gebieten und Anwendungsverbote.

Trotz ihrer Anwendungsverbote, die Jahre oder Jahrzehnte zurückliegen, gehören Atrazin, Bromazil, Diuron und Simazin zu den Pflanzenschutzmitteln, die im Grundwasser oft nachzuweisen sind. Langsame Fließgeschwindigkeiten und verzögerte Abbaubarkeit der Wirkstoffe im Grundwasser lassen erwarten, dass das Thema Pflanzenschutzmittel den Grundwasserschutz noch lange beschäftigen wird.

		Messstellen mit Befund > 0,1 µg/L	Untersuchte Messstellen	%-Anteil der untersuchten Messstellen	Rang nach Anteil der Messstellen
1	Mecoprop	17	148	11,5	1
2	Diuron	11	139	7,9	2
3	2,4-DP (Dichlorprop)	4	148	2,7	4
4	MCPA	4	148	2,7	4
5	Atrazin	3	148	2,0	6
6	Bromacil	2	119	1,7	
7	Desethylatrazin	2	119	1,7	
8	1,2-Dichlorpropan	1	52	1,9	
9	2,4-D	1	148	0,7	
10	2.4.5-Trichlorphenoxyessigsäure	1	143	0,7	
11	Ethidimuron	1	33	3,0	3
12	Metazachlor	1	119	0,8	

Tab. 4-22: Wirkstoffrangliste nach Anzahl der Messstellen mit Befund > 0,1 µg/L

### 4.3.3.6 Pflanzenschutzrechtlich nicht relevante Metaboliten (nrM)

Man unterscheidet Wirkstoffe und ihre Metaboliten. Als besondere Untergruppe der Metaboliten gelten die pflanzenschutzrechtlich nicht relevanten Metaboliten (nrM). Unter „nicht relevanten Metaboliten“ von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen (nrM) versteht man im Sinne des Pflanzenschutzrechts Abbauprodukte, die keine pestizide Wirkung mehr haben und relativ unbedenklich hinsichtlich ihrer human- und ökotoxikologischen Eigenschaften sind. Dementsprechend sind im Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel für diese Metaboliten auch höher auftretende Konzentrationen stoffspezifisch bis zu 10 µg/L im Grundwasser zulässig (UBA 2009).

Das Thema nrM ist im Jahr 2006 durch den Nachweis zweier, bis dahin unbekannter Substanzen in deutlich erhöhten Konzentrationen in den Fokus des Interesses gerückt. Sie wurden als Metaboliten des Rübenerbizids Chloridazon identifiziert (Weber 2007). Andere Untersuchungen zeigten (DVGW 2007), dass aus dem Fungizid Tolyfluanid der seinerzeit unbekannte Metabolit N,N-Dimethylsulfamid (DMS) gebildet wird. Die Problematik bei DMS besteht darin, dass bei der Trinkwasseraufbereitung durch Ozonung DMS-haltiger Wässer das krebserregende N Nitrosodimethylamin entstehen kann.

In einigen Bundesländern wurden daher Untersuchungen auf nrM im Grund- und Trinkwasser durchgeführt und bundesweite Datenzusammenstellung und Auswertungen vorgenommen (Hamer und Freudenberger 2011). Die Ergebnisse führten zur Einschränkung der Zulassungen von Chloridazon und Tolyfluanidhaltigen Wirkstoffen oder im Falle des Tolyfluanids auch zur Rücknahme der Zulassung.

Bremen hat seit 2008 mit 2,6-Dichlorbenzamid, AMPA, Chloridazon-desphenyl (Metabolit B), Metolachlor OA (CGA 51202), Metolachlor ESA (CGA 354743), Methyl-desphenyl-Chloridazon (Metabolit B1), Metazachlor OA (BH 479-4), Metazachlor ESA (BH 479-8) und N,N-Dimethylsulfamid bis zu neun Vertreter der nrM erfasst.

Es liegen 367 Messungen an 33 Messstellen vor, in denen 25 Nachweise oberhalb der Bestimmungsgrenze und immer unterhalb des Grundwassergütekriteriums liegen. Die meisten Nachweise liegen für N,N-Dimethylsulfamid an neun betroffenen Messstellen vor.



## 4.4 Parameter zusätzlich zum Routinemessprogramm

Die Messprogramme zur Grundwasserqualität werden bei bestimmten Anlässen ergänzt. Im Folgenden wird über Messungen von Arzneimitteln, Industriechemikalien, perfluorierten Tensiden (PFT), des Kraftstoffzusatzes MTBE (Methyl-Tertiärbuthylether) und die Erfassung der Radioaktivität berichtet.

### 4.4.1 Arzneimittel

Inzwischen wird das Auftreten von Arzneimittelwirkstoffen und deren Metaboliten, aber auch das Vorkommen von Diagnostika, endokrinen Stoffen, pharmazeutisch eingesetzten Desinfektionsmitteln und anderen Xenobiotika im Grundwasser vermehrt untersucht und diskutiert. Arzneimittel werden mengenmäßig überwiegend über kommunale Abwässer in die Umwelt eingetragen. Leckagen in Kanalsystemen, sowie Abwasser und Klärschlamm der Abwasseraufbereitungsanlagen sind die Emissionswege. Veterinärpharmaka werden über die Flächen, auf denen die behandelten Tiere leben, direkt oder über den Umweg des Wirtschaftsdüngers jeweils diffus verteilt (Abb. 4-13).

Auch wenn die gemessenen Konzentrationen für Humanarzneimittel unterhalb therapeutischer Wirkungsschwellen und unterhalb der in Nahrungsmitteln zulässigen Höchstmengen liegen, so sind die permanenten Expositionen gegenüber Einzelstoffen oder Kombinationen von Substanzen momentan Forschungsgegenstand.

Denn es wird mit steigendem Verbrauch der Stoffe und auch steigenden Emissionen gerechnet und die Entwicklung von Bewertungskriterien gilt als noch nicht abgeschlossen. Gründe für die erwarteten erhöhten Emissionen sind Verbrauchsspitzen bei Epidemien und eine allgemeine Steigerung des Verbrauchs durch die Altersstruktur der Gesellschaft (UBA 2011). Das Auftreten einiger Arzneimittel wie auch deren Abbauprodukte wird in der Fachliteratur bereits als ubiquitär beschrieben. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Oberflächengewässer und nur eingeschränkt für Grundwasser.

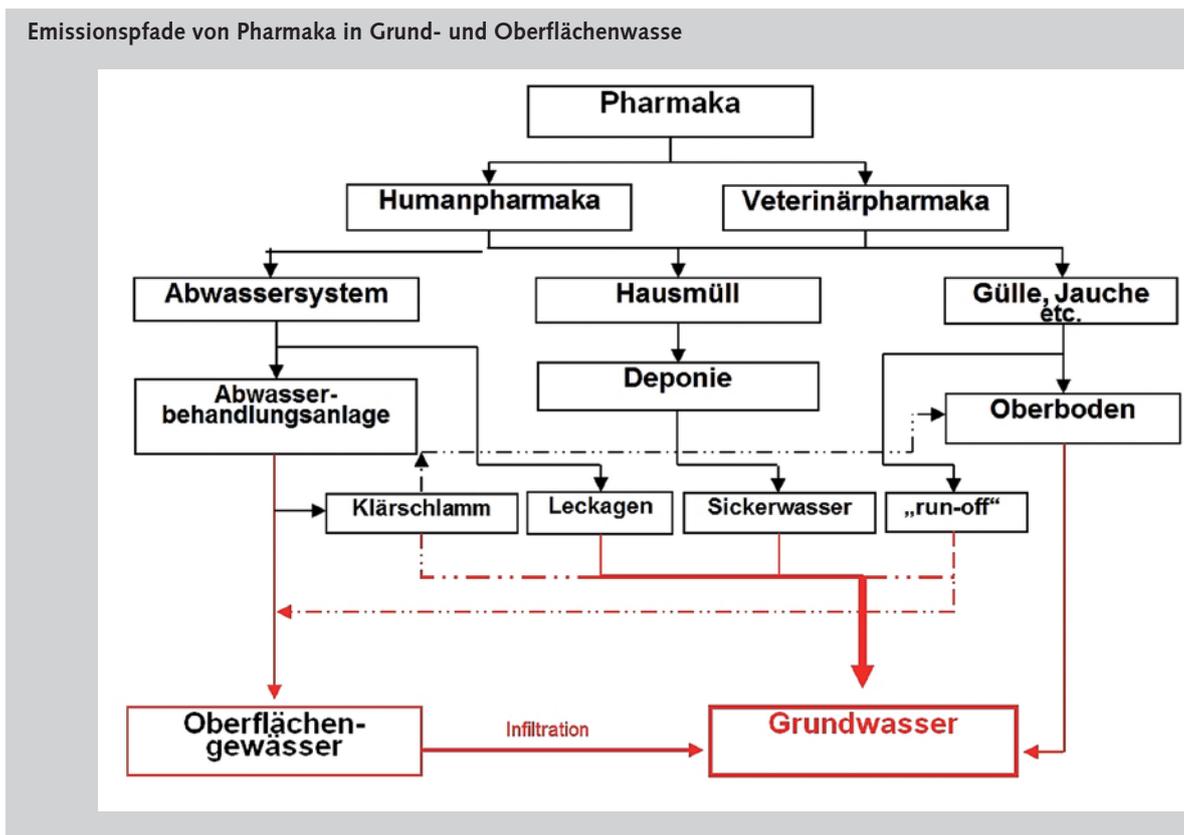


Abb. 4-13: Emissionspfade von Pharmaka in Grund- und Oberflächenwasser [teilweise geändert aus Ternes 2001]

In einem Sondermessprogramm (2000-2002) wurde Grundwasser an 42 Messstellen des Landes Bremen auf Vertreter dieser Stoffe untersucht. Die Auswahl der Messstellen repräsentiert die Grundwasserqualität im Land. Zum Messprogramm gehörten Analgetika, Antiphlogistika, Antirheumatika, Lipidsenker (Antilipidämika), Antibiotika und Östrogene (vollständiges Untersuchungsprogramm Anhang A-6).

Bei fünf dieser Substanzen handelt es sich um Schmerzmittel und zusätzlich finden sich Östrogene im Grundwasser (Tab. 4-23). Aus 1269 Messungen an 42 Messstellen wurden von 25 untersuchten Arzneistoffen zehn Substanzen im Grundwasser oberhalb ihrer analytischen Bestimmungsgrenze gefunden. Diese Befunde traten an neun Messstellen auf (Abb. 4-14).

#### Auftreten von Arzneimitteln im Grundwasser

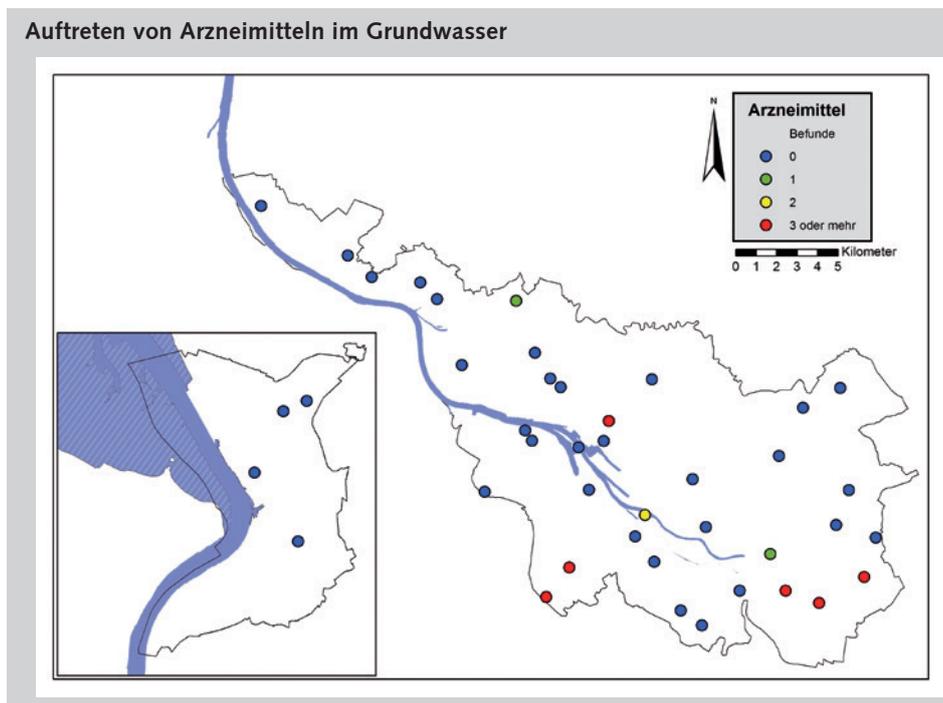


Abb. 4-14:  
Auftreten von  
Arzneimitteln im  
Grundwasser

Arzneimittel	Wirkung	Anzahl der Messungen	Anzahl > BSG	Anzahl der betroffenen Messstellen
Carbamazepin	Antiepileptikum/ Analgetikum	51	5	4
Clofibrinsäure	Lipidsenker/Metabolit	50	1	1
Diclofenac	diverse	50	1	1
Ethinlyestradiol	Östrogen	51	1	1
Fenoprofen	Antirheumaticum	51	4	3
Ibuprofen	Antirheumatikum	51	3	3
Indometacin	Antiphlogistikum	51	3	3
Mefenaminsäure	u.a. Analgetikum	51	3	3
Mestronal	Östrogen	51	9	6
Norethindronacetat	Östrogen	50	3	3

Tab. 4-23: Arzneimittelfunde im Grundwasser (2000-2002)

#### 4.4.2 Industriechemikalien

Zusammen mit dem Sondermessprogramm für Arzneimittel wurde das Auftreten von Industriechemikalien (Untersuchungsprogramm Anhang A 6-2) untersucht. An denselben 42 Messstellen wurden 1007 Messungen auf 13 Industriechemikalien durchgeführt und 382 Mal nachgewiesen.

Sechs der insgesamt 13 untersuchten Industriechemikalien werden in keiner Probe gefunden. Hierzu gehören die drei Nitro-Moschus-Verbindungen (Moschus-Ambrette, -Xylol und -Keton). Aus der Untergruppe der Duftstoffe werden allerdings die beiden Vertreter der polycyclischen Moschus-Verbindungen HHCB<sup>15</sup> und AHTN<sup>16</sup> in allen bzw. in 95,2 % der Proben nachgewiesen.

Auch die Alkylphenole Nonylphenoxyessigsäure und Octylphenol sowie Bisphenol A sind im Grundwasser sehr verbreitet. Nonylphenol wird als allgemeine Bezeichnung für die verschiedenen Isomere von p-iso-Nonylphenol bzw. 4-Nonylphenol verwandt. Nonylphenol ist Bestandteil oder Abbauprodukt von Industriereinigern, Lösungsvermittlern, Benetzungsmitteln oder Zusatz bei Pflanzenschutzmitteln. Der Gesetzgeber hat der ubiquitären Verbreitung von Nonylphenol und Nonylphenol-Ethoxylaten in Gewässern Rechnung getragen, indem mit der Richtlinie 2003/53/EG ein weitgehendes Vermarktungsverbot für Nonylphenol und Nonylphenol-Ethoxylaten in der EU erlassen wurde.

<sup>15</sup> HHCB = 1,3,4,6,7,8-Hexahydro-4,6,6,7,8-hexamethyl-cyclopenta(g)-2-benzopyran (ggf. Handels-name: Galaxolide, Abbalide, Pearlide)

<sup>16</sup> AHTN = 7-Acetyl-1,1,3,4,4,6-hexamethyl-tetrahydronaphthalin (ggf. Handelsname: Tonalide, Fixoli-de)

Industriechemikalien <sup>n</sup>	Anzahl der Messungen	Anzahl > BSG	Anzahl der betroffenen Messstellen
4-Hydroxybenzoesäure	59	5	5
AHTN	83	81	42
Bisphenol A	59	33	18
HHCB	83	83	42
Nonylphenoxyessigsäure	83	16	16
Octylphenol	83	81	42

Tab. 4-24: Nachgewiesene Industriechemikalien im Grundwasser (2000-2002)

<sup>n</sup>: 4-iso-Nonylphenol wurde verbreitet nachgewiesen. Eine Quantifizierung erfordert eine angepasste Analytik

Auch der chemische Weichmacher Bisphenol A ist in Grundwasser und Oberflächengewässern verbreitet nachzuweisen. Die für Bisphenol A ermittelten Konzentrationen im Bremer Grundwasser liegen alle < 2 µg/L und damit unter der Konzentration, bei welcher öko- oder toxikologische Effekte nachgewiesen wurden (UBA 2010). Die Verbreitung von Industriechemikalien ist im Anhang A 10 für weitere Substanzen dargestellt.

#### 4.4.3 Perfluorierte Tenside (PFT)

Perfluorierte Tenside stellen ebenfalls Industriechemikalien dar. Bei einer Untersuchung des Rheins wurden 2006 an der Mündung der Ruhr erhöhte Konzentrationen von perfluorierten Tensiden (PFOA und PFOS) gemessen. Die Belastung der Gewässer dort wurde auf den Einsatz eines PFT-belasteten Düngers auf Ackerflächen im näheren Einzugsgebiet zurückgeführt. Da entsprechende Produkte auch in andere Bundesländer geliefert worden waren, wurden bundesweit Untersuchungen veranlasst.

Bei den perfluorierten Tensiden (PFT) handelt es sich um organische Verbindungen, bei denen Wasserstoffatome des Kohlenwasserstoffgerüsts vollständig durch Fluoratome ersetzt sind. Die PFT werden seit ca. 50 Jahren hergestellt und sind kaum durch natürliche Prozesse abbaubar. Perfluorierte Polymere, zu deren Produktion oft PFT benötigt werden, weisen eine gute Chemikalien- und Hitzebeständigkeit und sehr

gute Gleiteigenschaften auf. Sie werden daher u.a. in Dichtungen und Lagern sowie Kabelummantelungen eingesetzt. Mit diesen Eigenschaften finden sich Anwendungen in der Luftfahrt- und Militärtechnik, Medizintechnik (Implantate), Optik (Linsen) und zur Beschichtung von Laborgeräten. Die PFT selbst werden in Galvaniken, bei der Imprägnierung von Kunstfasern für Textilien, Teppiche und Bauprodukte sowie in Feuerlöschschäumen angewendet.

PFT haben mittlerweile erhebliche Anwendungseinschränkungen erfahren (Richtlinie 2006/122/EG). Bei der Beurteilung von PFT-Konzentrationen im Grundwasser dient der für Trinkwasser empfohlene Leitwert von 0,3 µg/L (Σ PFOA+PFOS) als Orientierungswert (UBA 2009b).

Die Grundwasseruntersuchungen in Bremen konzentrieren sich auf Grundwasser, das zur Trinkwassernutzung gefördert wurde, das sogenannte Rohwasser. PFT wird in keiner der Rohwasserproben Bremens nachgewiesen.

#### 4.4.4 MTBE- Methyltertiärbutylether

MTBE wird in Deutschland überwiegend als Zusatz in Ottokraftstoffen zur Erhöhung der Klopfestigkeit verwendet. Es ersetzt im Kraftstoff bleiorganische Verbindungen, sowie Benzol und andere aromatische Kohlenwasserstoffe. MTBE adsorbiert nur schwach an die Bodenmatrix und wird daher schnell ins Grundwasser verlagert. Es zeigt organoleptische Effekte, die ab etwa 15 µg/L auftreten und so zu einem Geringfügigkeitsschwellenwert von 15 µg/L geführt haben (LAWA 2004).

Der Kraftstoffzusatz MTBE wurde 2003 an 44 Messstellen analysiert. Die Werte lagen immer unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1 µg/L und damit auch unterhalb der Geringfügigkeitsschwelle von 15 µg/L (LAWA 2004).

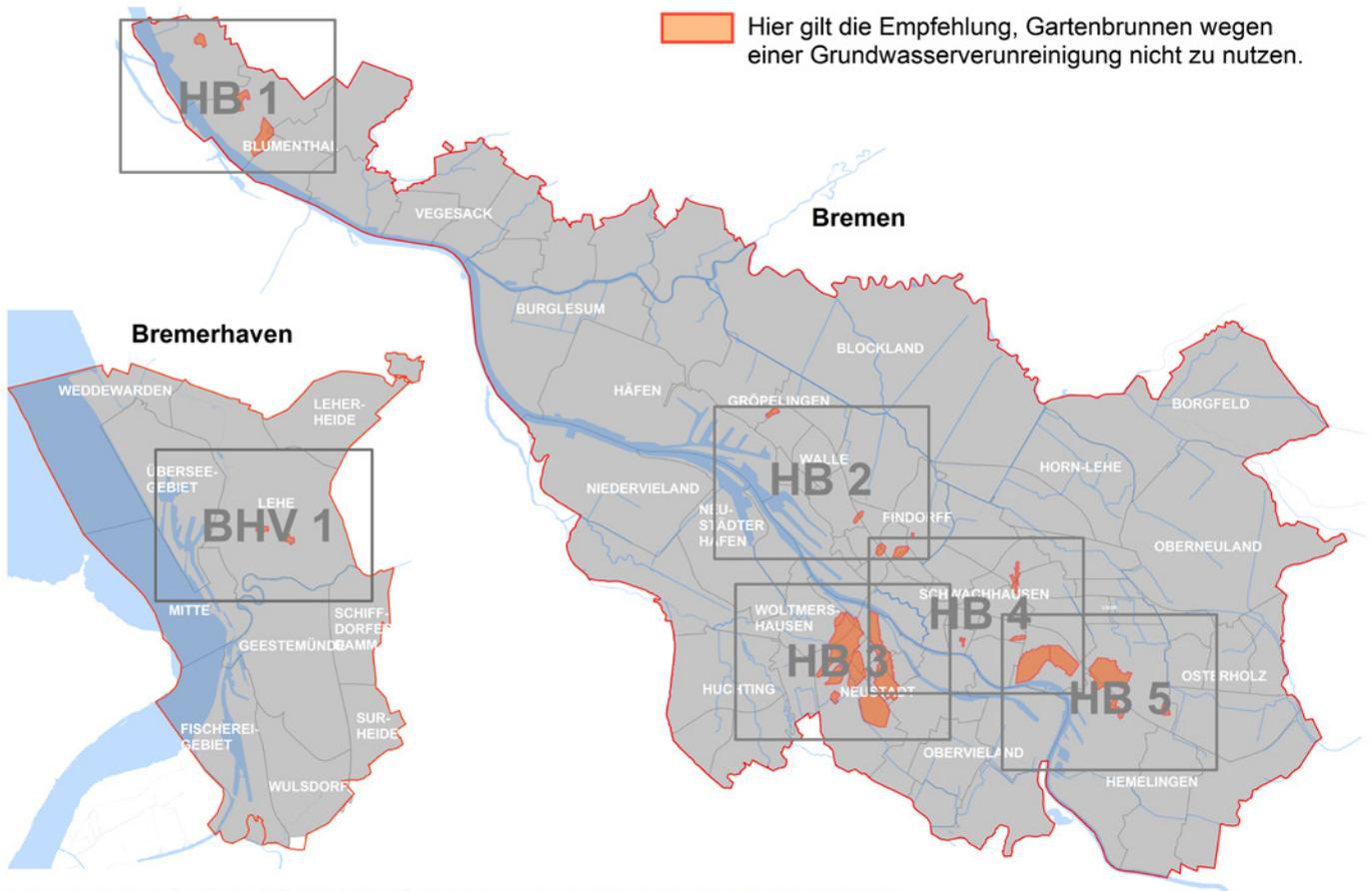
#### 4.4.5 Umweltradioaktivität

Ein Bestandteil der Umweltüberwachungspflichten der Länder ist die Erfassung der Radioaktivität. Für das Land Bremen nimmt diese Routineaufgabe, die das Strahlenschutzvorsorgegesetz vorgibt, die Landesmessstelle für Radioaktivität an der Universität Bremen wahr.

Die Aufgabe umfasst heute neben ständiger Kontrollen der Lebensmittel, Futtermittel und Abwässer auch das Trink- und Grundwasser. Die Aktivität der Radionuklide im Grundwasser wird in Becquerel (Bq/L) gemessen. Die Messdaten werden an das Bundesumweltministerium (BMU) weitergegeben und durch das Bundesamt für Strahlenschutz in Jahresberichten zur Radioaktivität zusammengefasst.

In den Jahren von 2007 bis 2012 wurden bei den Proben jeweils nach bis zu 14 Nuklide ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{234,235,238}\text{U}$ ,  $^{238,239/40}\text{Pu}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^3\text{H}$ ) gesucht. Alle Messwerte zeigen eine sehr niedrige Belastung des Grundwassers und liegen mit Ausnahme der Nuklide von Strontium, Kalium und Uran alle unterhalb der apparativen Bestimmungsgrenze. Die Jahresberichte aller Untersuchungen für die Jahre 2007 bis 2010 sind öffentlich auf der Internetseite der Landesmessstelle für Radioaktivität ([www.radioaktivitaet.uni-bremen.de](http://www.radioaktivitaet.uni-bremen.de)) verfügbar.

# 5 Altlastenbedingte Grundwasserverunreinigungen



## 5 Altlastenbedingte Grundwasserverunreinigungen

Seit Anfang der 1990er Jahre erhebt die Umweltbehörde im Land Bremen Daten über Altlasten und deren Auswirkungen auf die Umwelt. Eine Vielzahl verschiedener Boden- und Grundwasserverunreinigungen ist in diesem Zeitraum entdeckt worden. Der Schadenseintritt liegt in der Regel Jahrzehnte zurück. Ursachen sind - soweit rekonstruierbar - häufig unsachgemäßer Umgang mit Kraftstoffen, Lösungsmitteln und Nebenprodukten. Typische Verursacher von Lösemittelschäden sind bzw. waren zum Beispiel chemische Reinigungen.

In den letzten Jahren wurde Anwohnern in verschiedenen Stadtgebieten von der Gesundheits- und Umweltbehörde empfohlen, das Grundwasser aus Gartenbrunnen nicht mehr zu nutzen, da hier erhöhte Schadstoffkonzentrationen nachgewiesen wurden. Diese Informationen sind für Eigenheim- und Gartenbesitzer oder im Zusammenhang mit der Grundwassernutzung auf Kinderspielflächen bedeutsam.

Je nach Nutzungssituation (z. B. Gartenbrunnen) in dem jeweils betroffenen Gebiet rufen bekannt werdende Fälle zeitweise ein großes öffentliches Interesse hervor. In einem durch Industrie und Gewerbe geprägten Stadtgebiet gibt es flächenbezogen vergleichsweise mehr Grundwasserverunreinigungen als in einem Flächenland. Allerdings erstrecken sich die belasteten Flächen in Bremen auf weniger als zwei Prozent der Landesfläche.

Die Umweltbehörde informiert im Internet umfassend und detailliert über die Verhältnisse in Bremen und Bremerhaven unter [www.umwelt.bremen.de](http://www.umwelt.bremen.de). Auf den Seiten „Boden/Altlasten“ sind unter „Altlastenbedingte Grundwasserverunreinigungen“ folgende Angaben zu finden:

- Berichte und Veröffentlichungen
- Anwohnerinformationen: Übersichtskarten und Informationsschreiben
- Grundlagen für die Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen
- Ansprechpartner/-innen



Dort ist auch die Broschüre „Altlastenbedingte Grundwasserverunreinigungen im Land Bremen“ (SBUV 2006) eingestellt, die einen Überblick über den Kenntnisstand über Altlasten und deren Auswirkungen auf das Grundwasser in Bremen und Bremerhaven gibt.

Der aktuelle Stand über diejenigen Stadtgebiete, in denen Anwohner und Nutzer über großflächige Grundwasserverunreinigungen benachrichtigt wurden, sind der Seite „Anwohnerinformationen“ zu entnehmen. Hier finden Sie Detailkarten sowie die entsprechenden neuesten Anschreiben mit den Nutzungsempfehlungen und den dazu gehörenden Lageplänen.

## 6 Fazit



## 6 Fazit

Die Erfassung der Grundwassergütedaten stellt eine wichtige Grundlage für wasserwirtschaftliche Entscheidungen der Freien Hansestadt Bremen dar. Die gemessenen Parameter berücksichtigen, dass Grundwasser als Trinkwasser und als unterirdischer Abfluss in die Oberflächengewässer vorsorgend geschützt werden muss. Der Umfang der Routinemessungen wird bei aktuellen Fragestellungen durch Sondermessprogramme ergänzt. Sondermessprogramme betrafen besonders im letzten Jahrzehnt zusätzliche Schwermetalle, Metalloide, Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und ihre Metaboliten, Arzneimittelwirkstoffe sowie verschiedenste organische Chemikalien, die auch als Industriechemikalien zusammengefasst werden. Schon die Auswahl der Parameter zeigt, dass auch die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten geprüft werden sollen, die sich in Stadtstaaten wie der Freien Hansestadt Bremen naturgemäß stärker zeigen als in Flächenländern.

Der Vergleich der Grundwasserqualität mit Hintergrundwerten und Grundwassergütekriterien erlaubt festzustellen, ob und gegebenenfalls welche diffusen Einträge aus der Landwirtschaft, Undichtigkeiten im Abwassernetz, Bautätigkeiten, Einsatz von Ersatzbaustoffen oder Klimaänderungen die Grundwasserqualität verändert haben.

Überschreitungen von Grundwasserkriterien lösen Maßnahmen aus, die sich im ersten Schritt aus Überprüfung der Ergebnisse und Wiederholungsmessungen zusammensetzen. Daran anschließend werden weitere zuständige Stellen informiert und stufenweise Klärung des Einzelfalls abgestimmt. Je nach Parametergruppe wie beispielsweise Schwermetallen, Pflanzenschutzmittel oder Nährstoffen gibt es unterschiedliche Vorgehensweisen, die bis zu international abgestimmten Anwendungsverböten von Chemikalien reichen können.

Zusätzlich bilden die Grundwasserdaten eine wichtige Grundlage für Programme zum vorsorgenden Schutz des Grundwassers vor schädlichen Einträgen. Hierzu gehören das Förderprogramm zur Erfassung des Zustandes von privaten Grundleitungen für häusliches Abwasser und die Fördermaßnahmen im Bereich Landwirtschaft, die grundwasserschonende Produktionsweisen unterstützen und Beratungsmaßnahmen umfassen.

Die Gesamtheit der Ergebnisse wird zusätzlich genutzt, das Messnetz zu verifizieren und Beprobungszyklen und Parameterumfänge anzupassen. Unter anderem liegen für einige Schwermetalle wie beispielsweise Vanadium und Molybdän erst seit kurzem Messungen vor, so dass zeitliche Entwicklungen noch nicht beschrieben werden können. Ergänzend werden zukünftig messstellenbezogene Trendanalysen durchgeführt, auch wenn die Konzentrationen der Substanzen noch kein Warnwertniveau erreicht haben.

Außerdem wird das erweiterte Messprogramm für Pflanzenschutzmittel seit 2008 zur Aktualisierung des Routineprogramms genutzt. Das gleiche gilt für die Auswertung der Sondermessprogramme für Arzneimittel und neue Industriechemikalien, die in flächendeckenden Messungen teilweise verbreitet erfasst wurden.

Wo zeitliche und räumlich eine höhere Informationsdichte notwendig ist, wird das flächendeckende Landesmessnetz durch Sondermessnetze wie zum Beispiel für Altlasten oder Trinkwassergewinnungsgebiete ergänzt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen im Grundmessnetz zeigen, dass sich die Beschaffenheit des Grundwassers des Landes Bremen seit 1986 insgesamt nur wenig verändert hat. Die festgestellten Überschreitungen von Grundwassergütekriterien an verschiedenen Messstellen sind häufig punktuell und temporär, wie z. B. das unter 4.2.6 dargestellte Auftreten eines leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffes (Vinylchlorid) an zwei Messstellen.

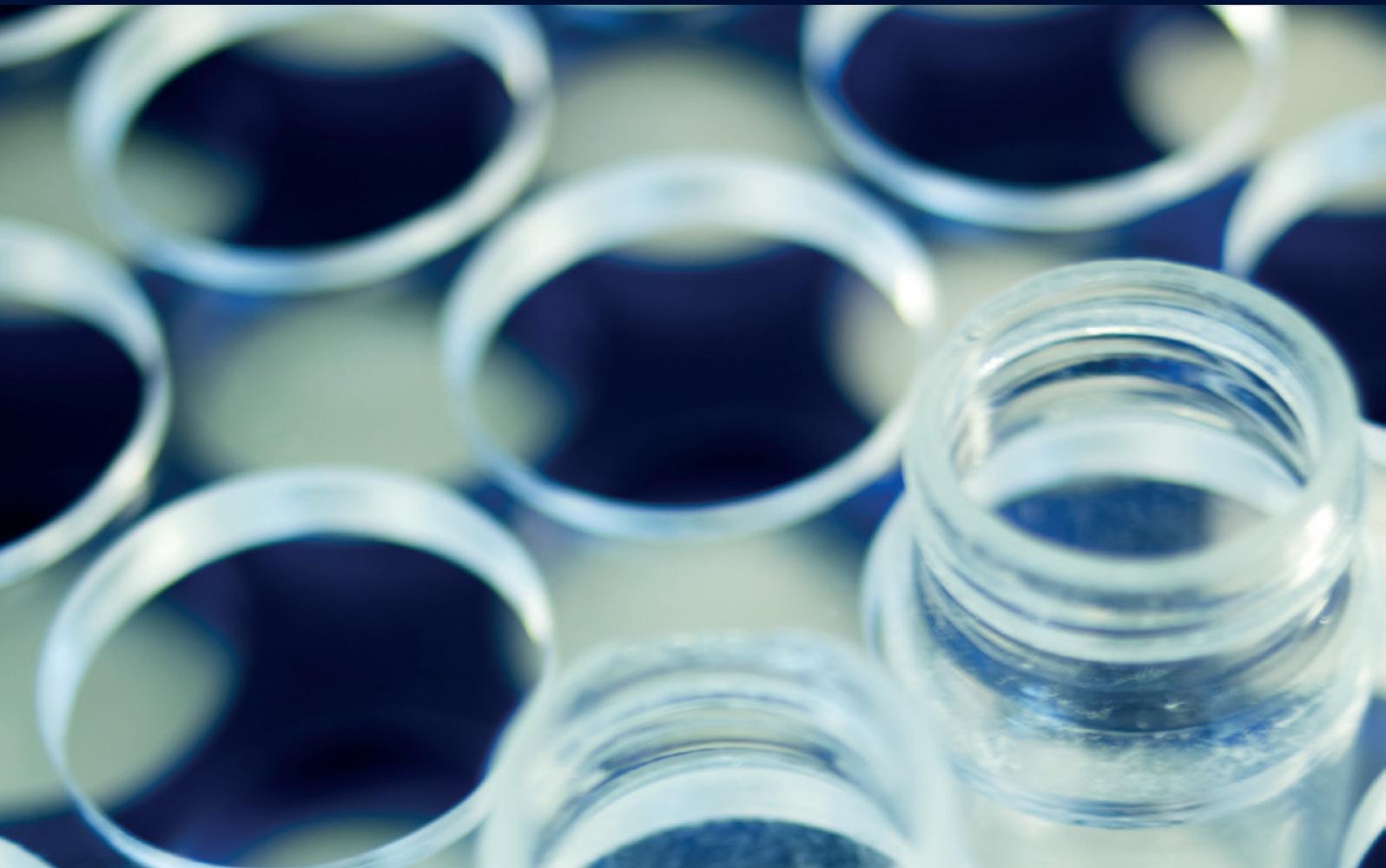
Deutlich steigende Trends von Parametern stellen Ausnahmeerscheinungen dar. Dieses betrifft zum Beispiel die Konzentrationen von Arsen und von Kupfer jeweils an einzelnen Messpunkten. Dem Abschnitt 4.2.1 ist zu entnehmen, dass dem andererseits auch fallende Trends bei einzelnen Messstellen gegenüberstehen, wie von Cadmium oder von Chlorid und Sulfat (4.1.2, 4.1.3).

Eine weitere ständige Beobachtung des Grundwassers hat bei Arzneimitteln und Industriechemikalien zu erfolgen, die unter anderem über undichte Abwasserkanäle eingetragen werden können. Programme zur Überprüfung der Dichtheit von Kanälen dienen insofern dem vorsorgenden Grundwasserschutz. Die Befunde treten räumlich sehr heterogen verteilt auf. Während sich Arzneimittelbefunde auf ca. 10% der Messstellen beschränken, zeigen einige der untersuchten Industriechemikalien, im wesentlichen Duftstoffe und Weichmacher, eine flächendeckende Verbreitung im Grundwasser.

In der Gesamtbetrachtung ist festzustellen, dass es vergleichsweise wenige auffällige Ergebnisse im Grundmessnetz des Landes Bremen gibt, denen aktiv nachgegangen werden muss. Ebenso sind keine großräumigen negativen Verhältnisse oder besorgniserregenden Trends ermittelt worden. Insofern ergibt sich aus den vorliegenden Untersuchungen kein Handlungsbedarf, der über die bisherigen Aktivitäten hinaus geht. Anders verhält es sich mit den durch Altlasten verursachten Grundwasserunreinigungen, die in Kapitel 5 kurz beschrieben werden.

Die Untersuchungen des Grundwassers im Grundmessnetz werden auf der Grundlage der Ergebnisse dieses Berichtes in dem erforderlichen Umfang fortgeführt.

## 7 Literatur und Quellen



## 7 Literatur und Quellen

Arge	„Infiltration“ (2008): Bewertung der Reinfiltration im Bereich des Absenktrichters temporärer Grundwasserabsenkungen bei Baumaßnahmen im Land Bremen. Gutachten erstellt durch Arge Infiltration (Dr. Pirwitz Umweltberatung, Grundbaulabor Bremen GmbH, BreMoG GmbH) im Auftrag des Senators für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa, Freie Hansestadt Bremen. Unveröffentlicht
BGR	- Bundesanstalt für Geowissenschaften BGR (2008): Übersichtskarte „Salzstrukturen Norddeutschlands“ im Maßstab 1:500.000.
Blankenburg, J.	Grützmann J; Helms, M; Jensen, S; Panteleit B und Schmidt G (2008): Geoplan Bremen – Geowissenschaftliche Planungsgrundlage Bremen, Teil 1 - Bremen Nord, Abschlussbericht 2007
BMU und BMEL	- Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (2004): 3. Bericht 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 (Nitratbericht 2004). 128 S. Bonn.
BMU und BMELV	- Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (2008): Nitratbericht 2008. 68 S. Bonn.
Bornemann, O.	(1991): Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrergebnissen.- BfS-Schriften, 4/91: 67 S., 13 Abb., 5 Tab., 24 Anl.; Salzgitter.
DIN	(Deutsches Institut für Normung e.V.); Deutscher Ausschuss für Stahlbeton; (2008): DIN 4030 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 1 Grundlage und Grenzwerte; Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN. Beuth Verlag
DIN EN ISO/IEC.	17025 (2005): Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005). Beuth Verlag, Berlin.
DVGW	-Technologiezentrum Wasser (TZW) (2007): Neuer Fungizid-Metabolit: N,N-Dimethylsulfamid - Ein Problemstoff mit zwei Gesichtern“ - TZW-Newsletter 22 (4): 9-14
Ehlers, J.	(1990): Untersuchungen zur Morphodynamik der Vereisungen Norddeutschlands unter Berücksichtigung benachbarter Gebiete.- Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung, Heft 19, Abb. 17, Univ. Bremen, 166 Seiten.
GDfB und NLfB	(Geologischer Dienst für Bremen und Niedersächsische Landesanstalt für Bodenforschung) (2004): EU-WRRL -Bericht 2004 -Grundwasser - Erstmalige Beschreibung -Stand 16.12.03.Niedersachsen und Bremen - Allgemeiner Teil. Interner Bericht. 27 S.
Griebler, C.,	Stein, H; Hahn, HJ; Steube, C und Kellermann, C (2008): Entwicklung biologischer Bewertungsmethoden und -kriterien für Grundwasserökosysteme. Forschungsbericht des Umweltbundesamtes, Dessau 113. S.
Hamer, K.	und Freudenberger, U. (2011): Pflanzenschutzrechtlich nicht relevante Metaboliten im Grundwasser. Wasser und Abfall, S. 2-6. Verlag Springer Fachmedien, Wiesbaden.
IPCC	(2007): Climate Change 2007: the Physical Science Basis. <a href="http://www.ipcc.ch">http://www.ipcc.ch</a>
Jensen, H.,	Fritz J., Bickelmann H., Grützmann J., Kantor, W., Kockel F., Meißner D., Reichling, J. und S. Windelberg (2003): Grundwasser- und Geotechnische Planungskarte Bremerhaven, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Geologischer Dienst Bremen, Geozentrum Hannover; Jensen und Co
Jensen, S.	(2010): Grundwasser in Bremen-Nord in drei Dimensionen - Kopplung eines Strukturmodells und eines Strömungsmodells. 147 S. Dissertation Fachbereich Geowissenschaften Universität Bremen. Online verfügbar unter: <a href="http://d-nb.info/1010372009/34">http://d-nb.info/1010372009/34</a>
Karius, V.,	Hamer, K. & Lager, T. (2002): Reaction fronts in brick-sand layers - Column experiments and modeling. S 2875-2883. Environmental Science and Technology

Kreins P.,	Behrendt H., Gömann H., Hirt U., Kunkel, R., Seidel, K, Tetzlaff B. & Wendland, F. (2009: AGRUM-Weser - Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in der Flussgebietseinheit Weser. 314 S. BMELV-Forschungsbericht
Kunkel, R.,	Bogena, H., Tetzlaff, B. und Wendland, F. (2006): Digitale Grundwasserneubildungskarte von Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Hamburg und Bremen: Erstellung und Auswertungsbeispiele. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 50, H5, 212-220
LAWA	- Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2004): Ableitung von Geringfügigkeitschwellenwerten für das Grundwasser. 213 S. Kulturbuchverlag, Berlin.
LAWA	- Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2008): Fachliche Umsetzung der Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (2006/118/EG). Teil I-IV, 107 Seiten, unveröffentlicht.
LAWA	- Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2011b): Fachliche Umsetzung der Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (2006/118/EG). Teil V, unveröffentlicht.
LAWA	(Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2011): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit - Pflanzenschutzmittel - Berichtszeitraum 2001 bis 2008. 32 S. Kulturbuchverlag. ISBN 978-3-88961-258-8
Lemke D.	und Elbracht, J. (2008): Grundwasserneubildung in Niedersachsen. Geoberichte 10 64 S. ISSN 1864-7529
Meinke, K.	(1992): Die Entwicklung der Weser im nordwestdeutschen Flachland während des jüngeren Pleistozäns. - 114 S. Dissertation der Georg-August-Universität Göttingen.
Merkel, B.	und Sperling, B. (1996): Hydrogeochemische Systeme I. DVWK-Schriften, 110. 288 S. Bonn
Monna, F.;	Hamer, K., Lévêque, J. & Sauer, M. (2000): Pb isotopes as a reliable marker of early mining and smelting in the Northern Harz province (Lower Saxony, Germany). Journal of Geochemical Exploration 68: 201-210. Elsevier.
NLfB	- Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (1979): Geowissenschaftliche Karte des Naturraumpotenzials von Niedersachsen und Bremen 1:200.000 Grundwasser Blatt CC 3110 Bremerhaven
NLfB	- Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (1982): Geowissenschaftliche Karte des Naturraumpotenzials von Niedersachsen und Bremen 1:200.000 Grundwasser Blatt CC 3118 Hamburg-West
Ortlam D.	und Schnier H. (1980): Erläuterungen zur Baugrundkarte Bremen. 12 Abb., 3 Tab., 41 S., Hrsg.: Senator für das Bauwesen - Kataster- und Vermessungsverwaltung Bremen
Ortlam, D.	& Sauer, M. (1993): Geochemische Grundwasser-Kartierung Bremen.- Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit und deren Beeinflussung durch Altlasten in der Stadtgemeinde Bremen. - Atlas mit Erläuterungen, 28 S., 9 Abb., 60 Ktn., 1 Anl., (Bremer Entsorgungsbetriebe) Bremen.
Ortlam, D.	(1989): Geologie, Schwermetalle und Salzwasserfronten im Untergrund von Bremen und ihre Auswirkung. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1989 (8): 489-512. Stuttgart.
Piper, A.M.	(1944): A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. - Trans. Americ. Geoph. Union, 25, 6: 914-928. Washington DC
Roth, U.,	Mücke, v. T., Konertz, K. & Adolphi, P. (2007): STL-Plotversuch zur Dekontamination von CKW-Phasenverunreinigung in der gesättigten Bodenzone. Erschienen in: Altlasten Spektrum. 16. Jahrgang. Heft 6/07, S. 257-262. Hrsg. Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V.
Sauer, M. .	(1999): Auelehme als geologische Barriere bei der Deponierung von Baggergut. S. 173-197 in GUG (Hrsg.): Ressourcen- Umwelt - Management. Springer Verlag Berlin.

SBUV	- Senator für Bau, Umwelt und Verkehr (2006): Altlastenbedingte Grundwasserverunreinigungen im Land Bremen. Hrsg.: Freie Hansestadt Bremen
Schminke, K	und G Gad (Hrsg. 2007): Grundwasserfauna Deutschlands - ein Bestimmungswerk. 628 S. DWA Hennef. ISBN 978-3-939057-44-4
Schuchardt B.	& M. Schirmer (2005): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. 341 S., 81 Abb., Springer-Verlag Berlin Heidelberg
SUS	- Senator für Umweltschutz und Stadtentwicklung (1993): Trinkwasserversorgungsbericht des Landes Bremen 1993, Druckhaus Lehe-Nord, Bremerhaven
Ternes, T.A.	(2001): Vorkommen von Pharmaka in Gewässern. In: Wasser & Boden, 53
UBA	- Umweltbundesamt (2009): „Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für nicht relevante Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln“ unter <a href="http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/trinkwassertoxikologie/tabelle_gow_nrm.pdf">http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/trinkwassertoxikologie/tabelle_gow_nrm.pdf</a>
UBA	- Umweltbundesamt (2009b): Per- und Polyfluorierte Chemikalien. Einträge vermeiden - Umwelt schützen. Publikation - Per- und Polyfluorierte Chemikalien: <a href="http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3812.pdf">http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3812.pdf</a>
UBA	- Umweltbundesamt (2010): Bisphenol A - Massenchemikalie mit unerwünschten Nebenwirkungen. 18 S. UBA-Berlin.
UBA	- Umweltbundesamt (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln. 55 S. UBA-Mitteilung 66/2011 unter <a href="http://www.uba.de/uba-info-medien/4188.html">www.uba.de/uba-info-medien/4188.html</a>
Wagner, B.,	Wagner, B., Walter, T., Himmelsbach, T. Clos, P., Beer, A., Brose, D., Budziak, D., Dreher, T., Fritsche, H.-G., Hübschmann, M., Marczinek, S., Peters, A., Poeser, H., Schuster, H., Steinel, A., Wagner, F. & Wirsing, G. (2011) Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Deutschlands als Web Map Service. - Grundwasser, 16(3): 155-162; Springer, Berlin / Heidelberg
Weber, W.H.	(2007): Nachweis der Metaboliten Desphenylchloridazon und Methyl-desphenylchloridazon in Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser - Vom Wasser, 105, S. 7-14

**Zitierte Verordnungen, Gesetze und Richtlinien:**

Richtlinie 91/676/EWG	des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen
Richtlinie 2000/60/EG	des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1),)
Richtlinie 2006/118/EG	des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (ABl. L 372 vom 27.12.2006)
Richtlinie 2008/105/EG	des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG
Richtlinie 2009/90/EG	des Europäischen Parlaments und des Rates vom 31 Juli 2009 zur Festlegung technischer Spezifikationen für die chemische Analyse und die Überwachung des Gewässerzustands gemäß der Richtlinie 2000/60/EG (ABl. L 201/36 vom 1.8.2009)
Richtlinie 2009/1107/EG	des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21 Oktober 2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (ABl. L 309/1)
Verordnung zum Schutz des Grundwassers	(Grundwasserverordnung - GrwV) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429)
Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer	(Oberflächengewässerverordnung - OGewV) vom 9. November 2010, BGBl. I Nr. 56, S. 1513 (2010)
WHG	- Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I, S. 2585), das durch Artikel 12 des Gesetzes vom 11. August 2010 (BGBl. I, S. 1163) geändert worden ist (2009)
WasserSIG (BGBl, 1965):	Gesetz über die Sicherstellung von Leistungen auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft für Zwecke der Verteidigung (Wassersicherungsgesetz) vom 24. August 1965 (BGBl. I S. 1225, 1817), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 20 des Gesetzes vom 12. August 2005 (BGBl. I S. 2354) geändert

## 8 Anhang

- A-1: Parameter der Grundwassergüte-Messprogramme A, B und C der Freien Hansestadt Bremen
- A-2: Parameter zur Grundwassergüte mit Grundwassergütekriterium
- A-3: Stammdaten des Grundwassermessnetzes der Freien Hansestadt Bremen
- A-4: Lage der Messstellen mit Bezeichnung
- A-5: Auftreten von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen mit Geringfügigkeitsschwellenwerten  $< 0,1 \mu\text{g/l}$
- A-6: A6-1: Sondermessprogramm - Arzneimittel  
A6-2: Sondermessprogramm - Industriechemikalien
- A-7: Analytische Bestimmungsgrenzen von 1986-2011
  - A 7-1: Bestimmungsgrenzen und Parameterumfangs für PAK
  - A 7-2: Bestimmungsgrenzen der BTEX sowie Anilin und Nitrobenzol über Messungszeitraum  $\mu\text{g/L}$
  - A 7-3: Bestimmungsgrenzen der PCB [ $\text{ng/L}$ ]
- A-8: Darstellung der Grundwasseranalysen in Piperdiagrammen
- A-9: Zeitreihen für Parameter an Messstellen mit Überschreitung des Warn- oder Schwellenwertes
- A-10: Kartendarstellung der Konzentrationsklassen für Parameter:
  - Anhang A 10-A: Karten für chemische Parameter der Parametergruppe A
  - Anhang A 10-B: Karten für chemische Parameter der Parametergruppe B
  - Anhang A 10-C: Karten für chemische Parameter der Parametergruppe C und Sondermessprogramme
- A-11: Befunde des Sondermessprogramms Pflanzenschutzmittel 2008-2011 (2 Abbildungen) und Rangliste der Befunde  $<$  Bestimmungsgrenze des Routinemessprogramms für Pflanzenschutzmittelwirkstoffe (Tabelle)

## Anhang A 1

Parametergruppe A (jährlich zweimal)		Parametergruppe B (alle zwei Jahre)		Parametergruppe C (alle vier Jahre)	
Vor Ort	Temperatur	LHKW	Dichlormethan	PCB	PCB Nr. 28
	pH-Wert		Trichlormethan		PCB Nr. 52
	Leitfähigkeit		Tetrachlormethan		PCB Nr. 101
	Sauerstoff		1,1-Dichlorethan		PCB Nr. 138
	Färbung		1,2-Dichlorethan		PCB Nr. 153
	Geruch		1,1,1-Trichlorethan		PCB Nr. 180
	Trübung		1,1,2-Trichlorethan	Organchlor- verbindungen	1,2-Dichlorpropan
Chlorid	Sulfat	1,1-Dichlorethen	Gamma-HCH		
	Nitrat	Bromdichlormethan	Alpha-Endosulfan		
	Nitrit	Dibrommethan	Beta-Endosulfan		
	Ammonium	Dibromchlormethan	Trifluralin		
	Phosphor gesamt	Trichlorethylen	Hexachlorbenzol		
	Ortho-Phosphat	Tetrachlorethen	Phenoxyalkan- carbonsäuren	2,4-D	
	Eisen	cis-1,2 Dichlorethen		Dichlorprop	
	DOC	trans-1,2 Dichlorethen		Mecoprop	
	AOX	Chlorethen (Vinylchlorid)		MCPA	
	m-Wert Säurekapazität bis pH 4,3	Schwermetalle	Fluorid	Triazine und Triazinone	Atrazin
	p-Wert Basenkapazität bis pH 8,2		Blei		Desethylatrazin
	Hydrogenkarbonat		Chrom		Desmetryn
	Bor		Kupfer		Metribuzin
	Mangan		Zink		Prometryn
	Calcium		Cadmium		Propazin
	Magnesium		Nickel		Simazin
	Natrium		Arsen		Terbutylazin
	Kalium		Quecksilber		Desethylterbutylazin
			PAK		Terbutryn

Anhang A 1: Parameter der Grundwassergüte-Messprogramme A, B und C der Freien Hansestadt Bremen

Parametergruppe A (jährlich zweimal)		Parametergruppe B (alle zwei Jahre)		Parametergruppe C (alle vier Jahre)	
			Mineralöl- Kohlenwasserstoffe	Phenylharnstoff- Herbizide	Monolinuron
		BTEX	Benzol		Chlortoluron
			Toluol		Diuron
			o-, p-, m-Xylole		Isoproturon
			Ethylbenzol		Linuron
			Trimethylbenzol		Metoxuron
			Nitrobenzol	Stickstoffhaltige PBSM/ Carbonsäurederivate	Bromacil
			Anilin		Alachlor
					Metazachlor
				Metolachlor	
				Organophosphor- verbindungen Carbamate und sonstige PSM	Parathion (E605)
					Dimethoat
					Aldicarb
					Bentazon
					Dalapon
					Glyphosat
					Glufosinat
				Pendimethalin	
					Phenolindex
					Cyanid gesamt

Anhang A 1: Parameter der Grundwassergüte-Messprogramme A, B und C der Freien Hansestadt Bremen - Fortsetzung

## Anhang A 2

Parameter	Einheit	Kriterium	Summenwert	Summenparameter	Analytische Bestimmungsgrenze
1,1,1-Trichlorethan	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
1,1,2-Trichlorethan	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
1,1-Dichlorethan	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
1,1-Dichlorethen	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
1,2,3-Trimethylbenzol	µg/l	20	20	Σ BTEX	0,5
1,2,4-Trimethylbenzol	µg/l	20	20	Σ BTEX	0,5
1,2-Dichlorethan	µg/l	3	20	Σ LHKW	0,1
1,2-Dichlorpropan	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,1
1,3,5-Trimethylbenzol	µg/l	20	20	Σ BTEX	0,5
1,1,2-Trichlortrifluorethan	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
2,4-D	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,005
2,4-DB	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
2,4-DP (Dichlorprop)	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,005
2,6-Dichlorbenzamid	µg/l	3			0,03
2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Acenaphthen	µg/l	0,2	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,01
Acenaphthylen	µg/l	0,2	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,01
Alachlor	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,05
Aldicarb-sulfon	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Aldrin	µg/l	0,01	0,5	Σ PSM	0,01
Alpha-Endosulfan	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,005
Aluminium	mg/l				0,03
Ameryn	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,05
Amitrol	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Ammonium-N	mg/l	0,5			0,02
AMPA	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Anilin	µg/l				0,5
Anthracen	µg/l	0,1	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,02
Antimon	µg/l	5			2
AOX	mg/l				10
Arsen	µg/l	10			0,2
Atrazin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,001
Barium	µg/l	340			0,01

Anhang A2-1: Parameter zur Grundwassergüte mit Grundwassergütekriterium

## ANHANG A-2 Parameter zur Grundwassergüte mit Grundwassergütekriterium

Parameter	Einheit	Kriterium	Summenwert	Summenparameter	Analytische Bestimmungsgrenze
Bentazon	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Benzo(a)anthracen	µg/l	0,2	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,02
Benzo(a)pyren	µg/l	0,01	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,001
Benzo(b)fluorathen	µg/l	0,03	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,002
Benzo(ghi)perylen	µg/l	0,002	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,005
Benzo(k)fluoranthen	µg/l	0,03	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,001
Benzol	µg/l	1	20	Σ BTEX	0,5
Beta-Endosulfan	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,005
Beta-HCH	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Blei	µg/l	7,2			2
Bor	µg/l	740			0,02
Bromacil	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Bromdichlormethan	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
Bromid	mg/l				0,1
Bromophos-ethyl	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Bromoxynil	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Cadmium	µg/l	0,25			0,2
Calcium	mg/l				k.A.
Carbofuran	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Carfentrazon-ethyl	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Chlorfenvinphos	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Chlorid	mg/l	250			30
Chloridazon	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Chloridazon-desphenyl (Metabolit B)	µg/l	3			0,03
Chlorpyrifos	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Chlorpyrifos-methyl	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Chlorthalonil	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Chlortoluron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,002
Chrom	µg/l	7			2
Chrysen	µg/l	0,2	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,002
Cis-1,2-Dichlorethen	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
Cis-Chlordan	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Clodinafop-propargy- lester	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03

Anhang A2-1: Parameter zur Grundwassergüte  
mit Grundwassergütekriterium

Parameter	Einheit	Kriterium	Summenwert	Summenparameter	Analytische Bestimmungsgrenze
Clomazone	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Clopyralid	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Cobalt	µg/l	8			2
Cyanid ges.	µg/l	5			10
Dalapon	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,05
delta-HCH	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,002
Demeton-S-methyl	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Desethylatrazin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,005
Desethylterbuthylazin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,005
Desisopropylatrazin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Desmetryn	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,001
Diazinon	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	0,01	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,002
Dibromchlormethan	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
Dibrommethan	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
Dicamba	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Dichlobenil	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Dichlormethan	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
Dichlorvos	µg/l	0,01	0,5	Σ PSM	0,03
Diflufenican	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Dimethachlor	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Dimethenamid	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Dimethoat	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,001
Dinoseb	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Disulfoton	µg/l	0,004	0,5	Σ PSM	0,03
Diuron	µg/l	0,05	0,5	Σ PSM	0,002
DOC	mg/l				2
Eisen	mg/l				0,01
Epoxiconazol	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Ethidimuron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Ethylbenzol	µg/l	20	20	Σ BTEX	0,5
Etrimfos	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Färbung					0

Anhang A2-1: Parameter zur Grundwassergüte mit Grundwassergütekriterium

## ANHANG A-2 Parameter zur Grundwassergüte mit Grundwassergütekriterium

Parameter	Einheit	Kriterium	Summenwert	Summenparameter	Analytische Bestimmungsgrenze
Fenoxaprop-ethyl	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Fenpropidin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Fenpropimorph	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Fenthion	µg/l	0,01	0,5	Σ PSM	0,03
Fenuron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Flufenacet	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Flumioxazin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Fluoranthen	µg/l	0,1	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,01
Fluoren	µg/l	0,2	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,01
Fluorid	µg/l	750			0,02
Fluroxypyr	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Flurtamon	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Foramsulfuron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Gamma-HCH	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,002
Geruch					k.A.
Glufosinat	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,05
Glyphosat	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Hexachlorbenzol	µg/l	0,01	0,5	Σ PSM	0,001
Hexachlorbutadien	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,01
Hexazinon	µg/l	0,07	0,5	Σ PSM	0,03
Hydrogencarbonat	mg/l				k.A.
Indeno(123cd)pyren	µg/l	0,002	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,01
Ioxynil	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Isodrin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Isoproturon	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,002
Isoxaflutol	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Jodid	mg/l				0,1
Kalium	mg/l				k.A.
Kohlenwasserstoffe (IR)	µg/l	100			0,1
Kupfer	µg/l	14			2
Leitfähigkeit	µS/cm				k.A.
Linuron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,002
Magnesium	mg/l				k.A.

Anhang A2-1: Parameter zur Grundwassergüte mit Grundwassergütekriterium

Parameter	Einheit	Kriterium	Summenwert	Summenparameter	Analytische Bestimmungsgrenze
Mangan	mg/l				0,01
MCPA	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,005
Mecoprop	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Mefenpyr-diethyl	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Mesosulfuron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Mesotrione	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Metamitron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Metazachlor	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,05
Metazachlor ESA (BH 479-8)	µg/l	3		nrM	0,03
Metazachlor OA (BH 479-4)	µg/l	1		nrM	0,03
Methabenzthiazuron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Methamidophos	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,05
Methyl-desphenyl-Chloridazon (Metabolit B1)		3		nrM	0,03
Methyl-tertiärbutylether	µg/l	15			1
Metobromuron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Metolachlor	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,001
Metolachlor OA (CGA 51202)	µg/l	3		nrM	0,03
Metoxuron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,002
Metribuzin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Metsulfuronmethyl	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Mevinphos	µg/l	0,0002	0,5	Σ PSM	0,03
Mineralöl-KW (GC)	µg/l	100			0,2
Molybdän	µg/l	35			2
Monolinuron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,002
m-Wert	mmol/l				0,02
m-Xylol	µg/l	20	20	Σ BTEX	0,5
N,N-Dimethylsulfamid	µg/l	1		nrM	0,03
Naphthalin	µg/l	2			0,01
Napropamid	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Natrium	mg/l				10
Nickel	µg/l	20			2
Nicosulfuron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Nitrat	mg/l	50			0,44

Anhang A2-1: Parameter zur Grundwassergüte mit Grundwassergütekriterium

## ANHANG A-2 Parameter zur Grundwassergüte mit Grundwassergütekriterium

Parameter	Einheit	Kriterium	Summenwert	Summenparameter	Analytische Bestimmungsgrenze
Nitrit	mg/l				0,033
Nitrobenzol	µg/l	0,7	20	Σ BTEX	0,05
Ortho-Phosphat als P	mg/l				0,01
Parathion-ethyl	µg/l	0,01	0,5	Σ PSM	0,03
PCB Nr. 101	µg/l	0,01	0,01	Sum PCB	0,005
PCB Nr. 138	µg/l	0,01	0,01	Sum PCB	0,002
PCB Nr. 153	µg/l	0,01	0,01	Sum PCB	0,002
PCB Nr. 180	µg/l	0,01	0,01	Sum PCB	0,002
PCB Nr. 28	µg/l	0,01	0,01	Sum PCB	0,005
PCB Nr. 52	µg/l	0,01	0,01	Sum PCB	0,005
Pendimethalin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,005
Pentachlorphenol	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Pethoxamid	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Phenathren	µg/l	0,2	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,005
Phenolindex	µg/l	8			10
Phosphat als P	mg/l				0,01
pH-Wert					k.A.
Picolinafen	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Primicarb	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Prometryn	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,001
Propanil	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Propazin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,001
Propyzamid	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Prothioconazol	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
p-Wert	mmol/l				k.A.
Pyraclostrobin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Pyren	µg/l	0,2	0,2	Σ PAK 16 USEPA	0,005
Quecksilber	µg/l	0,05			0,2
Quinmerac	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Quinoxifen	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Rimsulfuron	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Sauerstoff	mg/l				k.A.
Sebuthylazin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03

Anhang A2-1: Parameter zur Grundwassergüte mit Grundwassergütekriterium

Parameter	Einheit	Kriterium	Summenwert	Summenparameter	Analytische Bestimmungsgrenze
Selen	µg/l	7			1
Simazin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,002
Spiroxamine	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Sulcotrion	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Sulfat	mg/l	240			5
Sulfid	mg/l				0,02
Tebuconazol	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Temperatur	°C				k.A.
Terbuthylazin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,001
Terbutryn	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,001
Tetrachlorethen	µg/l	10	20	Σ LHKW	0,1
Tetrachlormethan	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
Thallium	µg/l	0,8			1
Toluol	µg/l	20	20	Σ BTEX	0,5
Tolyfluanid	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Topramezone	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Trans-1,2-Dichlorethen	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
Trans-Chlordan	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Tribenuronmethyl	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Tribrommethan	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,3
Trichlorethen	µg/l	10	20	Σ LHKW	0,1
Trichlorfon	µg/l	0,002	0,5	Σ PSM	0,03
Trichlormethan	µg/l	20	20	Σ LHKW	0,1
Triclopyr	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,03
Trifluralin	µg/l	0,03	0,5	Σ PSM	0,01
Vanadium	µg/l	4			1
Vinclozolin	µg/l	0,1	0,5	Σ PSM	0,01
Vinylchlorid	µg/l	0,5	20	Σ LHKW	0,5
Xylol	µg/l	20	20	Σ BTEX	0,5
Zink	µg/l	58			10

Anhang A2-1: Parameter zur Grundwassergüte mit Grundwassergütekriterium

k.A.: keine Angaben

Summenparameter	Einheit	Wert
Σ LHKW	µg/l	20
Σ Tetrachlorethen und Trichlorethen	µg/l	10
Σ BTEX	µg/l	20
Σ PAK US-EPA 16 ohne Naphtalin	µg/l	0,2
Σ Benzo-b-fluoranthen und Benzo-k-fluoranthen	µg/l	0,03
Σ Benzo-ghi-perylen und Indeno123cd-pyren	µg/l	0,002
Σ PCB (PCB 28, 52, 101, 138, 153 180)	µg/l	0,01
Σ PSM	µg/l	0,5

Tab. A 2-2: Summenparameter zur Grundwassergüte

## Anhang A 3

Name	Rechtswert		Hochwert	Messstelle zur Erfassung von Daten für:					Durchmesser Filterrohr mm	Oberkante		Unterkante		Filterlänge m
	WRRL	Trend		Basis	Notstand	Nitrat	Filter m u GOK	Filter m u GOK		Filter	Filter			
BR H <sup>4</sup>	34 86 091		58 82 930	x				200	-48	-64		16		
Br. 3 <sup>3</sup>	34 92 209		58 81 008	x				300	-13	-21		8		
FLB 1 <sup>1</sup>	34 76 359		59 31 656		x			125,00	-13,5	-21,5		8		
FLB 101 <sup>2</sup>	34 71 563		58 95 708	x				125,00	-10,7	-18,20		7,5		
FLB 102 <sup>2</sup>	34 71 296		58 96 141		x			125,00	-8,2	-15,70		7,5		
FLB 103 <sup>2</sup>	34 71 427		58 95 093		x			200,00	-18	-25,5		7,5		
FLB 104 <sup>2</sup>	34 78 868		58 93 727		x			200,00	-15	-22,5		7,5		
FLB 105 <sup>2</sup>	34 72 969		58 94 597		x			200,00	-22	-29,5		7,5		
FLB 106 <sup>2</sup>	34 82 291		58 93 602		x			n/b	-8	-15		7		
FLB 107 <sup>2</sup>	34 68 369		58 97 073		x			200,00	-22	-40		18		
FLB 108 <sup>2</sup>	34 81 460		58 93 862		x			200,00	-66	-74		8		
FLB 109 <sup>2</sup>	34 69 323		58 95 946		x			200,00	-17	-38,00		21		
FLB 11 <sup>1</sup>	34 75 278		59 39 889		x			125,00	-16	-28		12		
FLB 110 <sup>2</sup>	34 71 598		58 96 853		x			200,00	-16	-32		16		
FLB 111 <sup>2</sup>	34 72 004		58 96 411		x			200,00	-28	-40		12		
FLB 112 <sup>2</sup>	34 74 178		58 97 807		x			200,00	-30	-50		20		
FLB 113 <sup>2</sup>	34 75 636		58 95 215		x			200,00	-56	-71		15		
FLB 114 <sup>2</sup>	34 77 810		58 92 386		x			175,00	-18,5	-21,5		3		
FLB 115 <sup>2</sup>	34 75 101		58 94 377		x			200,00	-29	-41		12		
FLB 116 <sup>2</sup>	34 70 176		58 94 937		x			n/b	n/b	n/b		n/b		
FLB 117 <sup>2</sup>	34 80 596		58 93 378		x			125	-13	-17		4		
FLB 118 <sup>2</sup>	34 75 932		58 93 559			x		200	25	37		12		
FLB 119 <sup>2</sup>	34 75 667		58 92 864		x			200	-32	-44		12		
FLB 120 <sup>2</sup>	34 79 716		58 92 907		x			125	-58	-65		7		
FLB 121 <sup>2</sup>	34 70 295		58 94 852		x			n/b	n/b	n/b		n/b		
FLB 122 <sup>2</sup>	34 79 797		58 93 480			x		125	-7,4	-12,30		4,9		
FLB 123 <sup>2</sup>	34 67 332		58 98 150		x			200	-17	-29		12		

Anhang A 3: Stammdaten des Grundwassermessnetzes der Freien Hansestadt Bremen

- 1: Bremerhaven
- 2: Bremen-Nord
- 3: Rechts der Weser
- 4: Links der Weser

ANHANG A-3 Stammdaten des Grundwassermessnetzes der Freien Hansestadt Bremen

Name	Rechtswert	Hochwert	Messstelle zur Erfassung von Daten für:				Durchmesser Filterrohr mm	Oberkante Filter m u GOK	Unterkante Filter m u GOK	Filterlänge m
			WRRL	Trend	Basis	Notstand				
FLB 13 <sup>1</sup>	34 72 427	59 38 175				125	-13,5	25,5	12	
FLB 14 <sup>1</sup>	34 73 138	59 37 744	x		x	125	-13,7	25,7	12	
FLB 15 <sup>1</sup>	34 72 474	59 39 011			x	125	-13,2	-25,2	12	
FLB 20 <sup>1</sup>	34 72 928	59 37 304	x	x	x	125	-14,3	-25,3	12	
FLB 3 <sup>1</sup>	34 73 352	59 32 940			x	125	-8,5	-16,5	8	
FLB 30 <sup>1</sup>	34 72 045	59 35 784	x		x	150	-18,22	-30,3	12,04	
FLB 305 <sup>3</sup>	34 85 608	58 84 732			x	200	-12	-20	8	
FLB 308 <sup>3</sup>	34 75 714	58 89 571			x	150	-9	-17	8	
FLB 319 <sup>3</sup>	34 86 381	58 86 518			x	200	-7	-15	8	
FLB 321 <sup>3</sup>	34 81 913	58 89 191			x	125	-7	-15	8	
FLB 347 <sup>3</sup>	34 86 145	58 85 272			x	125	-8	-16	8	
FLB 351 <sup>3</sup>	34 86 031	58 84 041	x		x	n/b	-6	-13	7	
FLB 353 <sup>3</sup>	34 76 898	58 91 890			x	n/b	n/b	n/b	n/b	
FLB 362 <sup>3</sup>	34 87 020	58 85 231			x	125	-7	-15	8	
FLB 372 <sup>3</sup>	34 80 717	58 90 929	x	x	x	125	-8	-16	8	
FLB 373 <sup>3</sup>	34 82 959	58 88 158			x	200	-11,5	-19	7,5	
FLB 375 <sup>3</sup>	34 84 828	58 87 043			x	150	-8	-16	8	
FLB 377 <sup>3</sup>	34 82 589	58 88 761			x	125	-6	-14	8	
FLB 378 <sup>3</sup>	34 84 070	58 86 575	x	x	x	125	-8	-14	6	
FLB 38 <sup>1</sup>	34 74 174	59 32 399	x	x	x	125	-12,5	-24,5	12	
FLB 381 <sup>3</sup>	34 85 122	58 85 740			x	125	-7	-15	8	
FLB 382 <sup>3</sup>	34 85 950	58 84 808			x	125	-6	-14	8	
FLB 385 <sup>3</sup>	34 88 113	58 92 217			x	125	-7	-15	8	
FLB 386 <sup>3</sup>	34 85 237	58 91 846			x	125	-7	-9	2	
FLB 387 <sup>3</sup>	34 82 511	58 92 525			x	125	-7	-13	6	
FLB 388 <sup>3</sup>	34 89 819	58 90 121			x	125	-7,5	-13,5	6	
FLB 389 <sup>3</sup>	34 84 320	58 87 561	x	x	x	125	-7	-15	8	
FLB 400 D <sup>3</sup>	34 87 738	58 83 627			x	125	-8	-17	9	
FLB 401 <sup>3</sup>	34 86 862	58 84 626			x	125	-8	-16	8	
FLB 405 D <sup>3</sup>	34 92 476	58 83 707			x	n/b	-5	-15	10	

Anhang A 3: Stammdaten des Grundwassermessnetzes der Freien Hansestadt Bremen

- 1: Bremerhaven
- 2: Bremen-Nord
- 3: Rechts der Weser
- 4: Links der Weser

Name	Rechtswert	Hochwert	Messstelle zur Erfassung von Daten für:				Durchmesser Filterrohr mm	Oberkante		Unterkante		Filterlänge m
			WRRL	Trend	Basis	Notstand		Nitrat	Filter m u GOK	Filter m u GOK		
FLB 406 D <sup>3</sup>	34 92 485	58 83 347			x	n/b	-7	-15			8	
FLB 407 D <sup>3</sup>	34 91 960	58 82 861			x	n/b	-4,8	-12,8			8	
FLB 408 D <sup>3</sup>	34 92 107	58 81 921			x	n/b	-9	-17			8	
FLB 409 D <sup>3</sup>	34 91 862	58 82 286			x	n/b	-7	-15			8	
FLB 410 D <sup>3</sup>	34 92 334	58 81 811			x	n/b	-7	-15			8	
FLB 421 D <sup>3</sup>	34 93 086	58 86 826			x	125	-7	-14,5			7,5	
FLB 422 D <sup>3</sup>	34 96 386	58 81 517			x	125	-6	-13,5			7,5	
FLB 423 D <sup>3</sup>	34 93 052	58 83 668			x	125	-5,25	-13,75			8,5	
FLB 424 D <sup>3</sup>	34 93 784	58 82 850			x	125	-7,5	-15,60			8,1	
FLB 425 D <sup>3</sup>	34 92 520	58 85 385			x	125	-8	-16			8	
FLB 426 D <sup>3</sup>	34 93 096	58 82 974			x	125	-9,5	-17,5			8	
FLB 427 D <sup>3</sup>	34 89 856	58 84 589			x	125	-9	-17			8	
FLB 430 D <sup>3</sup>	34 95 426	58 82 446		x	x	125	-6	-16			10	
FLB 431 D <sup>3</sup>	34 94 862	58 82 578			x	125	-6	-16			10	
FLB 432 D <sup>3</sup>	34 96 572	58 82 046			x	125	-6	-16			10	
FLB 433 D <sup>3</sup>	34 92 639	5885 842	x		x	125	-6	-16			10	
FLB 434 D <sup>3</sup>	34 82 837	58 86 261		x	x	n/b	n/b	n/b			n/b	
FLB 436 <sup>3</sup>	34 95 800	58 83 803		x	x	n/b	n/b	n/b			n/b	
FLB 438 <sup>3</sup>	34 90 976	58 83 447			x	125	-8,6	-14,2			5,6	
FLB 438 D <sup>3</sup>	34 91 581	58 85 137			x	125	-8	-15			7	
FLB 439 D <sup>3</sup>	34 96 270	58 82 703			x	125	-8	-16			8	
FLB 447 D <sup>3</sup>	34 87 829	58 84 537			x	125	-9	-17			8	
FLB 448 <sup>3</sup>	34 93 816	58 88 216		x	x	n/b	-7	-15			8	
FLB 448 D <sup>3</sup>	34 96 061	58 84 158			x	125	-9	-17			8	
FLB 450 D <sup>3</sup>	34 94 019	58 84 488			x	125	-7	-15			8	
FLB 451 D <sup>3</sup>	34 87 772	58 85 552			x	150	-8	-13			5	
FLB 452 <sup>3</sup>	34 90 223	58 83 988			x	125	-5,2	-13,2			8	

Anhang A 3: Stammdaten des Grundwassermessnetzes der Freien Hansestadt Bremen

- 1: Bremerhaven
- 2: Bremen-Nord
- 3: Rechts der Weser
- 4: Links der Weser

ANHANG A-3 Stammdaten des Grundwassermessnetzes der Freien Hansestadt Bremen

Name	Rechtswert	Hochwert	Messstelle zur Erfassung von Daten für:				Durchmesser Filterrohr mm	Oberkante		Unterkante		Filterlänge m
			WRRL	Trend	Basis	Notstand		Nitrat	Filter m u GOK	Filter m u GOK		
FLB 453 D <sup>3</sup>	34 88 600	58 84 104			x		125	-8	-16		8	
FLB 455 <sup>3</sup>	34 96 620	58 90 087			x		n/b	n/b	n/b		n/b	
FLB 459 <sup>3</sup>	34 94 724	58 85 328			x		125	-7	-15		8	
FLB 474 B <sup>3</sup>	34 93 366	58 85 685			x		n/b	n/b	n/b		n/b	
FLB 481 A <sup>3</sup>	34 95 772	58 81 179			x		n/b	n/b	n/b		n/b	
FLB 489 <sup>3</sup>	34 97 363	58 81 814		x			125	-3	-7		4	
FLB 497 B <sup>3</sup>	34 88 986	58 83 427			x		125	-8	-16		8	
FLB 499 <sup>3</sup>	34 90 141	58 83 004			x		125	-7	-15		8	
FLB 502 <sup>3</sup>	34 89 982	58 81 841			x		125	-8	-16		8	
FLB 520 <sup>3</sup>	34 88 748	58 82 545			x		125	-7	-15		8	
FLB 522 E <sup>3</sup>	34 89 484	58 82 512			x		125	-8	-16		8	
FLB 522 F <sup>3</sup>	34 89 441	58 82 398			x		n/b	n/b	n/b		n/b	
FLB 522 G <sup>3</sup>	34 89 298	58 82 425			x		n/b	n/b	n/b		n/b	
FLB 522 H <sup>3</sup>	34 89 064	58 82 346		x			125	-8	-16		8	
FLB 530 <sup>3</sup>	34 90 552	58 82 303			x		125	-6,50	-10,50		4	
FLB 543 <sup>3</sup>	34 93 607	58 79 388			x		n/b	n/b	n/b		n/b	
FLB 544 <sup>3</sup>	34 94 455	58 80 575			x		125	-7,30	-15,30		8	
FLB 547 <sup>3</sup>	34 94 600	58 78 596		x			125	-7	-15		8	
FLB 560 <sup>3</sup>	34 86 734	58 83 511			x		125	-6,80	-14,80		8	
FLB 561 <sup>3</sup>	34 89 153	58 82 044			x		125	-6,50	-14,50		8	
FLB 563 <sup>3</sup>	34 96 321	58 78 381			x		125	-7	-15		8	
FLB 572 <sup>3</sup>	34 92 967	58 79 210	x		x		125	-7	-15		8	
FLB 575 <sup>3</sup>	34 96 806	58 79 887		x			125	-7	-15		8	
FLB 587 <sup>3</sup>	34 90 051	58 82 159			x		125	-7	-15		8	
FLB 593 <sup>3</sup>	34 91 288	58 81 490			x		125	-10	-18		8	
FLB 598 <sup>3</sup>	34 87 661	58 82 595			x		125	-7	-15		8	
FLB 6 <sup>1</sup>	34 74 597	59 39 312	x	x	x		125	-16	-28		12	

Anhang A 3: Stammdaten des Grundwassermessnetzes der Freien Hansestadt Bremen

- 1: Bremerhaven
- 2: Bremen-Nord
- 3: Rechts der Weser
- 4: Links der Weser

Name	Rechtswert	Hochwert	Messstelle zur Erfassung von Daten für:				Durchmesser Filterrohr mm	Oberkante		Unterkante		Filterlänge m
			WRRL	Trend	Basis	Notstand		Nitrat	Filter m u GOK	Filter m u GOK		
FLB 602 <sup>4</sup>	34 80 235	58 87 101		x			n/b	n/b	n/b	n/b	n/b	8
FLB 607 <sup>4</sup>	34 83 348	58 84 179	x	x			125	-5	-13			8
FLB 611 <sup>4</sup>	34 80 987	58 83 001					n/b	n/b	n/b	n/b	n/b	n/b
FLB 616 <sup>4</sup>	34 78 262	58 84 074			x		125	-7	-15			8
FLB 627 <sup>4</sup>	34 85 325	58 82 749					125	-8	-16			8
FLB 642 <sup>4</sup>	34 84 247	58 80 810					n/b	-5,5	-10			4,5
FLB 667 <sup>4</sup>	34 82 131	58 78 662	x	x			125	-5,15	-13,15			8
FLB 668 <sup>4</sup>	34 82 060	58 78 977					125	-5,5	-13,5			8
FLB 669 <sup>4</sup>	34 80 780	58 79 988	x				125	-8,5	-16			7,5
FLB 670 <sup>4</sup>	34 81 551	58 79 324					125	-5	-12,5			7,5
FLB 672 <sup>4</sup>	34 81 262	58 78 899			x		n/b	n/b	n/b	n/b	n/b	n/b
FLB 673 <sup>4</sup>	34 82 397	58 80 350			x		n/b	n/b	n/b	n/b	n/b	n/b
FLB 674 <sup>4</sup>	34 86 686	58 82 467					n/b	n/b	n/b	n/b	n/b	n/b
FLB 678 <sup>4</sup>	34 85 616	58 81 869	x	x			125	-7	-15			8
FLB 687 <sup>4</sup>	34 80 570	58 86 594	x	x			125	-10	-24			14
FLB 729 <sup>4</sup>	34 87 640	58 79 954					125	-7	-15			8
FLB 734 <sup>4</sup>	34 88 282	58 80 475					200	-13	-19			6
FLB 749 <sup>4</sup>	34 86 543	58 80 638			x		n/b	-8	-15			7
FLB 750 <sup>4</sup>	34 90 713	58 79 204	x	x			125	-7	-15			8
FLB 751 <sup>4</sup>	34 87 628	58 77 757					125	-7	-15			8
FLB 752 <sup>4</sup>	34 87 907	58 77 289					125	-6,5	-14,5			8
FLB 753 <sup>4</sup>	34 86 680	58 81 029										
FLB 756 <sup>4</sup>	34 87 845	58 78 233			x		n/b	n/b	n/b	n/b	n/b	n/b
FLB 757 <sup>4</sup>	34 88 555	58 78 200	x	x			125	-8	-16			8
FLB 758 <sup>4</sup>	34 90 184	58 77 557					125	-7	-15			8
FLB 761 <sup>4</sup>	34 86 800	58 81 898										
FLB 762 <sup>4</sup>	34 86 969	58 80 938					125	-8	-16			8

Anhang A 3: Stammdaten des Grundwassermessnetzes der Freien Hansestadt Bremen

- 1: Bremerhaven
- 2: Bremen-Nord
- 3: Rechts der Weser
- 4: Links der Weser

ANHANG A-3 Stammdaten des Grundwassermessnetzes der Freien Hansestadt Bremen

Name	Rechtswert	Hochwert	Messstelle zur Erfassung von Daten für:				Durchmesser Filterrohr mm	Oberkante		Unterkante		Filterlänge m
			WRRL	Trend	Basis	Noistand		Nitrat	Filter m u GOK	Filter m u GOK		
FLB 763 <sup>4</sup>	34 82 577	58 80 825				x		125	-5	-11	6	
FLB 8 <sup>1</sup>	34 72 909	59 39 563				x		125	-6,94	-12,94	6	
FLB 9 <sup>1</sup>	34 73 451	59 38 801	x		x	x		150	-18,65	-32,7	14,05	
G 1 <sup>3</sup>	34 88 419	58 84 700				x		125	-3,60	-26,6	23	
G 2 <sup>4</sup>	34 88 876	58 77 502	x		x			125	-3,80	-17,80	14	
G 3 <sup>3</sup>	34 95 632	58 89 187				x		125	-2,9	-27,9	25	
G 4 <sup>3</sup>	34 77 140	58 90 323				x		125	5	22	17	
G 5 <sup>3</sup>	34 86 431	58 89 616				x		125	-3	-10	7	
G 6 <sup>3</sup>	34 81 967	58 89 225	x		x			125	-0,3	-17,3	17	
GMS 134 <sup>2</sup>	34 72 733	58 94 653		x				n/b	n/b	n/b	n/b	
GMS 210 <sup>3</sup>	34 81 465	58 89 651	x					n/b	-5,65	-10,65	5	
GMS 226 <sup>3</sup>	34 94 724	58 85 328	x					125	-1	-14	13	

Anhang A 3: Stammdaten des Grundwassermessnetzes der Freien Hansestadt Bremen

- 1: Bremerhaven
- 2: Bremen-Nord
- 3: Rechts der Weser
- 4: Links der Weser



## Anhang A 5

Wirkstoff	Geringfügigkeits- schwellenwert g/l <sup>1</sup>	Bestimmungsgrenze [µg/l]	Anzahl der Über- schreitungen	davon > 0,1 µg/l	häufig betroffene Brunnen
<b>Disulfoton<sup>2</sup></b>	0,004	0,03/0,07	0	0	
<b>Diuron</b>	0,05	0,002	47	39	
Diuron (1986-2000)			3	2	FLB 378
Diuron (2001-2005)			5	2	FLB 378
Diuron (2006-2011)			39	35	FLB 378, 110, 436 und 433D
<b>Fenthion<sup>2</sup></b>	0,01	0,03/0,07	0		
<b>Hexachlorbenzol</b>	0,01	0,001/0,05	4	0	FLB 6 2003 - 2009
<b>Hexazinon</b>	0,07	0,02/0,07	0		
<b>Mevinphos<sup>2</sup></b>	0,0002	0,02/0,07	0		
<b>Trichlorfon<sup>2</sup></b>	0,002	0,03/0,07	0		
<b>Trifluralin</b>	0,03	0,002/0,07	0		

*A-5: Auftreten von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen  
mit Geringfügigkeitsschwellenwerten < 0,1 µg/l*

<sup>1</sup>: Kriterien aus LAWA 2004, Anhang 2 Teil 3)

<sup>2</sup>: Die Bestimmungsgrenze liegt zeitweilig oder immer über dem Schwellenwert der Substanz.  
Die niedrigen Schwellenwerte sind auf ökotoxikologische Kriterien zurückzuführen

## Anhang A 6-1

Stoff / Parameter	Anwendungs- bzw. Verwendungsbereich Eigenschaften	Weiterer Anwendungsbereich Bemerkungen
<b>Phenazon</b>	Analgetikum	Antipyretika; Synonym: „Antipyrin“
<b>Propylphenazon</b>	Analgetikum	Auch in Kombination mit Hormonpräparaten
<b>Carbamazepin</b>	Analgetikum	Antiepileptikum
<b>Mefaminsäure</b>	Analgetikum	Antipyretikum, Antiphlogistikum
<b>Naproxen</b>	Analgetikum	Antiphlogistikum, Antirheumatikum
<b>Salicylsäure</b>	Prostaglandinsynthesehemmer	
<b>Ibuprofen</b>	Prostaglandinsynthesehemmer, NSAR <sup>1</sup>	Besonders zur Schmerztherapie von Kindern
<b>Ketoprofen</b>	Prostaglandinsynthesehemmer, NSAR	
<b>Fenoprofen</b>	Prostaglandinsynthesehemmer, NSAR	
<b>Diclofenac</b>	Prostaglandinsynthesehemmer, NSAR	Oft als Bestandteil von Salben
<b>Indometacin</b>	Prostaglandinsynthesehemmer, NSAR	Analgetikum bei besonderen Kopfschmerzerscheinungen
<b>Bezafibrat</b>	Antilipidämika	Auch bei Juckreiz und Nesselfieber
<b>Etofyllinclofibrat</b>	Antilipidämika	
<b>Clofibrinsäure</b>	Kein Wirkstoff	Metabolit von drei Antilipidämika
<b>Fenbufen</b>	Antiphlogistikum	
<b>Mefenaminsäure</b>	Antiphlogistikum	
<b>Chloramphenicol</b>	Antibiotikum	
<b>Sulfamethoxazol</b>	Antibiotikum	
<b>Trimethoprim</b>	Antibiotikum	
<b>Sulfadimidin</b>	Antibiotikum	Auch als Antibiotikum in der Veterinär-Medizin
<b>Östradiol</b>	Hormonpräparat; Östrogen	
<b>Östron</b>	Hormonpräparat; Östrogen	
<b>Norethindron</b>	Hormonpräparat; Gestagen	
<b>Norethindronacetat</b>	Hormonpräparat; Gestagen	Ein Metabolit von Norethindron, der auch als Wirkstoff eingesetzt wird
<b>Äthinylostradiol</b>	Hormonpräparat;	Kontrazeptive („Antibabypille“)
<b>Mestronal</b>	Hormonpräparat; synthetisches Östrogen	

## Anhang A6-1: Sondermessprogramm - Arzneimittel

<sup>1</sup>: Nichtsteroidale Antirheumatika

## Anhang A 6-2

Stoff / Parameter	Anwendungs- bzw. Verwendungsbereich	Weiterer Anwendungsbereich
	Eigenschaften	Bemerkungen
<b>Bisphenol A</b>	Industriechemikalie	Aufgrund östrogenen Wirkung der Chemikalie auch Einstufung als Xenoöstrogen
<b>4-Hydroxyacetophenon</b>	Metabolit von Bisphenol A	Hauptmetaboliten von Bisphenol A; keine industriebezogenen Anwendung
<b>4-Hydroxybenzoesäure</b>	Metabolit von Bisphenol A	Hauptmetaboliten von Bisphenol A; keine industriebezogenen Anwendung
<b>HHCB</b>	Industriechemikalie; Polycyclische Moschus-Verbindung	
<b>AHTN</b>	Industriechemikalie; Polycyclische Moschus-Verbindung	
<b>Moschus-Ambrette</b>	Industriechemikalie; Nitro-Moschus-Verbindung	
<b>Moschus-Xylol</b>	Industriechemikalie; Nitro-Moschus-Verbindung	
<b>Moschus-Keton</b>	Industriechemikalie; Nitro-Moschus-Verbindung	
<b>4-iso-Nonylphenol</b>	Industriechemikalie; Alkylphenole	
<b>Mono-Ethoxylate</b>	Industriechemikalie; Alkylphenole	
<b>Di-Ethoxylate</b>	Industriechemikalie; Alkylphenole	

Anhang A6-2: Sondermessprogramm- Industriechemikalien

## Anhang A 7-1

Parameter	Anzahl Messungen	Messzeitraum	Bestimmungsgrenzen (ng/L)
Acenaphthen	602	1997-2011	10
Acenaphthylen	605	1997-2011	10
Anthracen	602	1997-2011	2
Benzo(a)-anthracen	605	1997-2011	2
Benzo(a)pyren	1061	1986-1993	0,75
		1994-1995	20
		1997-2011	1
Benzo-(b)-fluoranthen	1061	1986-1997	1,5
		1998-2011	2
Benzo(ghi)perylene	1022	1986-1993	3
		1995	20
		1997-2011	5
Benzo(k)fluoranthen	1059	1986-1993	0,15
		1994-1995	10
		1997-2011	1
Chrysen	560	2001-2011	2
Dibenz-(ah)anthracen	605	1997-2011	2
Fluoranthen	1056	1986-1993	15
		1994-1995	20
		1997-2011	10
Fluoren	605	1997-2011	10
Indeno-(1,2,3cd)-pyren	1059	1986-2011	3
		1994-1995	20
		1997-2011	10
Naphthalin	560	2001-2011	10
Phenanthren	605	1997-2011	5
Pyren	603	1997-2011	5

A 7 1: Bestimmungsgrenzen und Parameterumfangs für PAK

## Anhang A 7-2

	1,2,3-Tri- methyl- benzol	1,2,4-Tri- methyl- benzol	1,3,5-Tri- methyl- benzol	Anilin	Benzol	Ethyl- benzol	Nitro- benzol	Toluol	Xylol
1986					10			10	10
1987-1990					1; 10a			1; 10	1; 10
1991				0,05	1; 10	1	0,05; 1	1	1; 10
1992/93					1	1		1	1
1994				2	0,2	0,5	1	0,5	0,5
1995				0,05	0,1	0,1	0,05; 0,1	0,1	0,1
1996					0,5	0,5			
1997					5	5		5	15
1999	0,1; 15			0,05	0,1; 5	0,1; 5	0,5; 0,05	0,1; 5	0,1; 15
2001	3	2	4	0,05	5	5	0,05	5	5
2003	15			0,05	5	5	0,05	5	5
2005	15			0,05	5	5	0,05	5	15
2007	0,1	0,1	0,1	0,25	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1
2009	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5; 0,05	0,5	0,5; 0,1
2011	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5; 1	0,5		0,5	0,5; 1

A 7 2: Bestimmungsgrenzen der BTEX sowie Anilin und Nitrobenzol über Messungszeitraum [ $\mu\text{g/L}$ ]

A: bei Angabe von zwei Werten, getrennt durch „;“ haben sich die Bestimmungsgrenzen innerhalb eines Messzeitraums geändert

## Anhang A 7-3

Jahre	Nr. 101	Nr. 138	Nr. 153	Nr. 180	Nr. 28	Nr. 52
1986-1993	3	1	1	1	5	3
1994-1995	50	50	50	50	50	50
1999-2011	5	2	5	2	5	5

A 7 3: Bestimmungsgrenzen der PCB [ $\text{ng/L}$ ]

## Anhang A 8

### Vorbemerkung:

Eine Einteilung in Wassertypen in Piper-Diagrammen (1944) erlaubt einen Überblick zur Grundwasserbeschaffenheit in Bremen. Es werden dieselben Klassen dargestellt, wie sie auch für die Geotechnische Planungskarte in Bremerhaven (Jensen et al., 2003) (Abb. A8-1) gewählt wurden.

Diese Darstellungsform verdeutlicht den Streubereich von Analysen eines Wassertyps und hilft, Ausreißer zu identifizieren. Bei korrekter Probenahme und Analyse wie auch Datenaufbereitung sind Rückschlüsse auf Prozesse wie Mischung von Wassertypen, Lösung und Fällung oder Ionenaustausch möglich.

Im Folgenden werden die Piperdiagramme aller Analysen von 1986-2011 für die Zeiträume 1986-1990, 1990-1994, 1995-1999, 2000-2005 und 2006-2011 dargestellt:

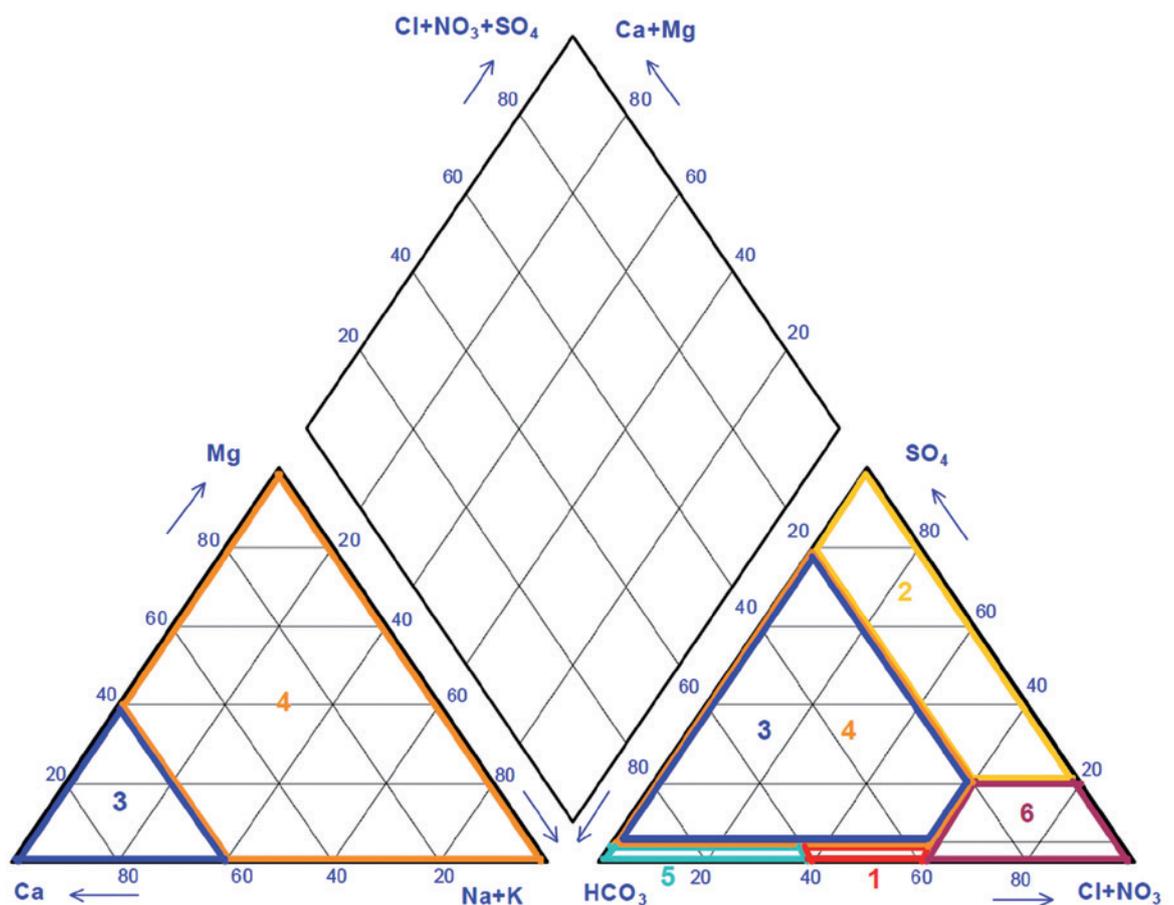
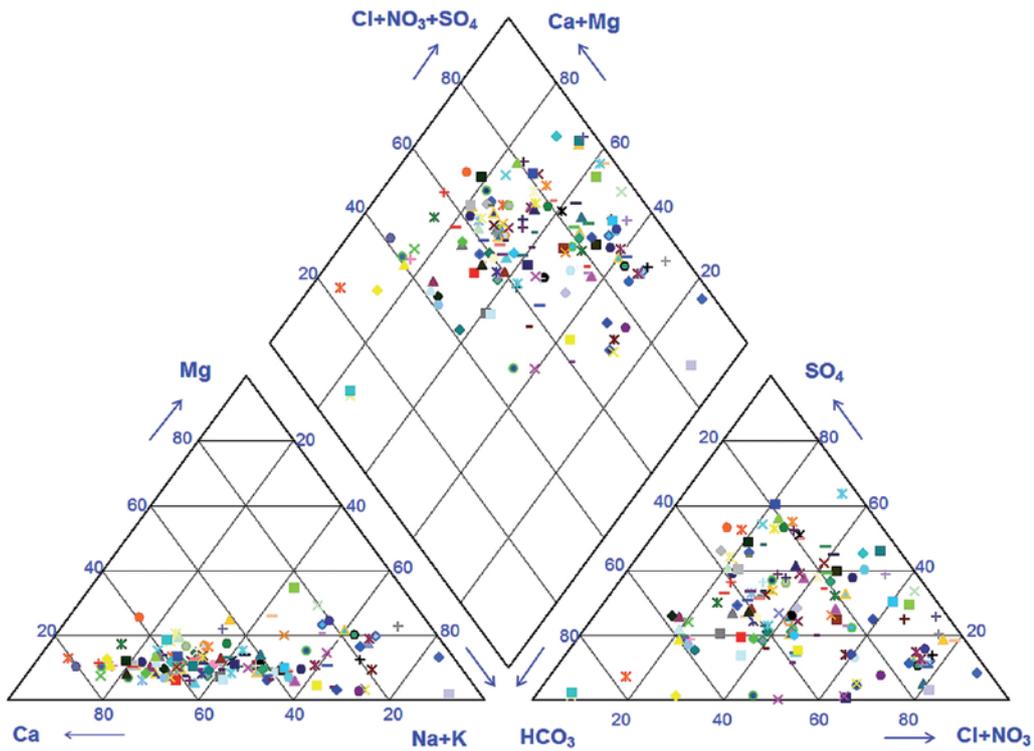
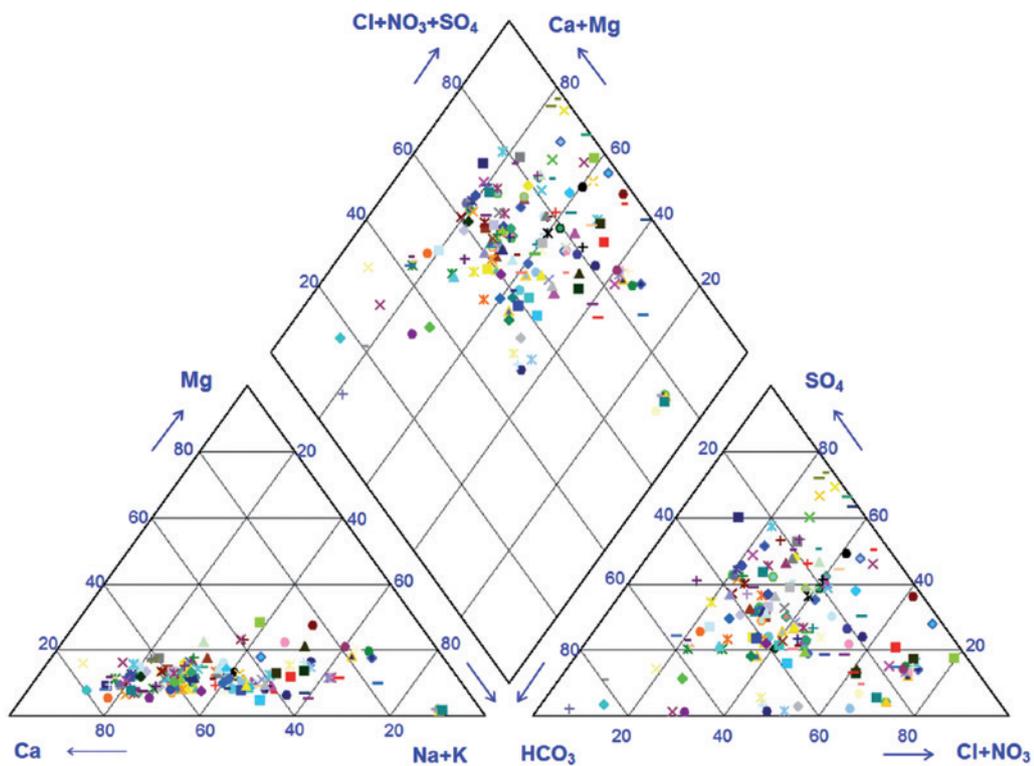


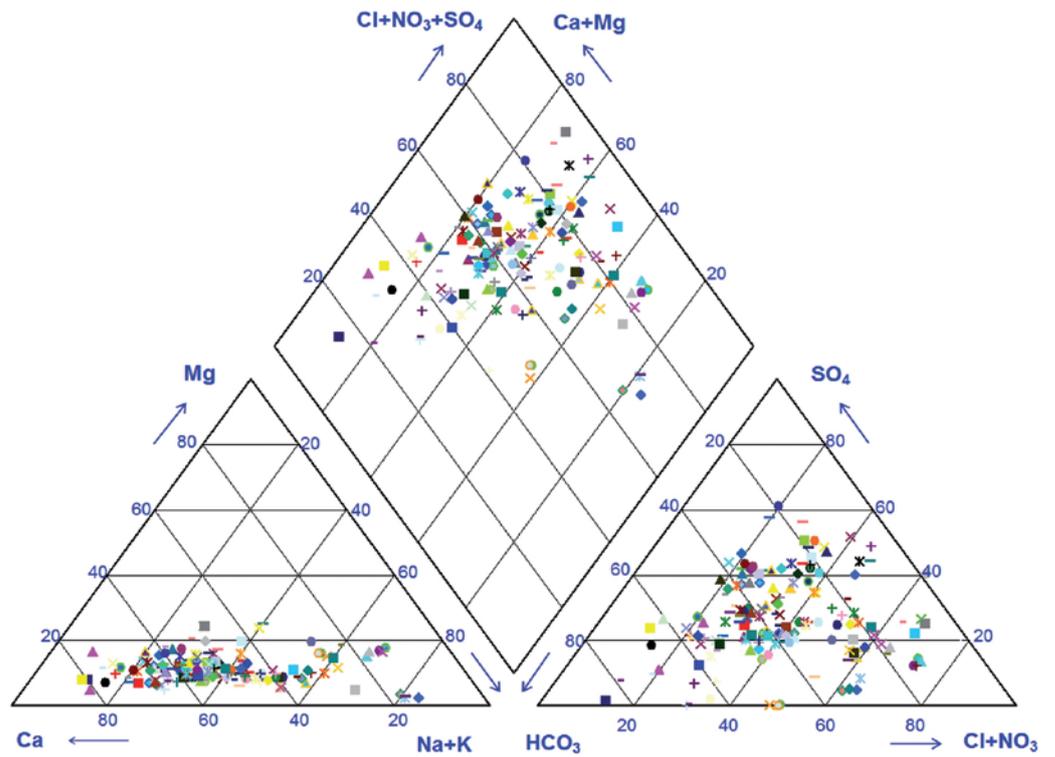
Abb. A8 1: Klassifizierung von Wassertypen nach Piper



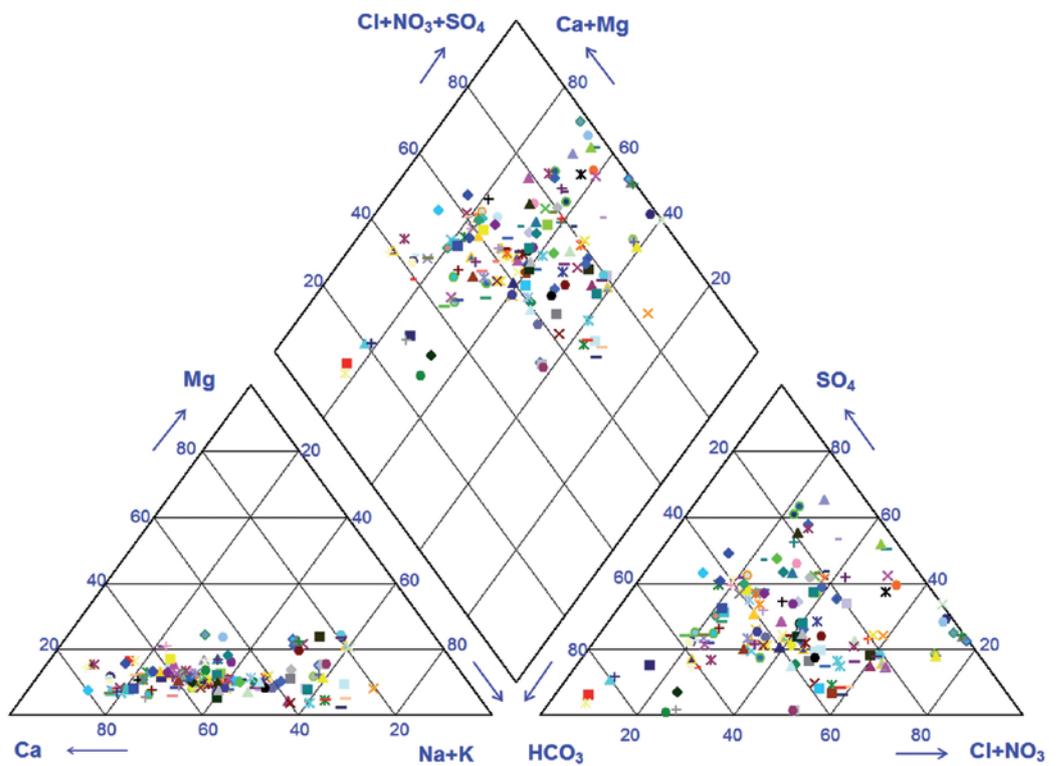
A 8-2: 1986-1990



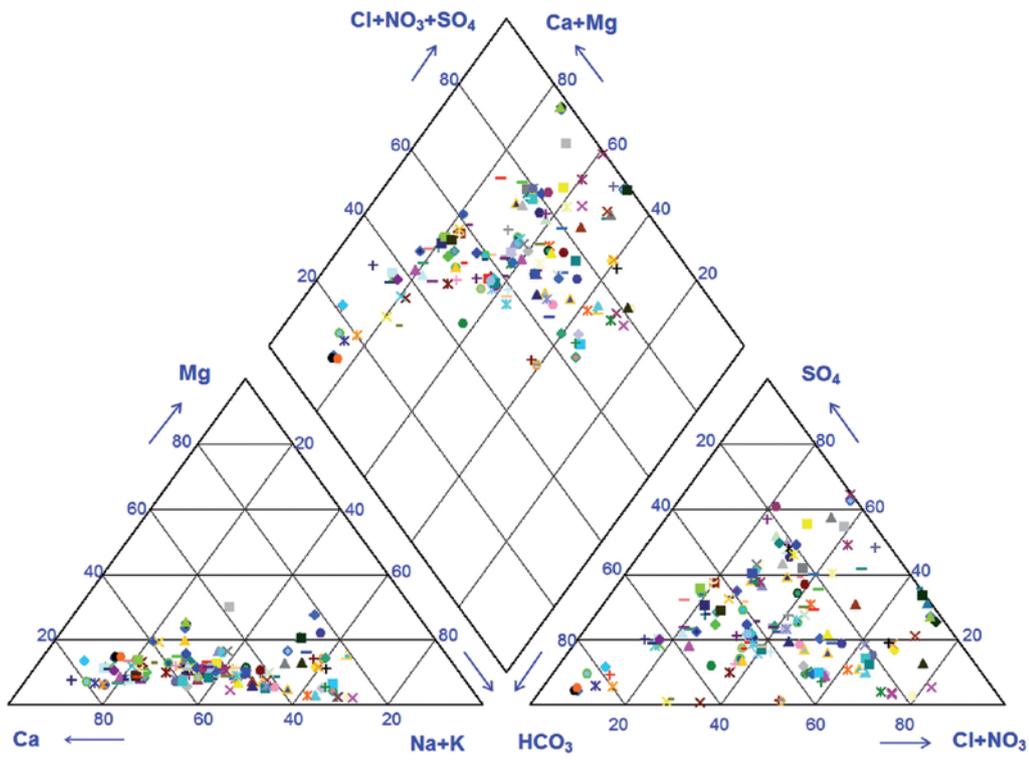
A 8-3: 1990-1994



A 8-4: 1995-1999



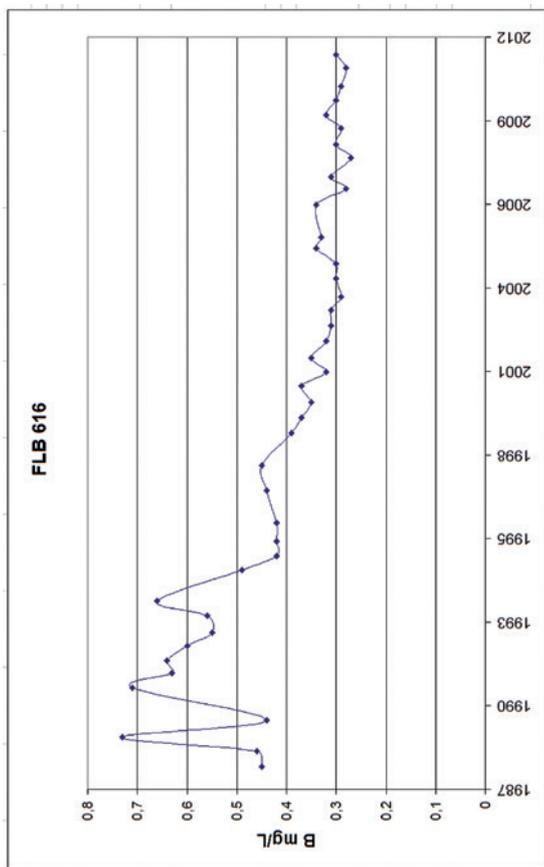
A 8-5: 2000-2005



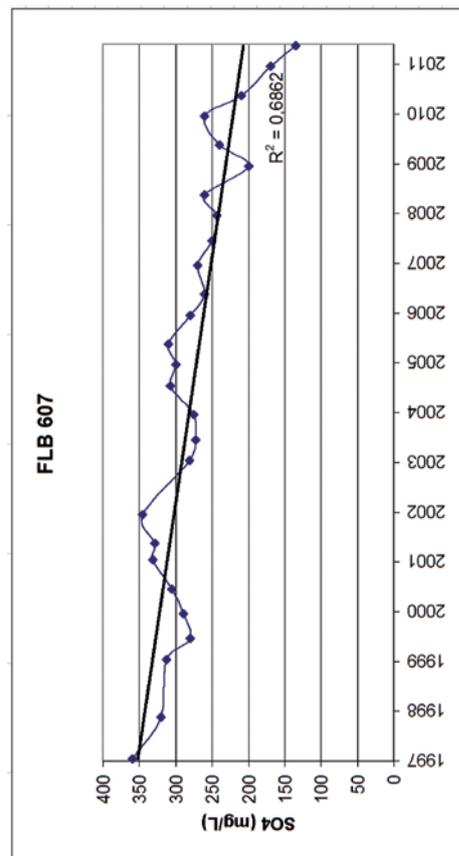
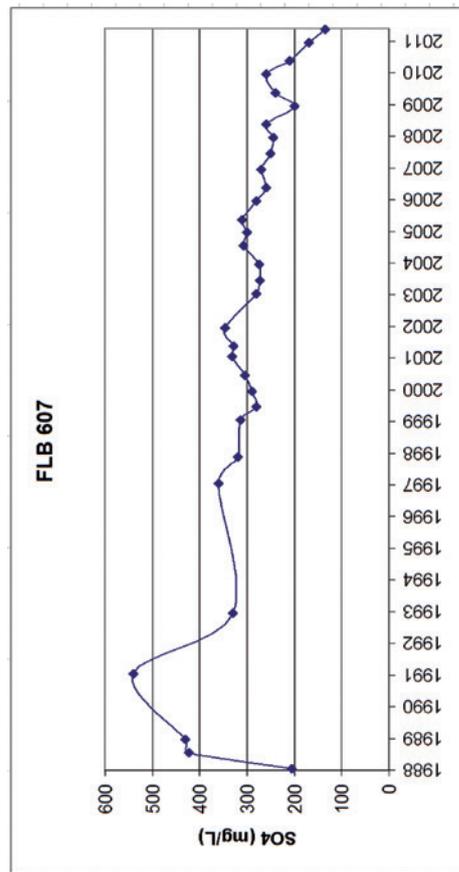
A 8-6: 2005-2011

Anhang A 9 A

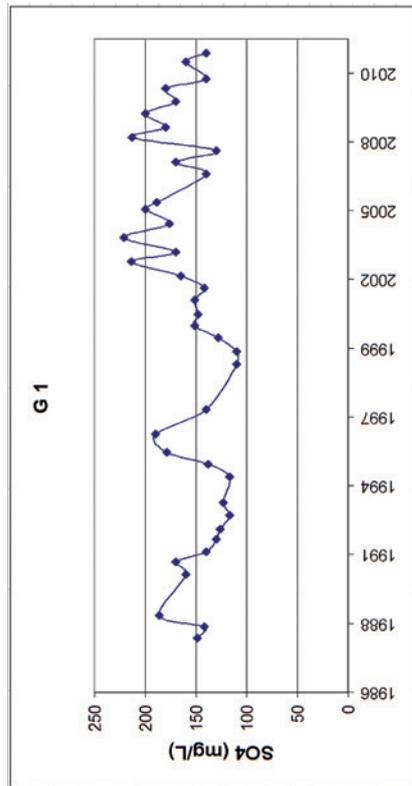
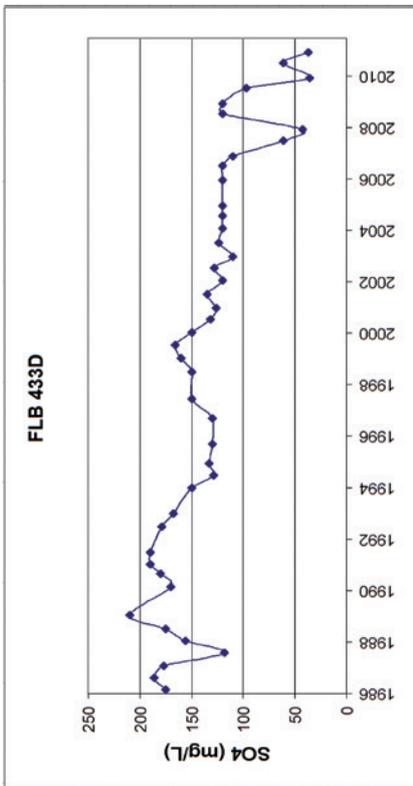
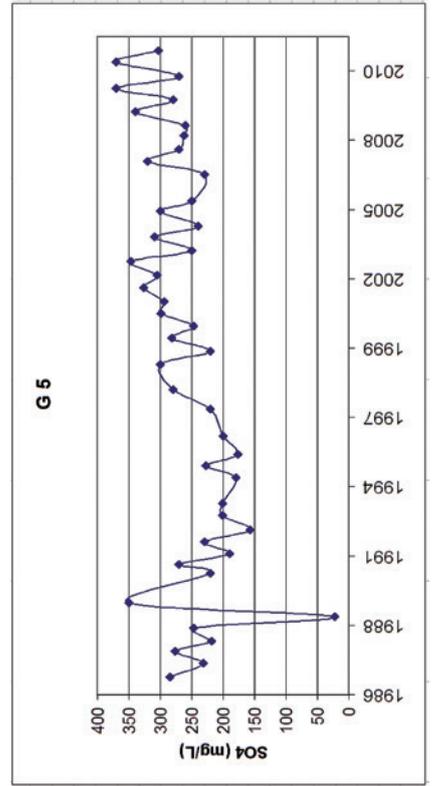
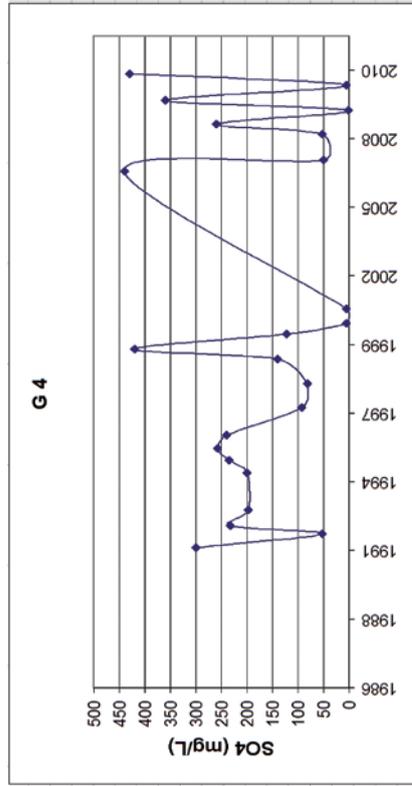
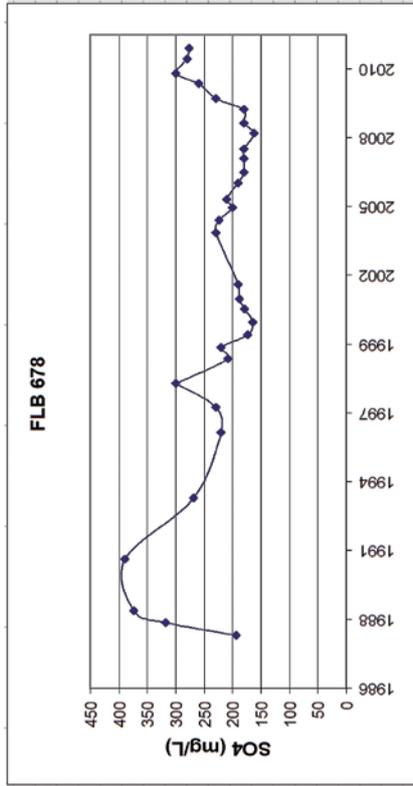
Bor



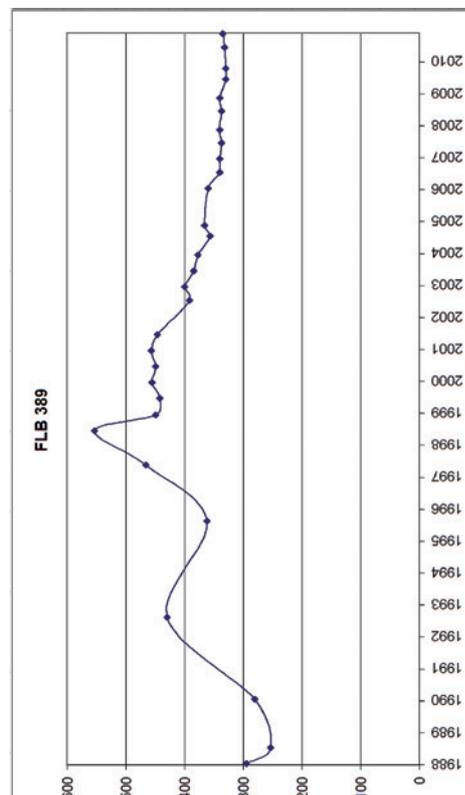
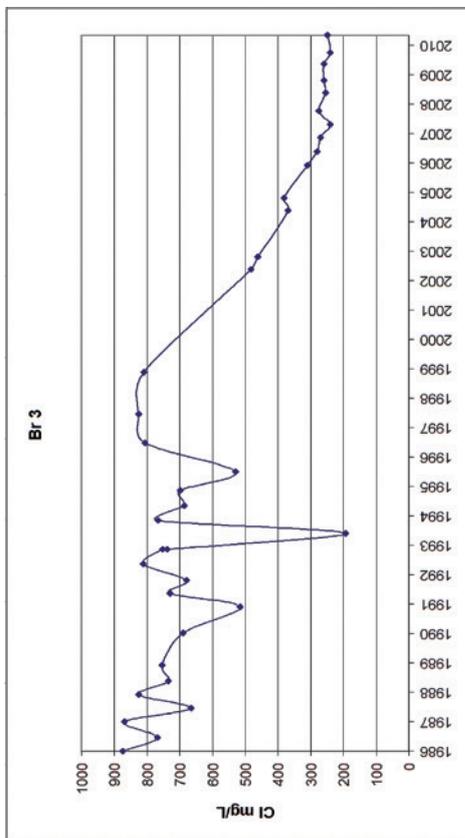
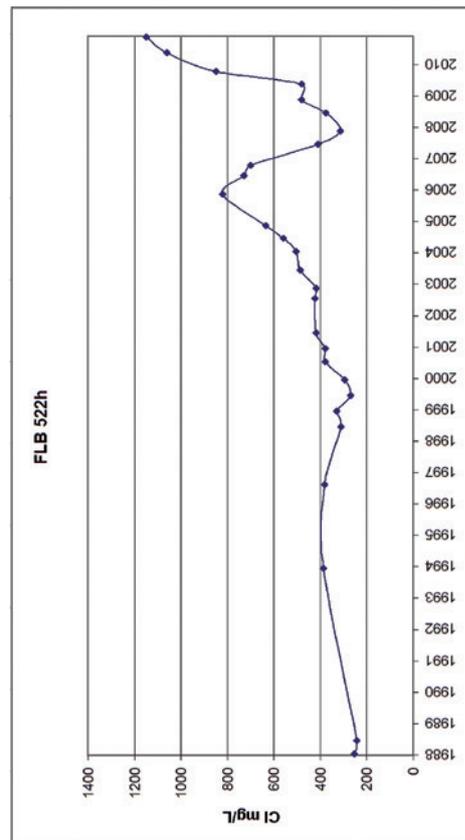
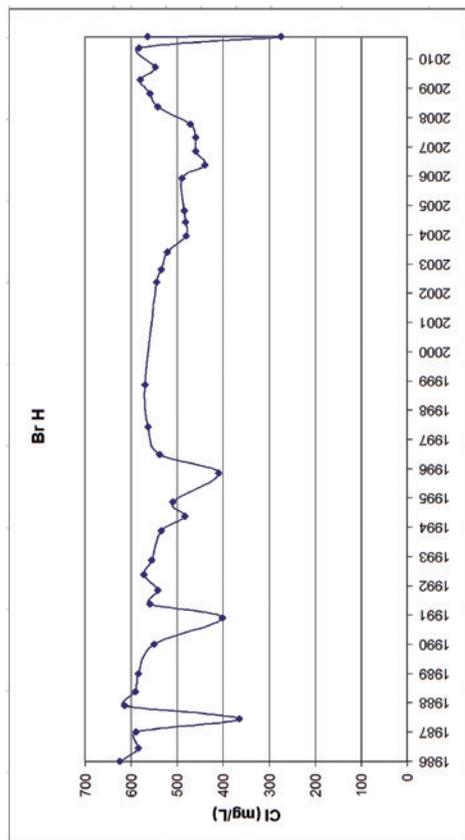
Sulfat



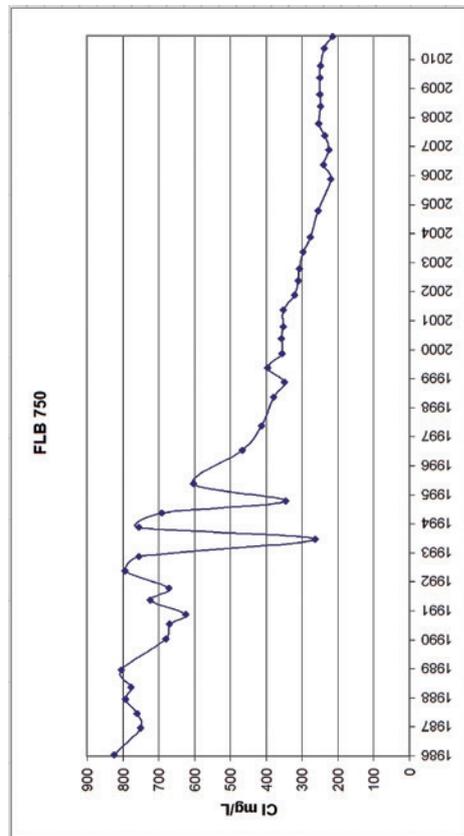
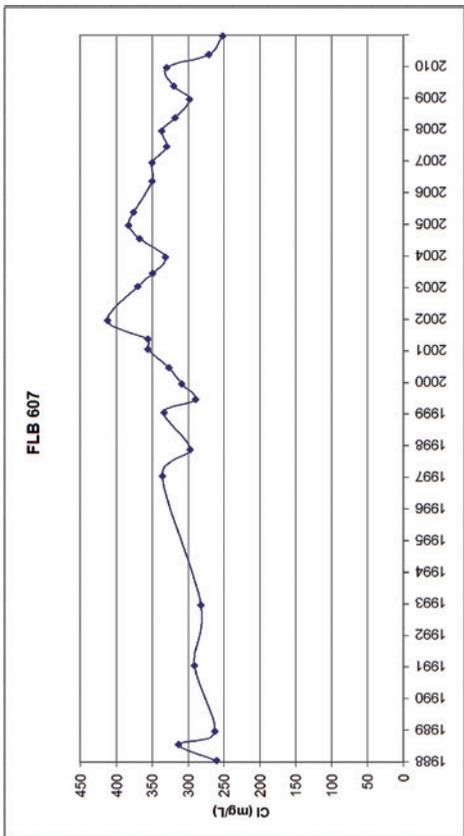
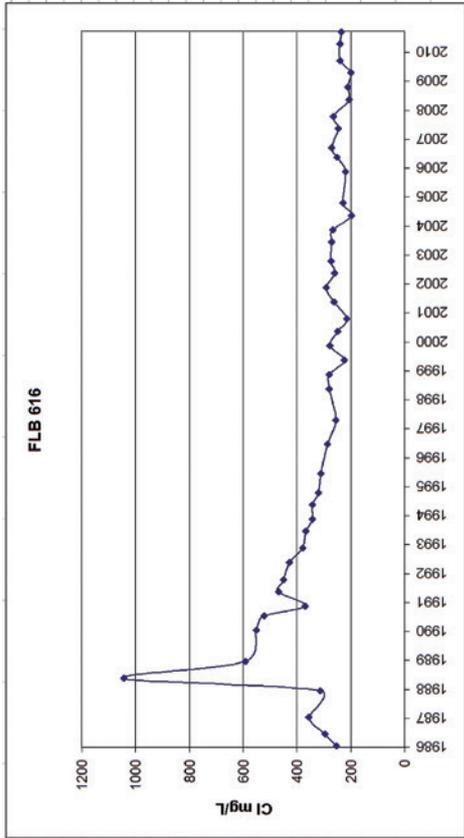
Sulfat



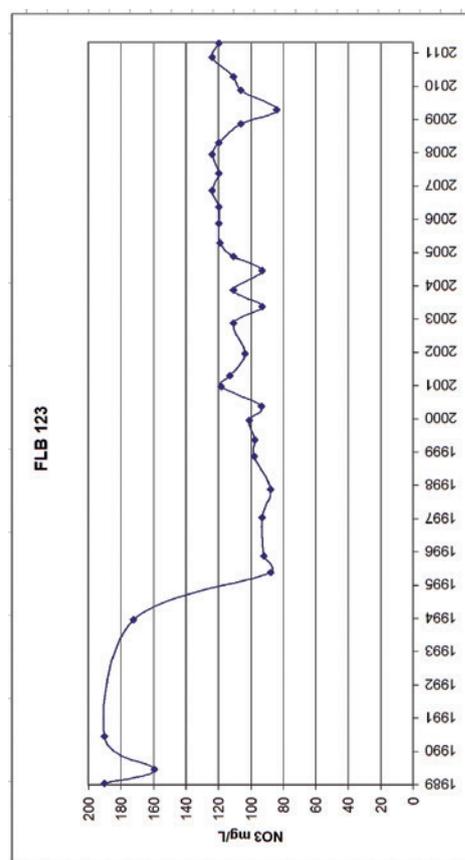
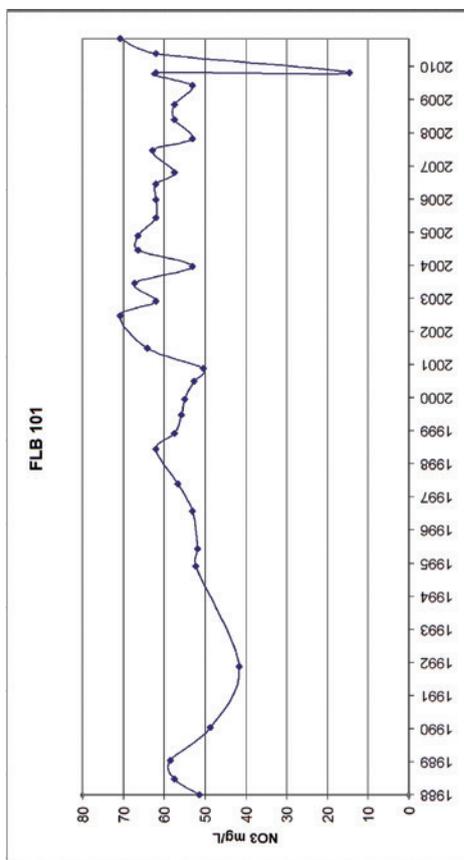
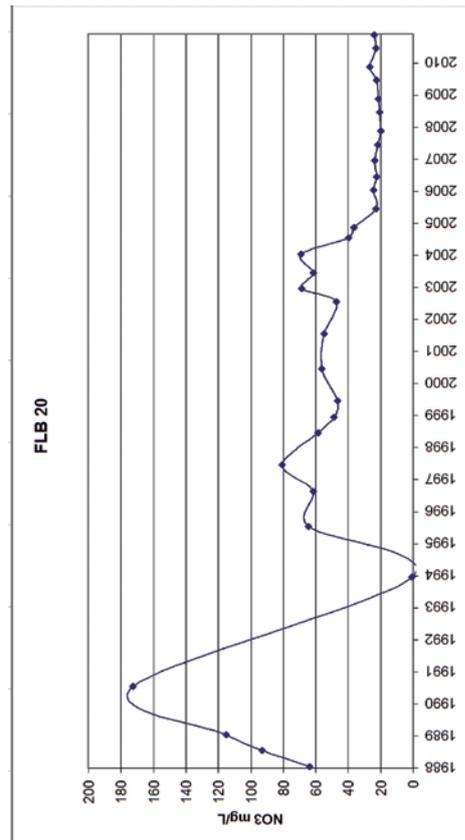
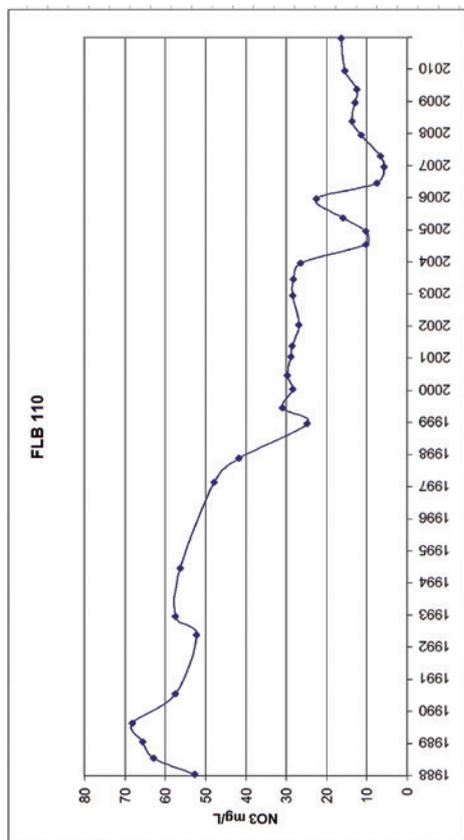
Chlorid



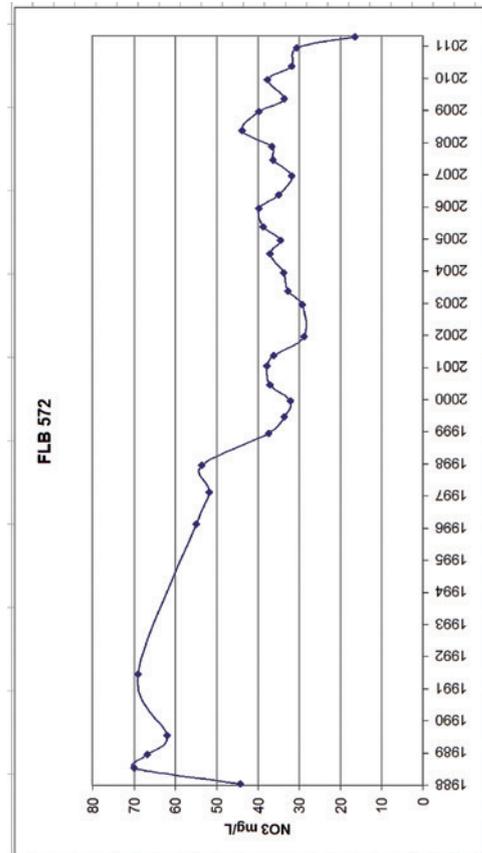
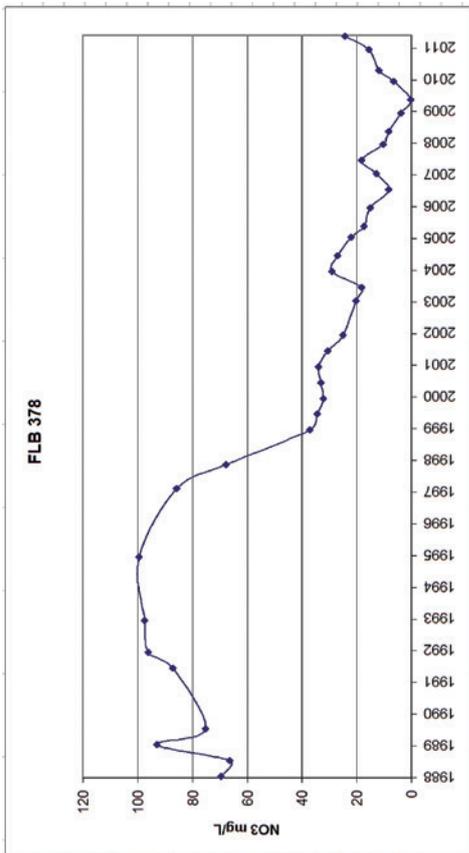
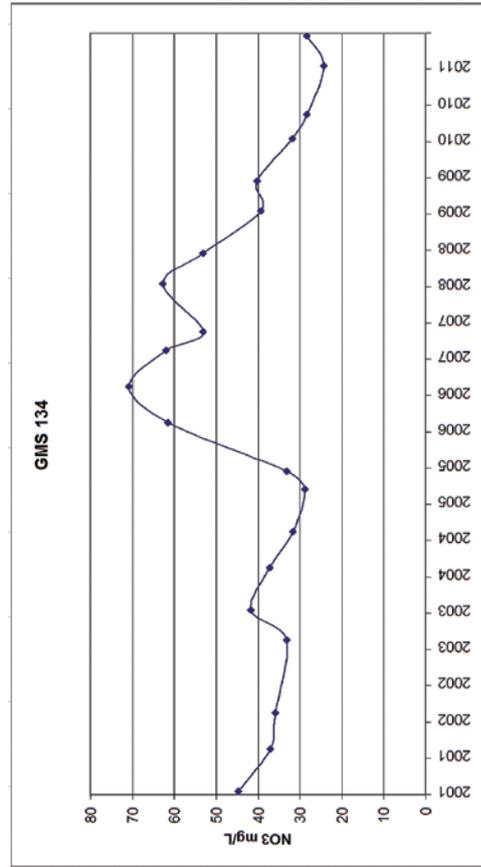
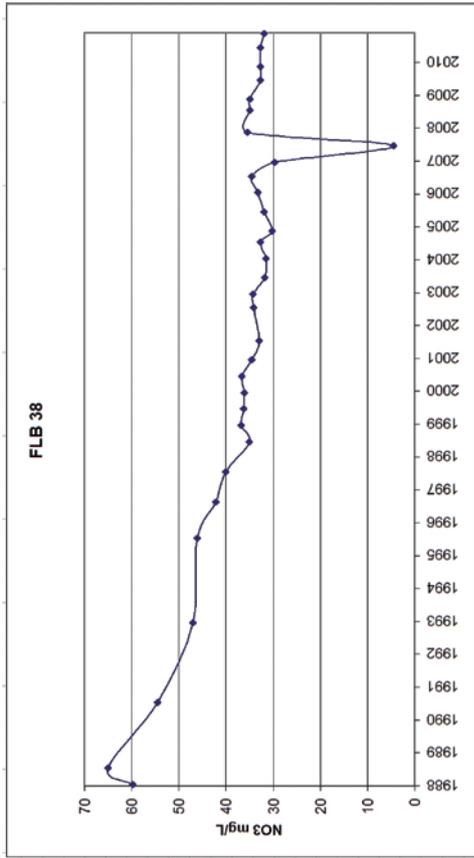
Chlorid



Nitrat

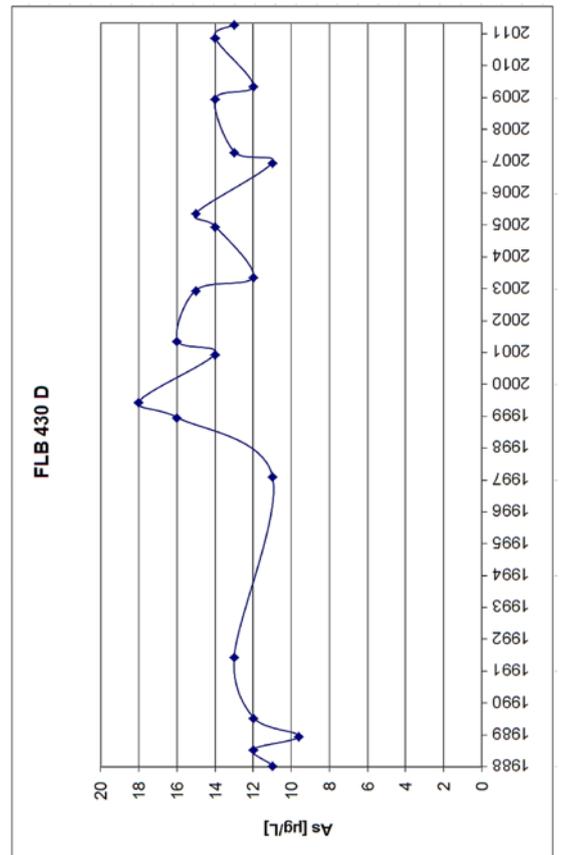
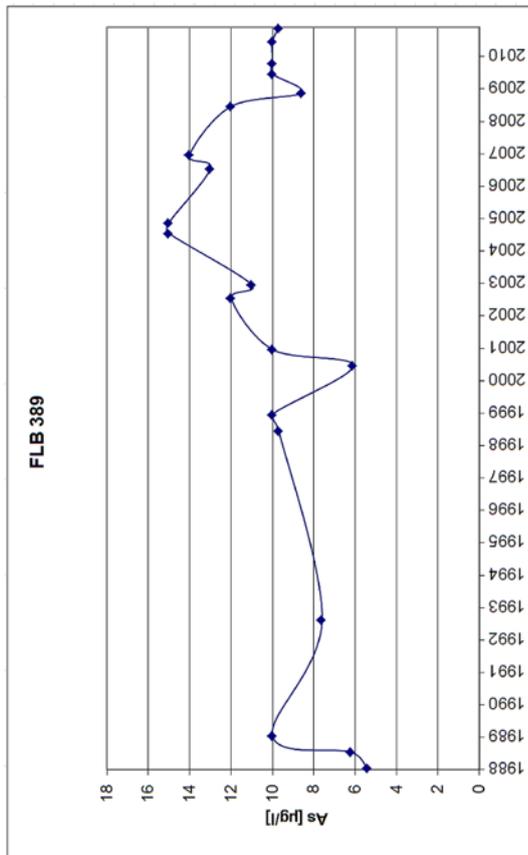
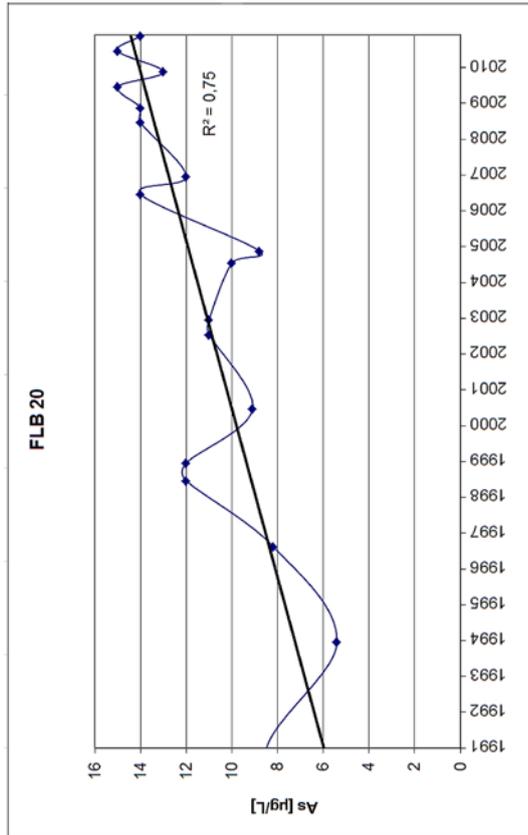


Nitrat

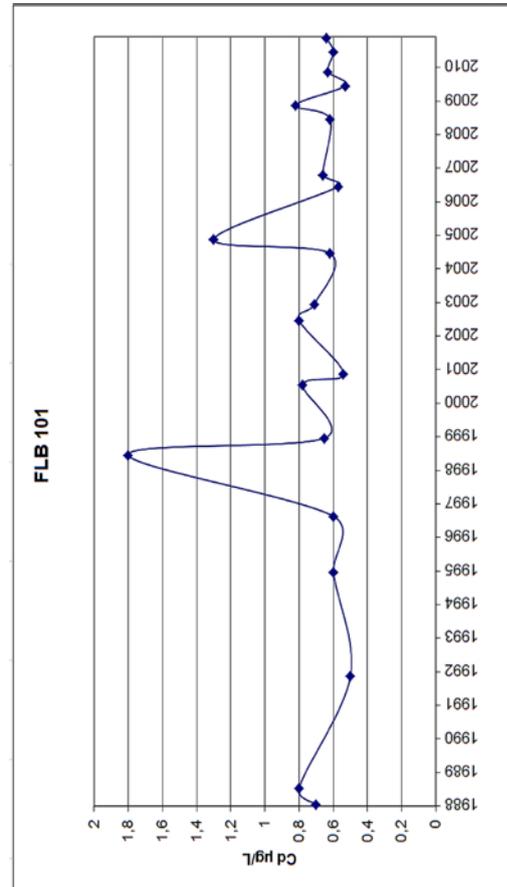
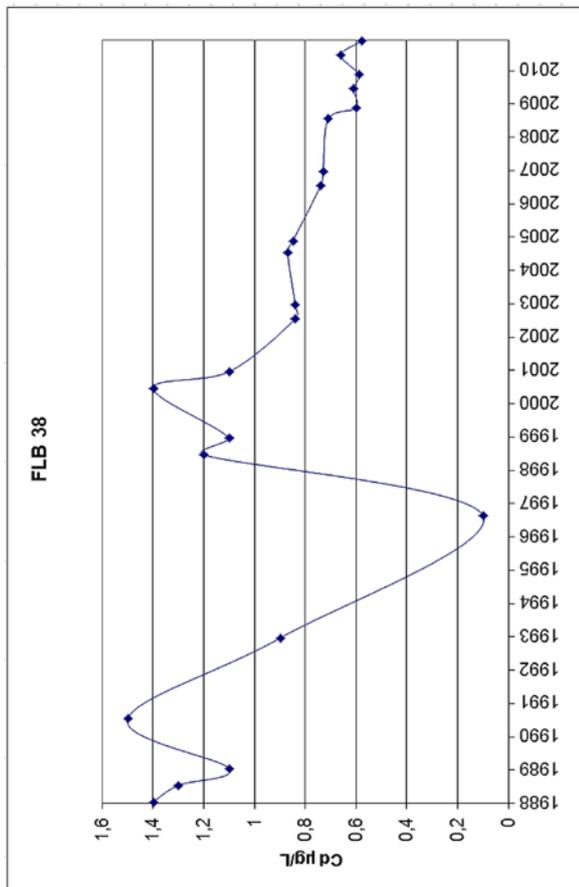
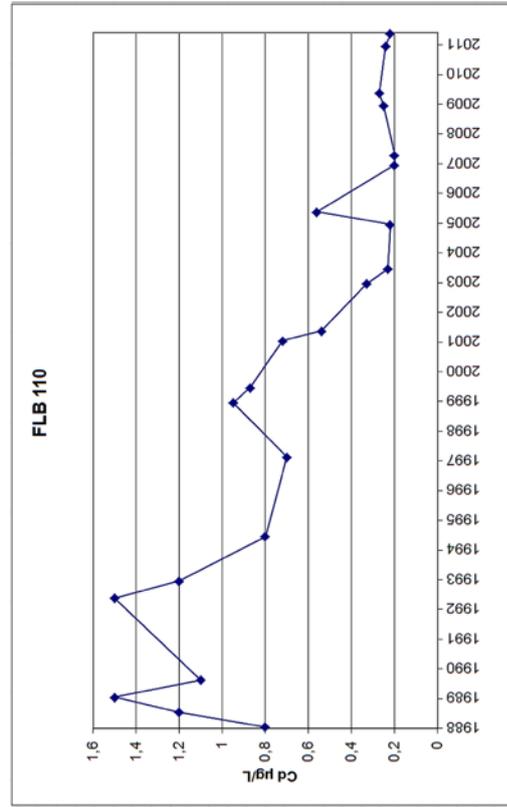
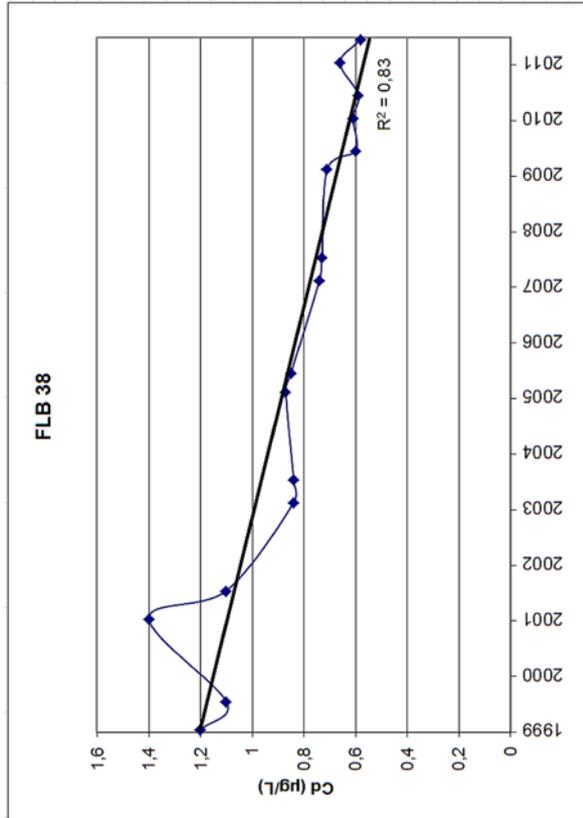


Anhang A 9 B

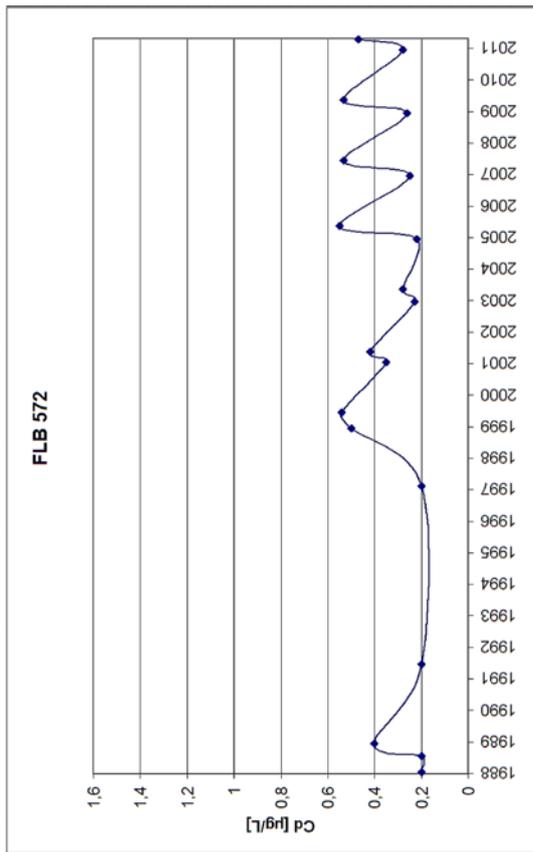
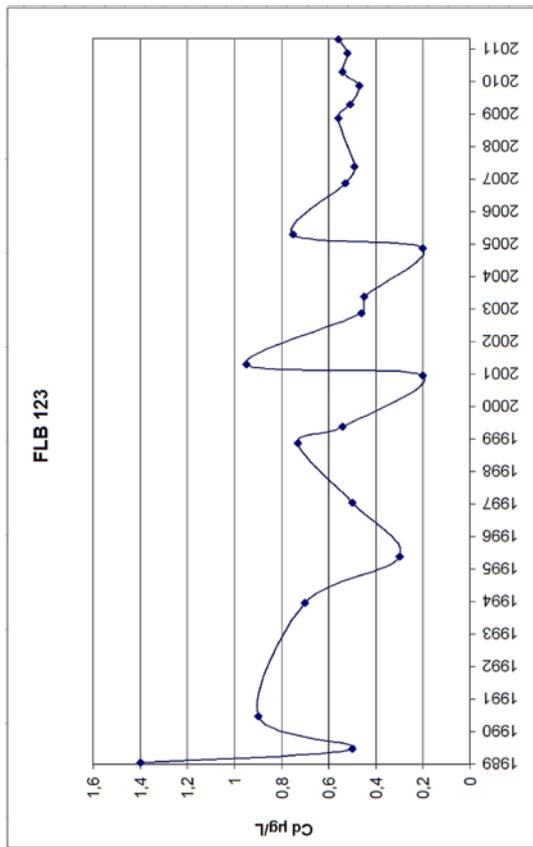
Arsen



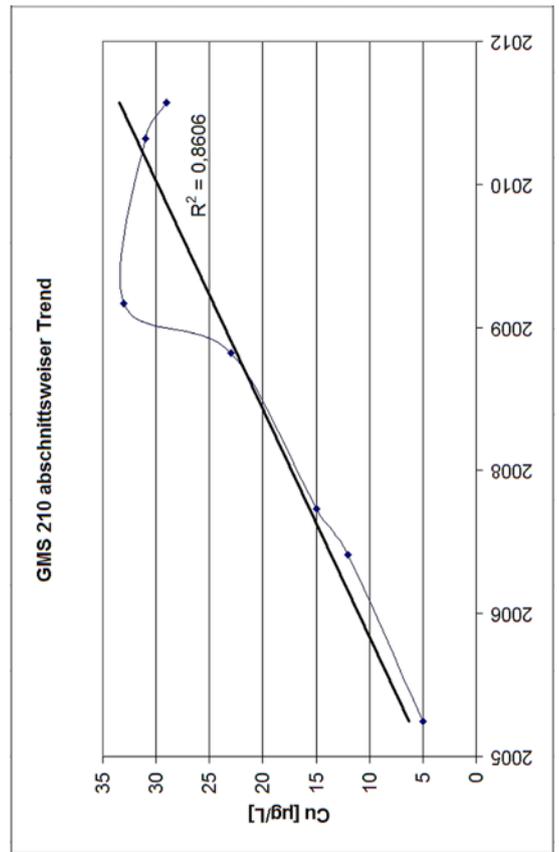
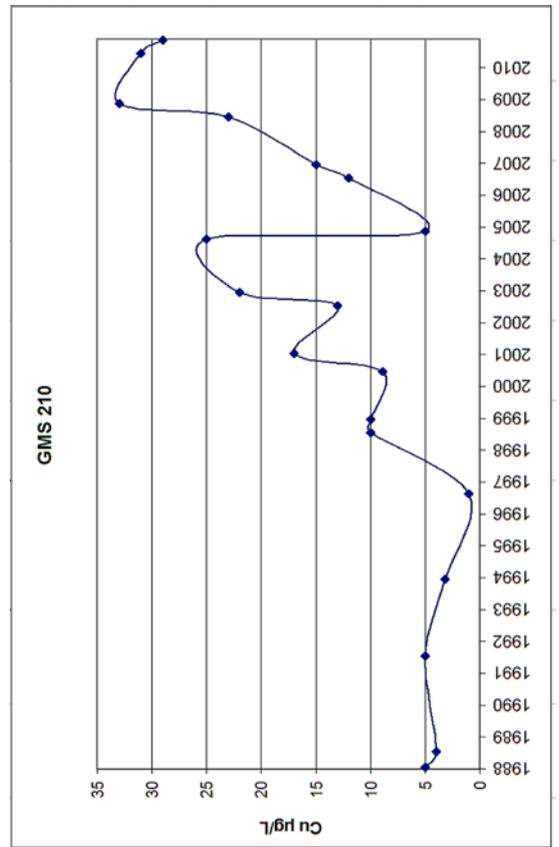
Cadmium



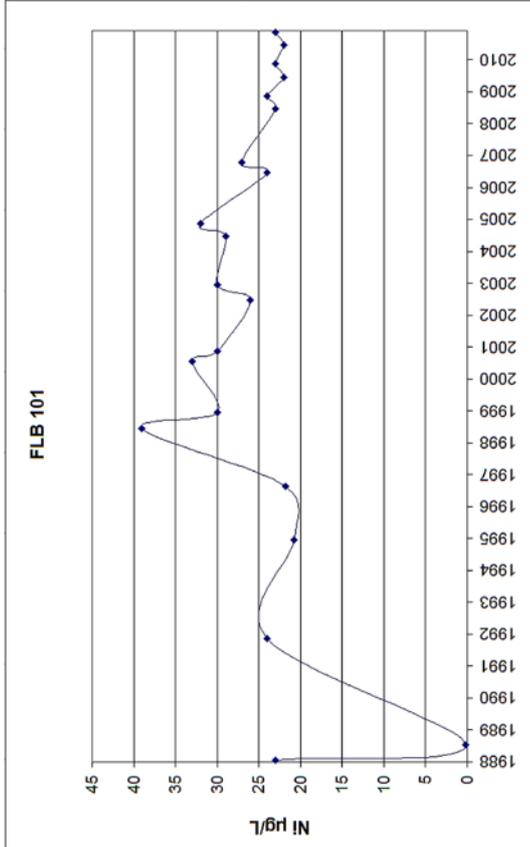
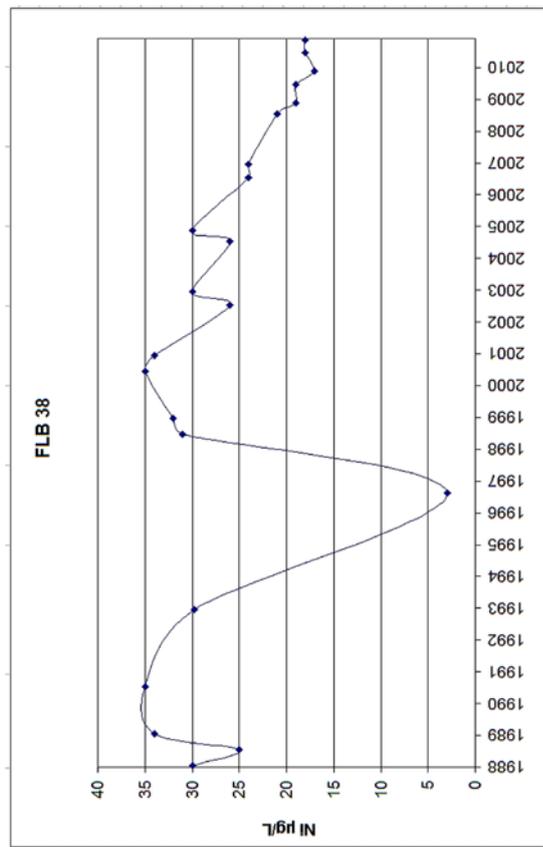
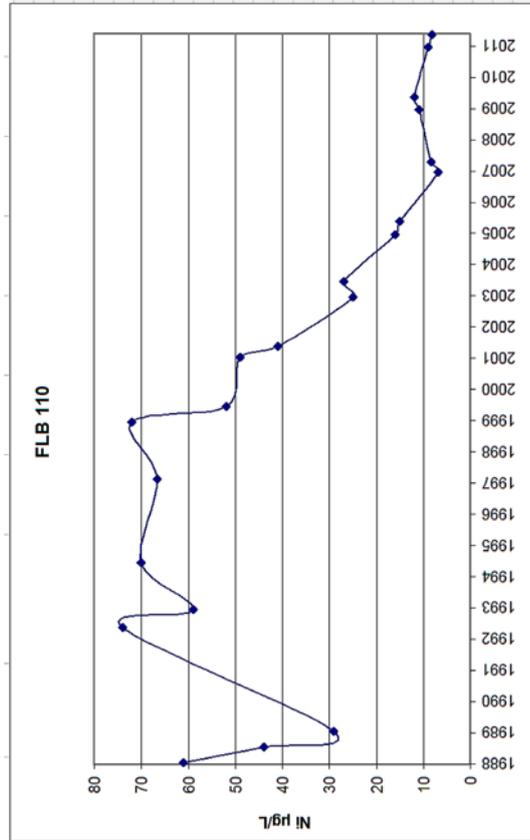
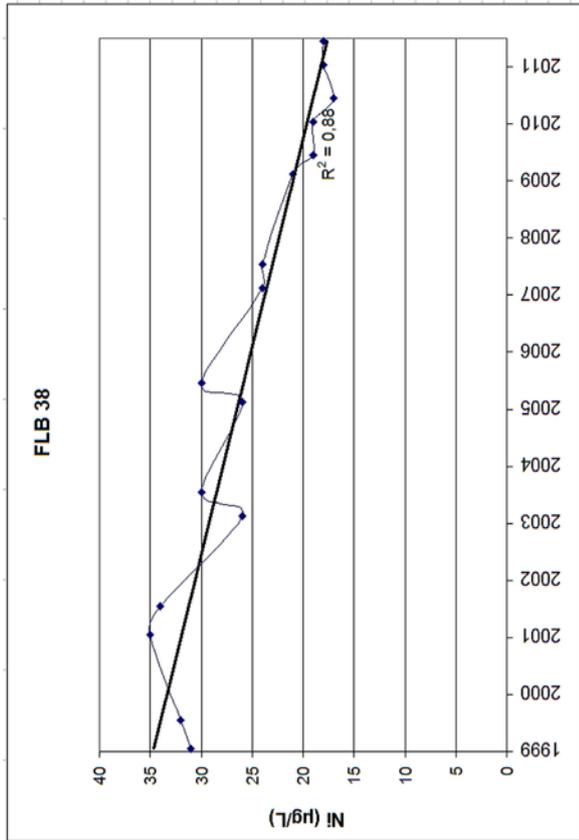
Cadmium



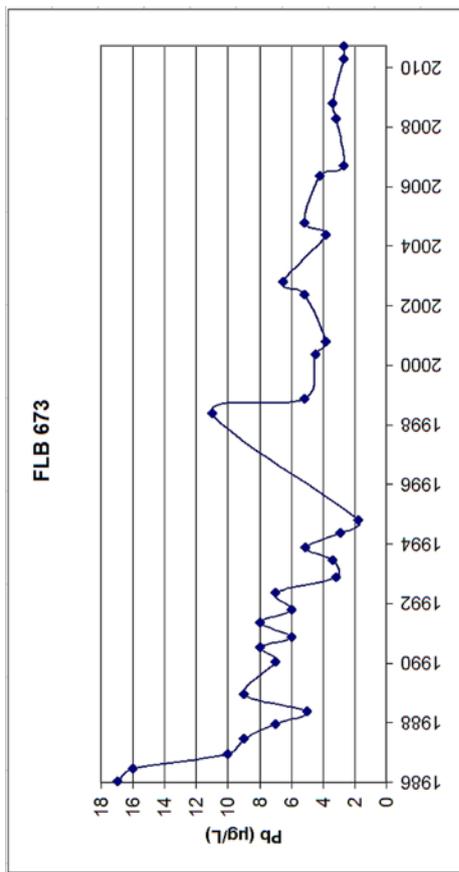
Kupfer



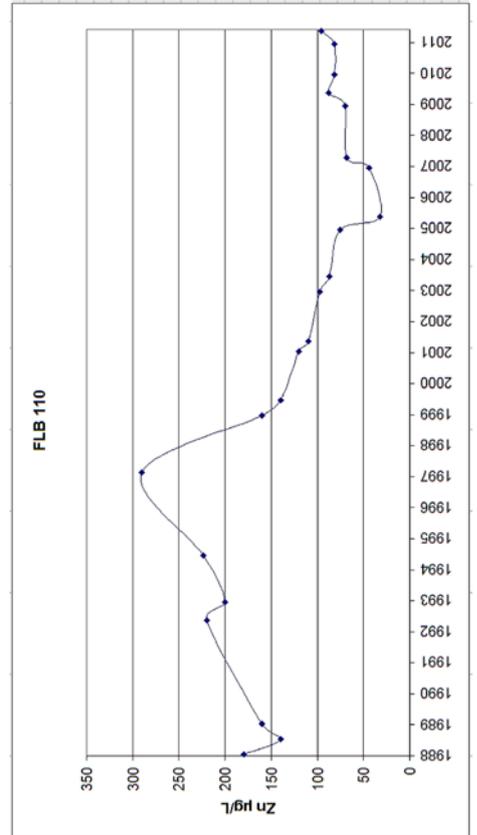
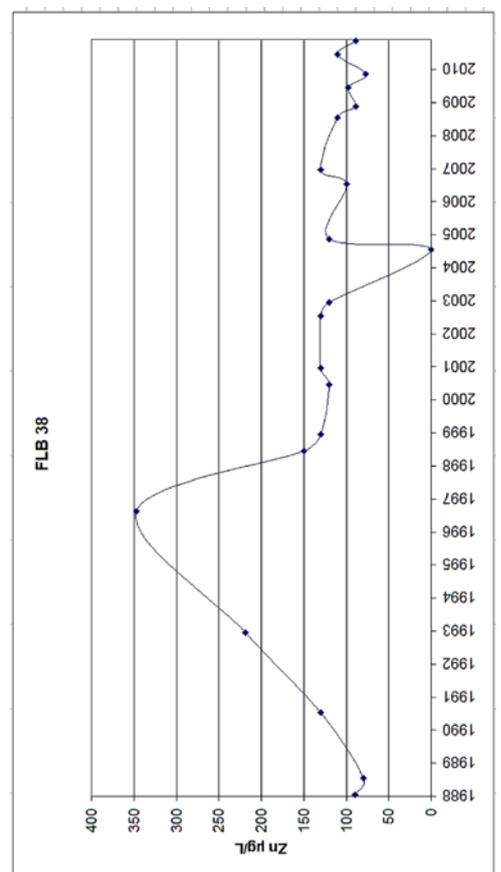
Nickel

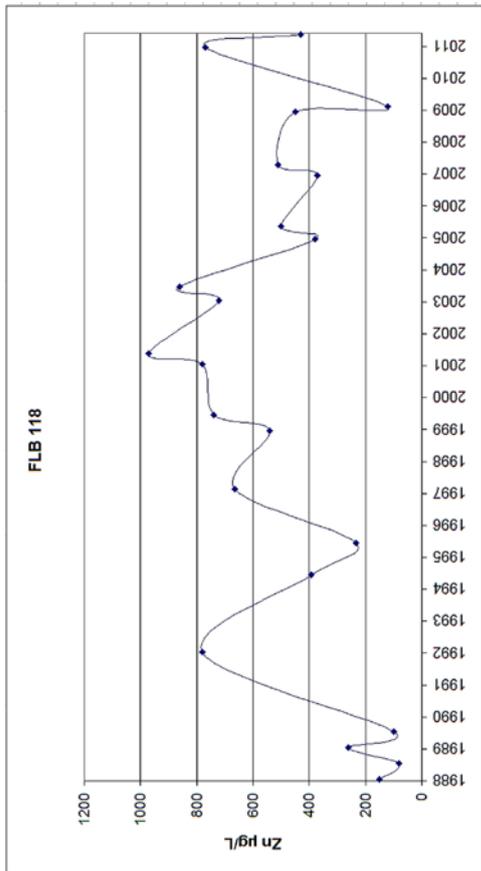
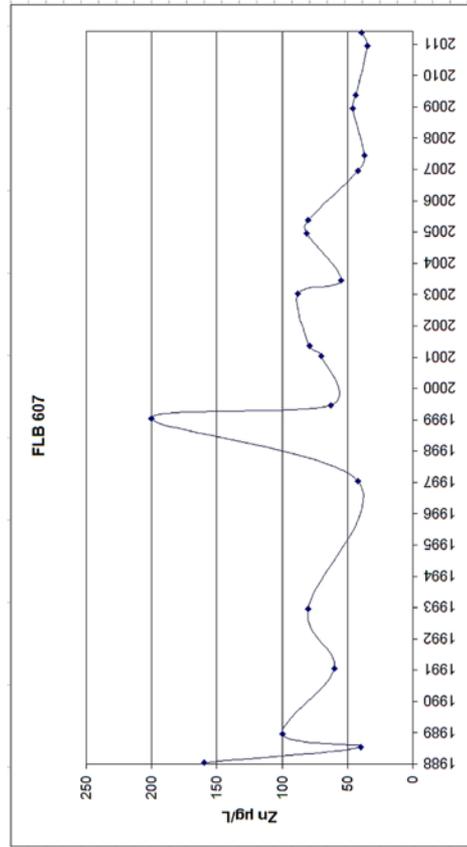
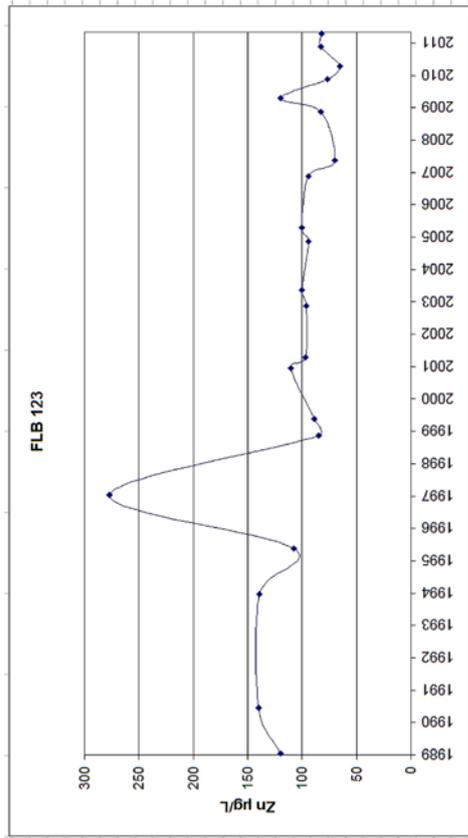


Blei



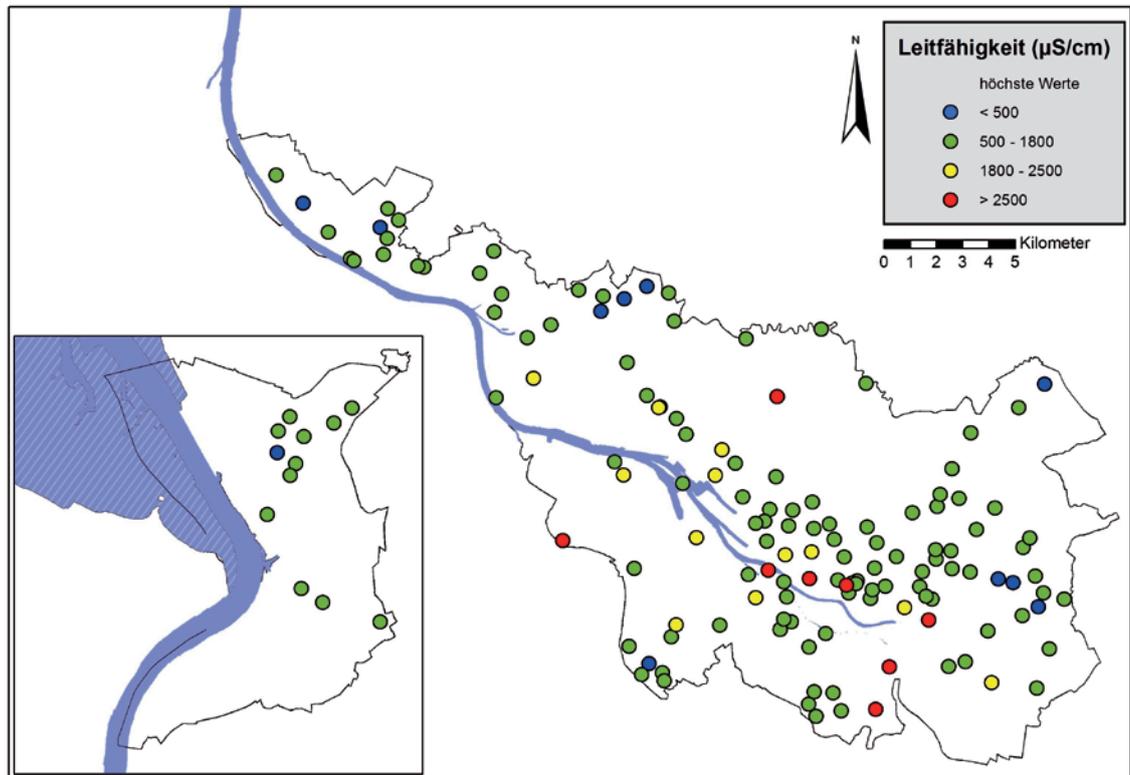
Zink



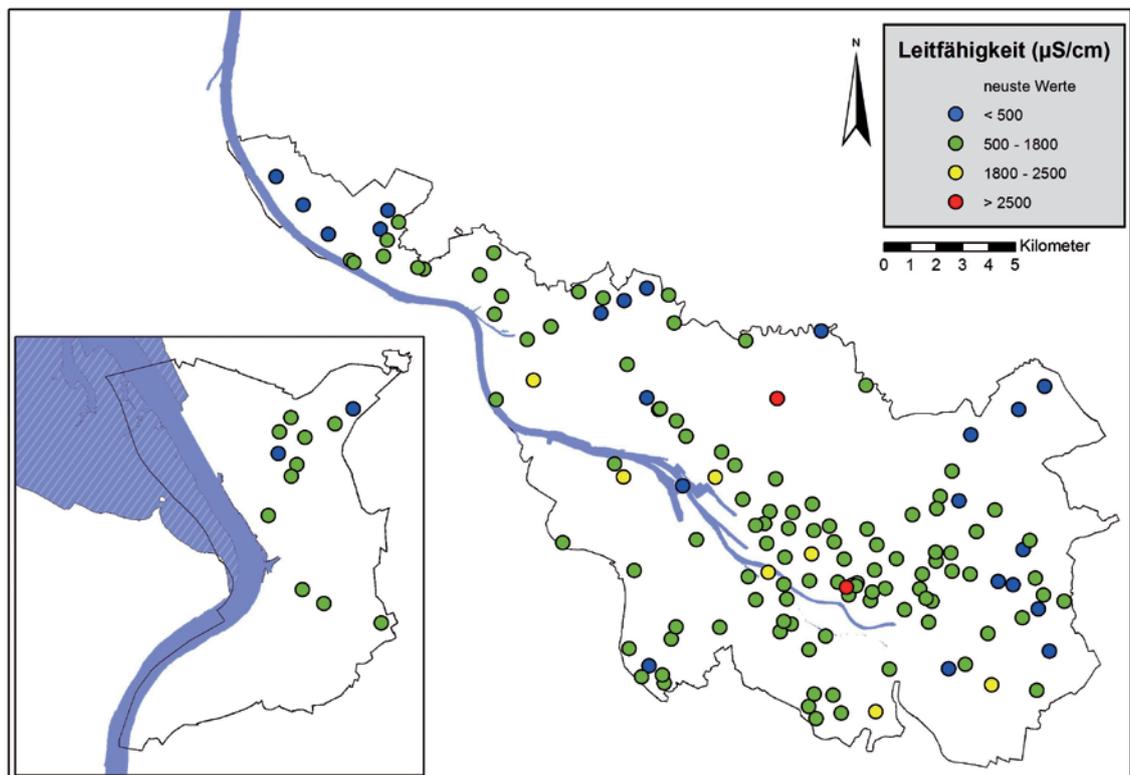


## Anlage 10

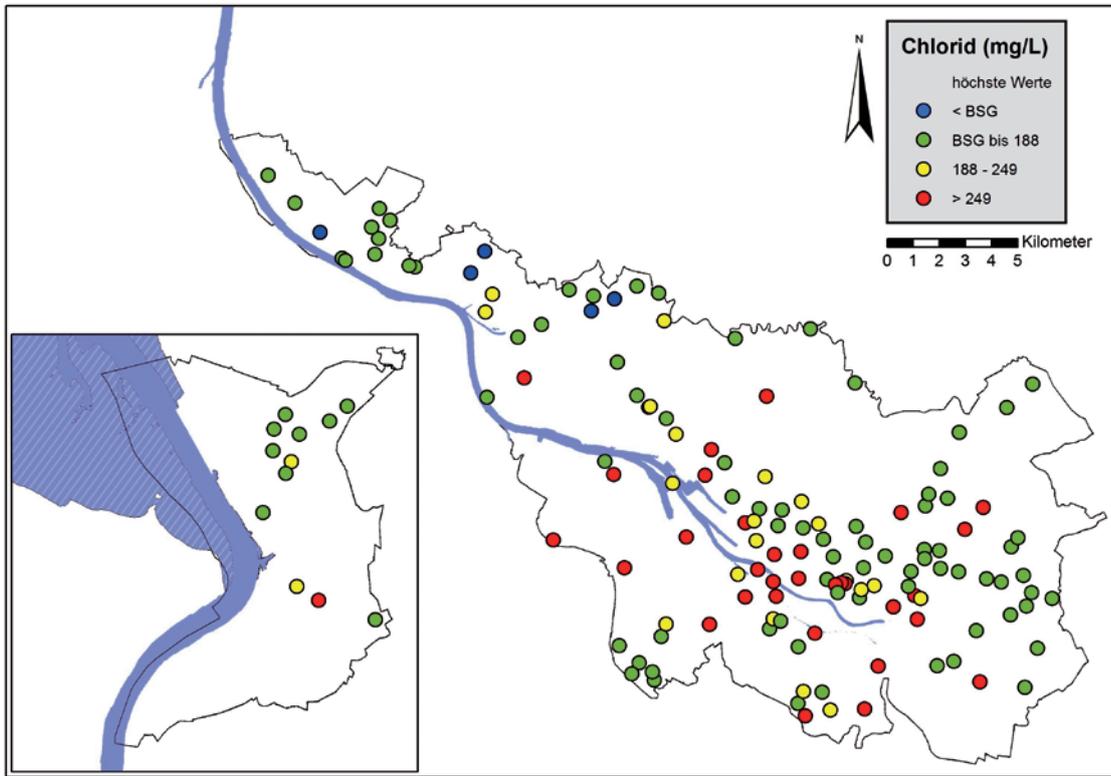
A 10-1: Leitfähigkeit – höchster Wert



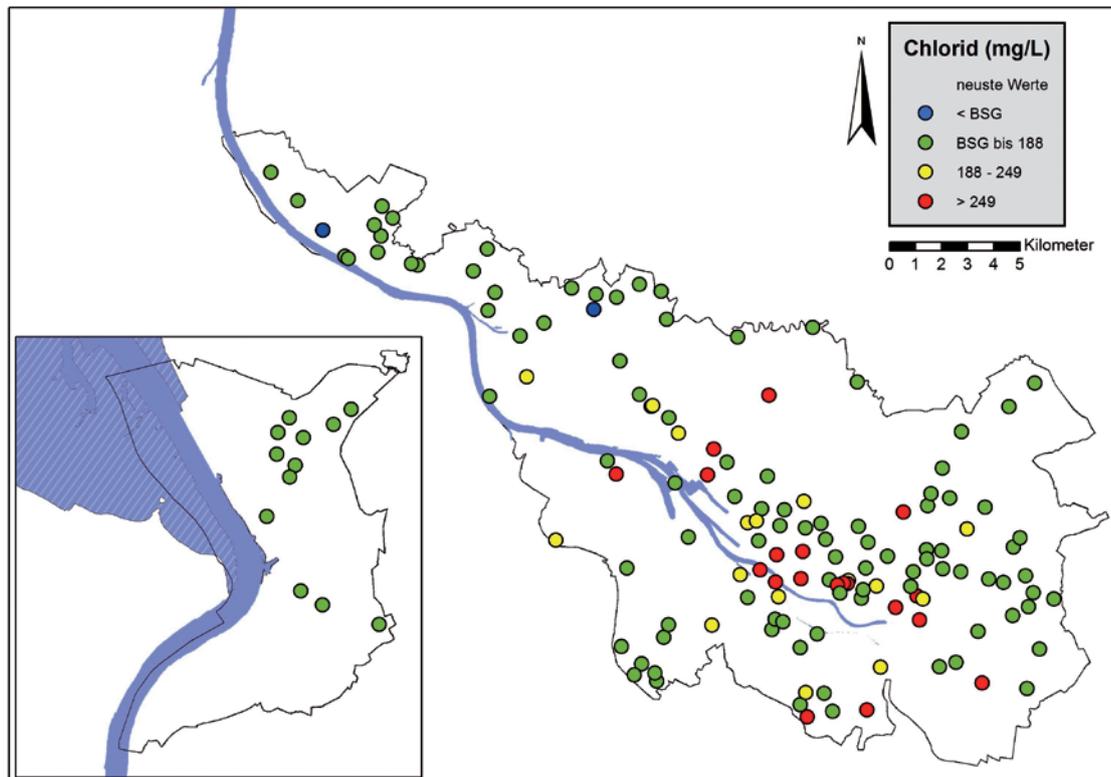
A 10-2: Leitfähigkeit – neuester Wert



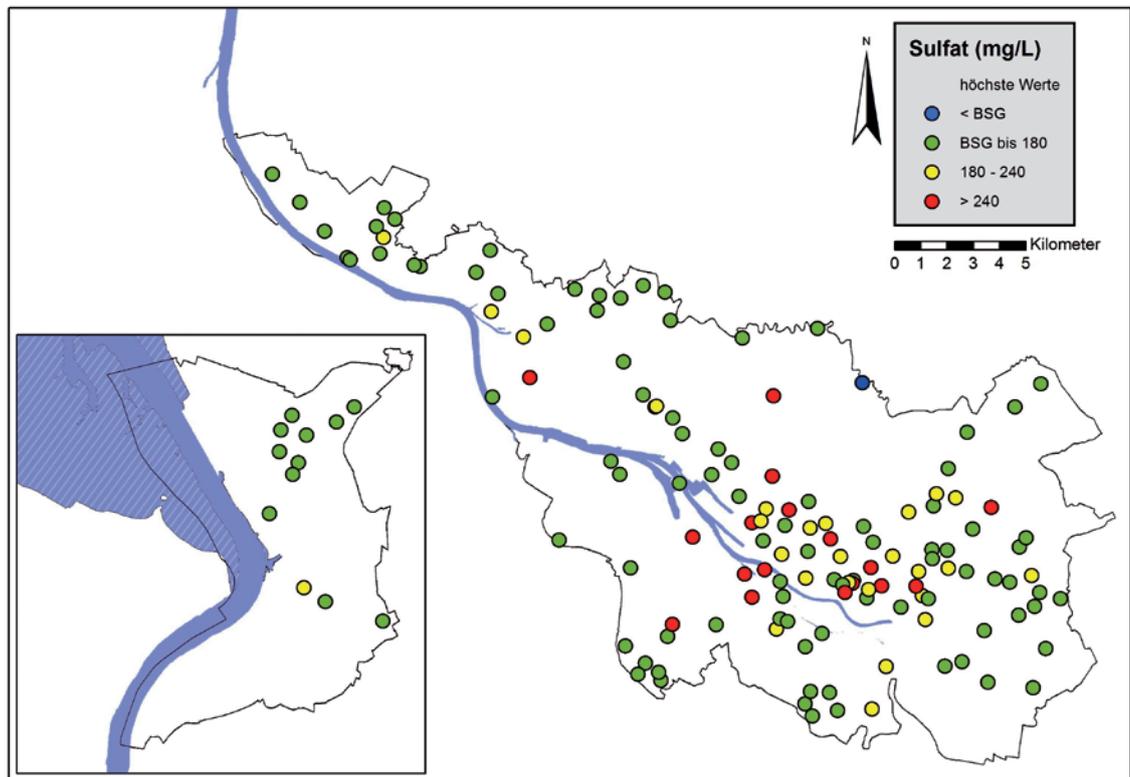
A 10-3: Chlorid – höchster Wert



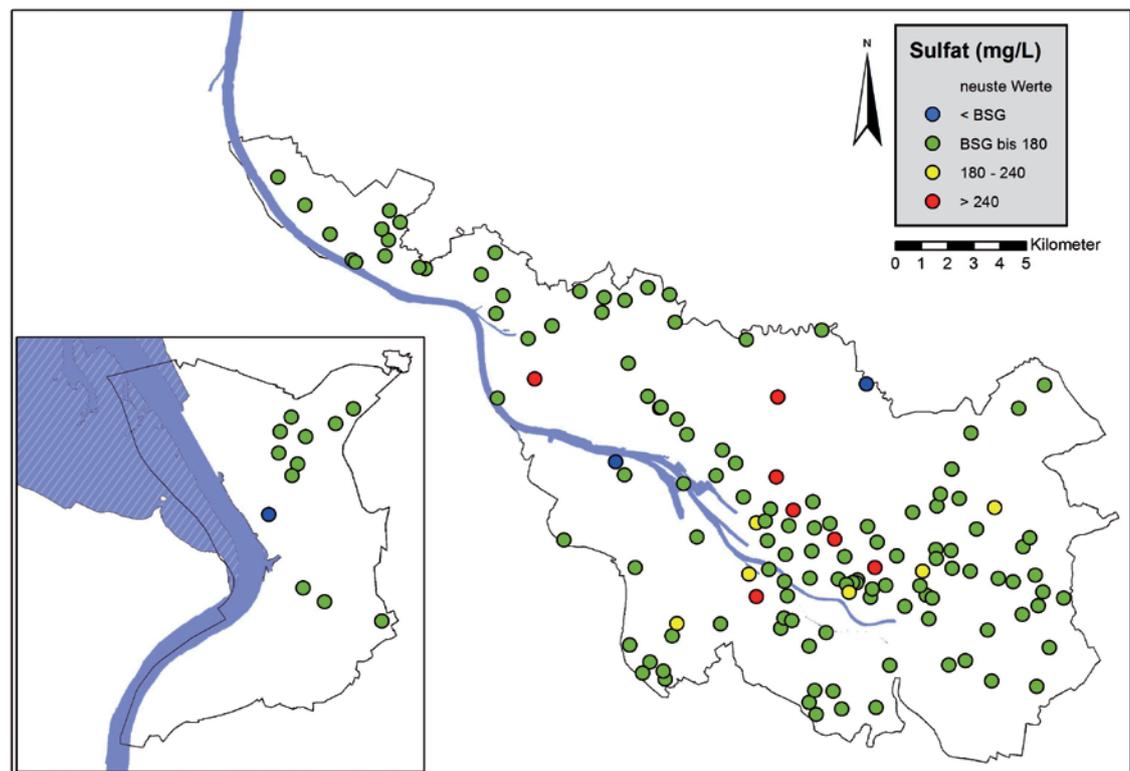
A 10-4: Chlorid – neuster Wert



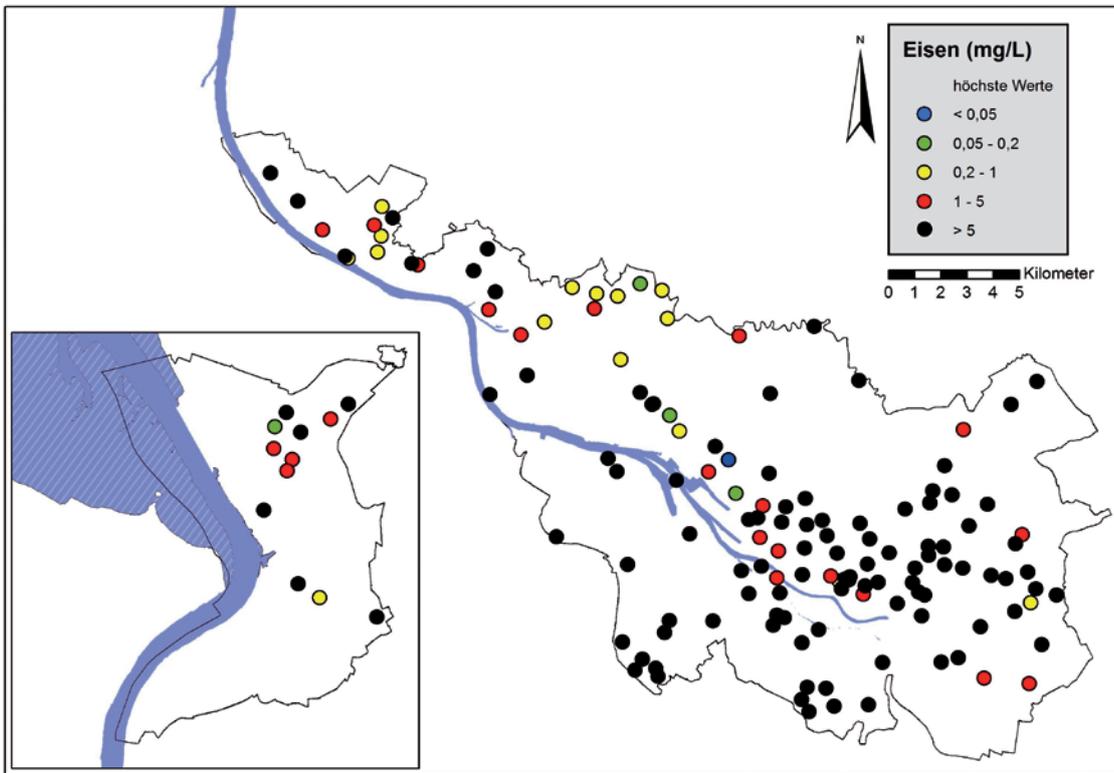
A 10-5: Sulfat – höchster Wert



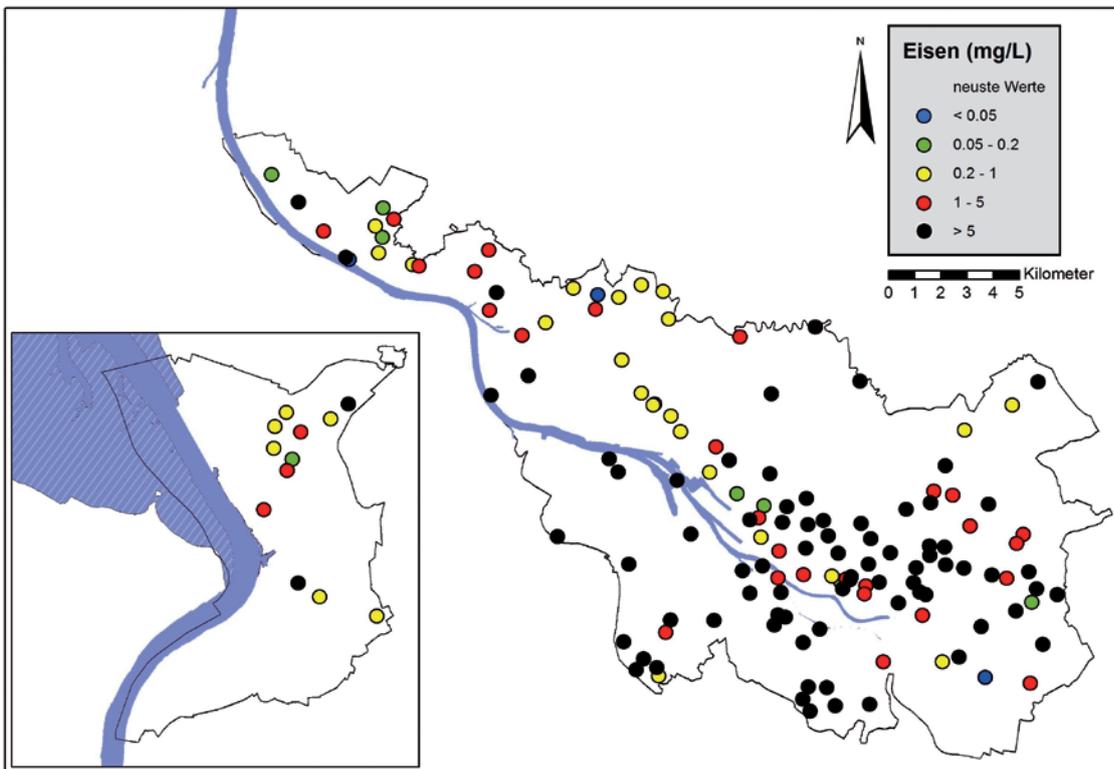
A 10-6: Sulfat – neuester Wert



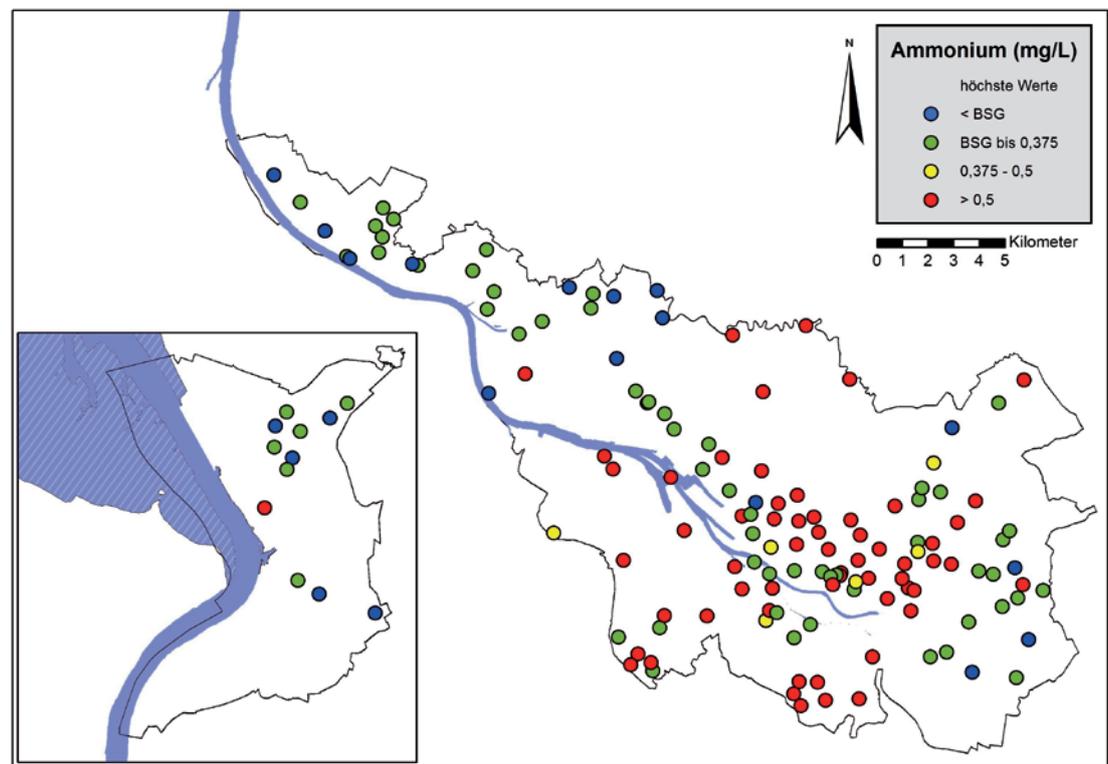
A 10-7: Eisen – höchster Wert



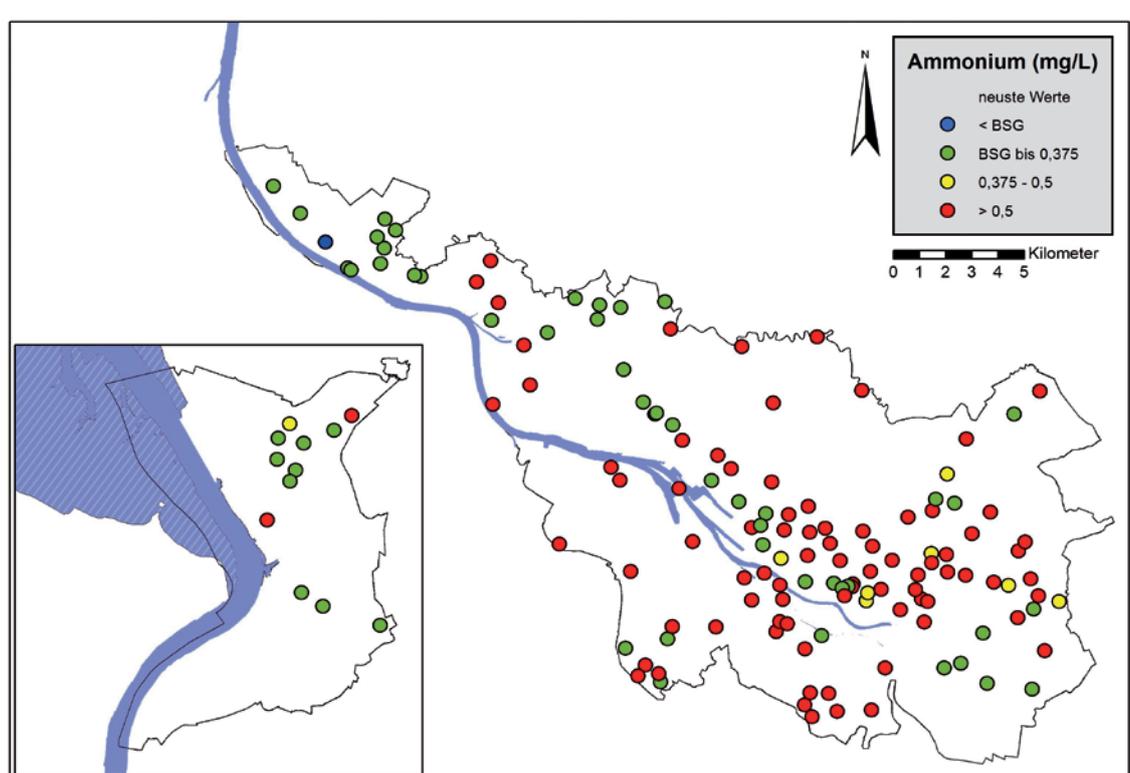
A 10-8: Eisen – neuster Wert



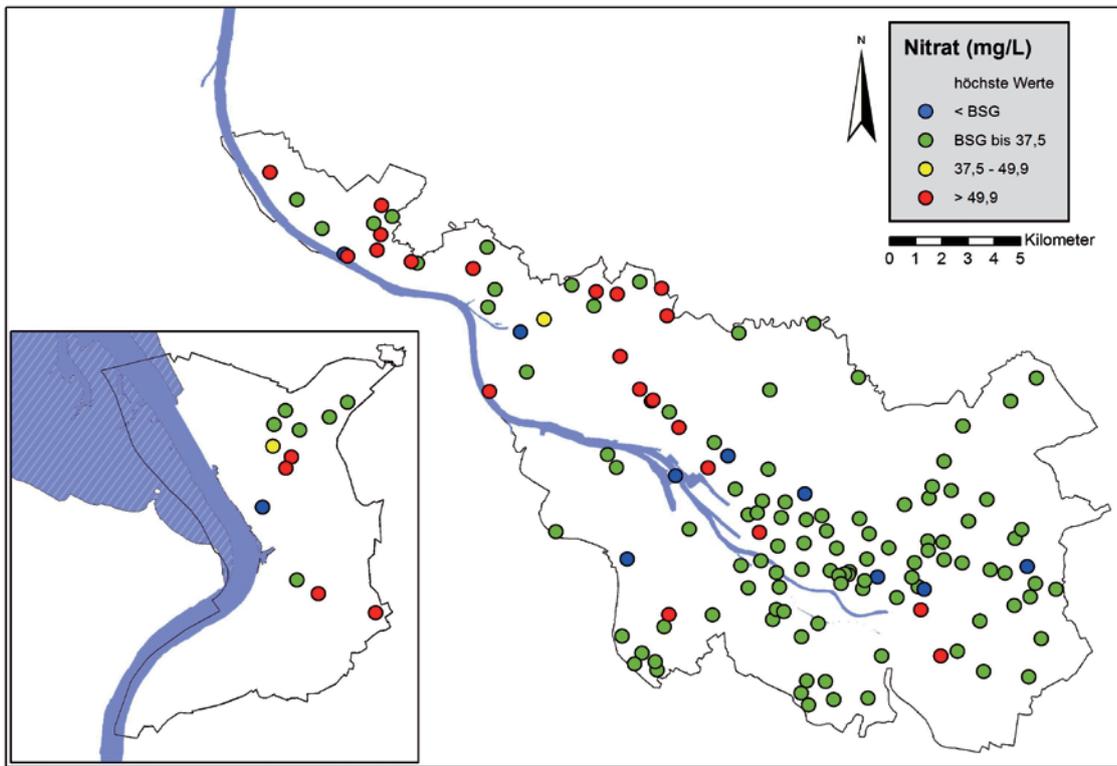
A 10-A9: Ammonium – höchster Wert



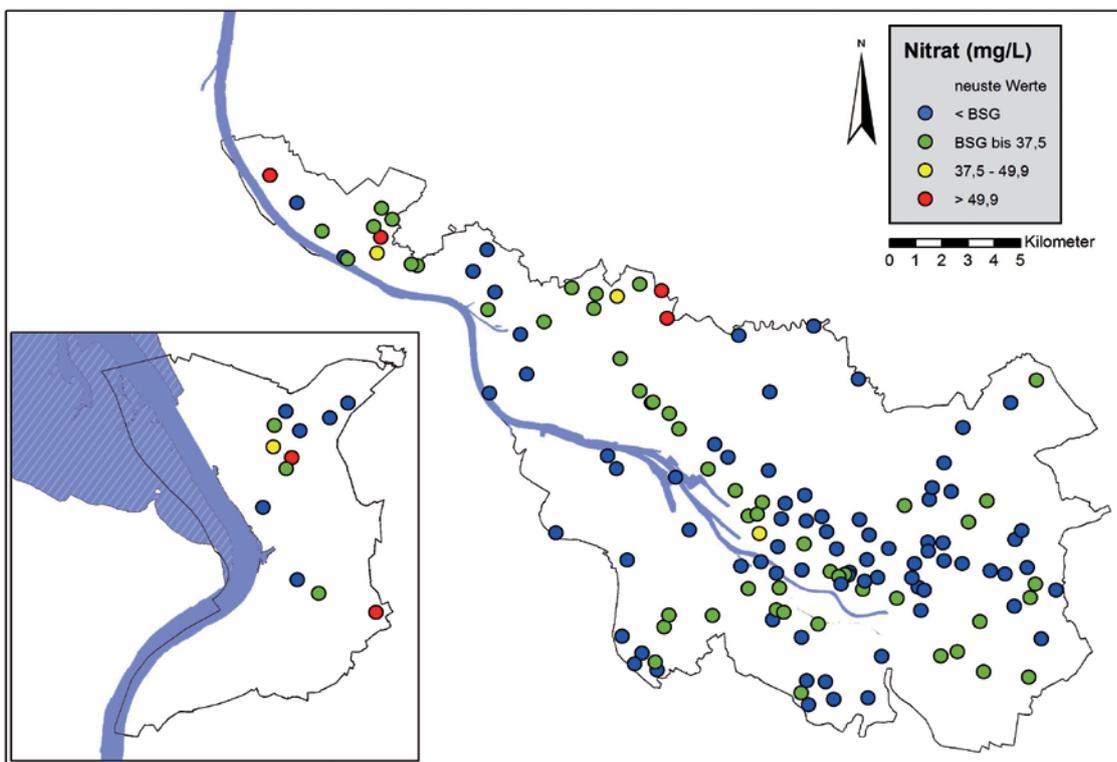
A 10-10: Ammonium – neuster Wert



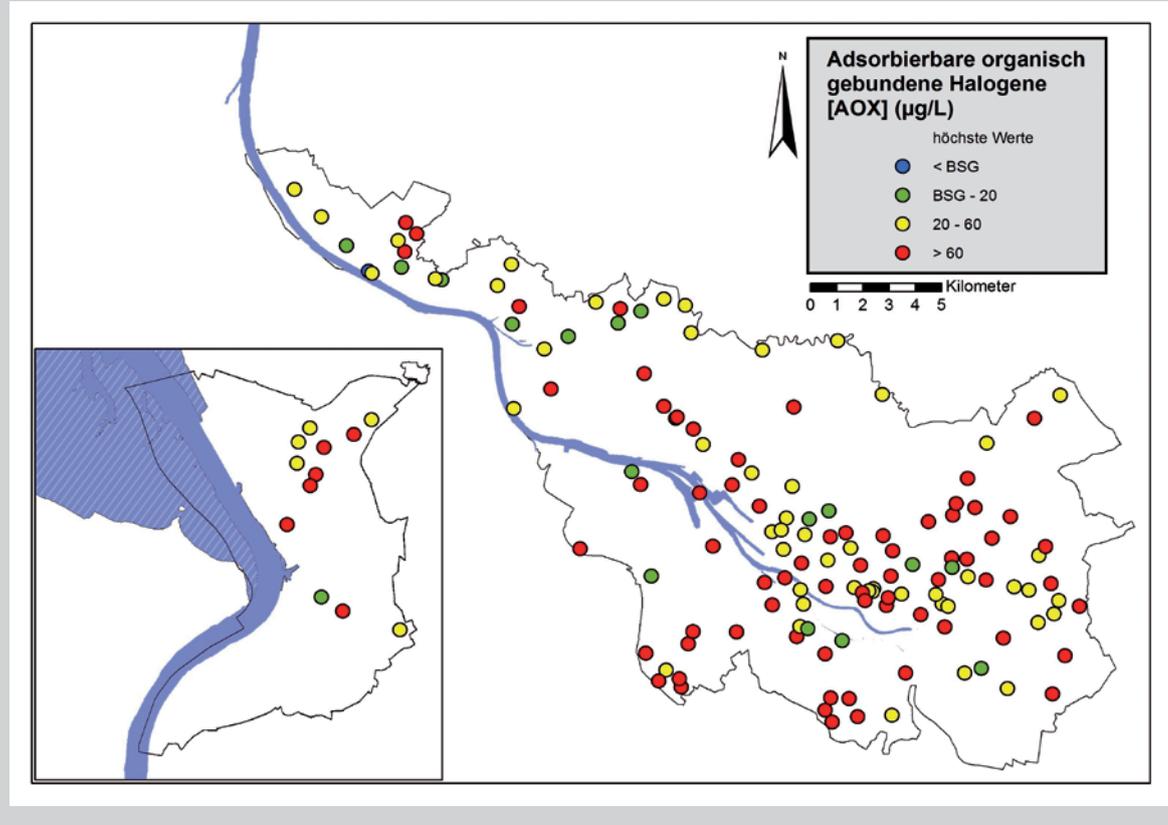
A 10-11: Nitrat – höchster Wert



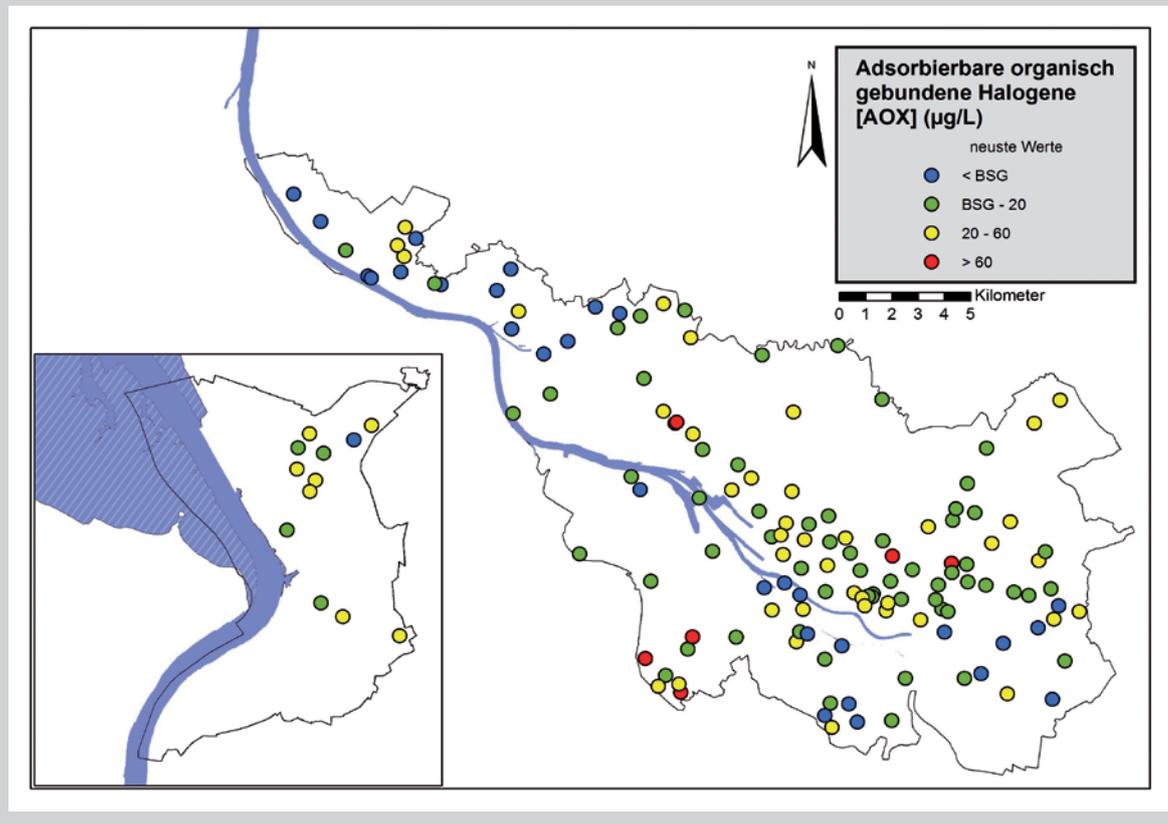
A 10-12: Nitrat – neuester Wert



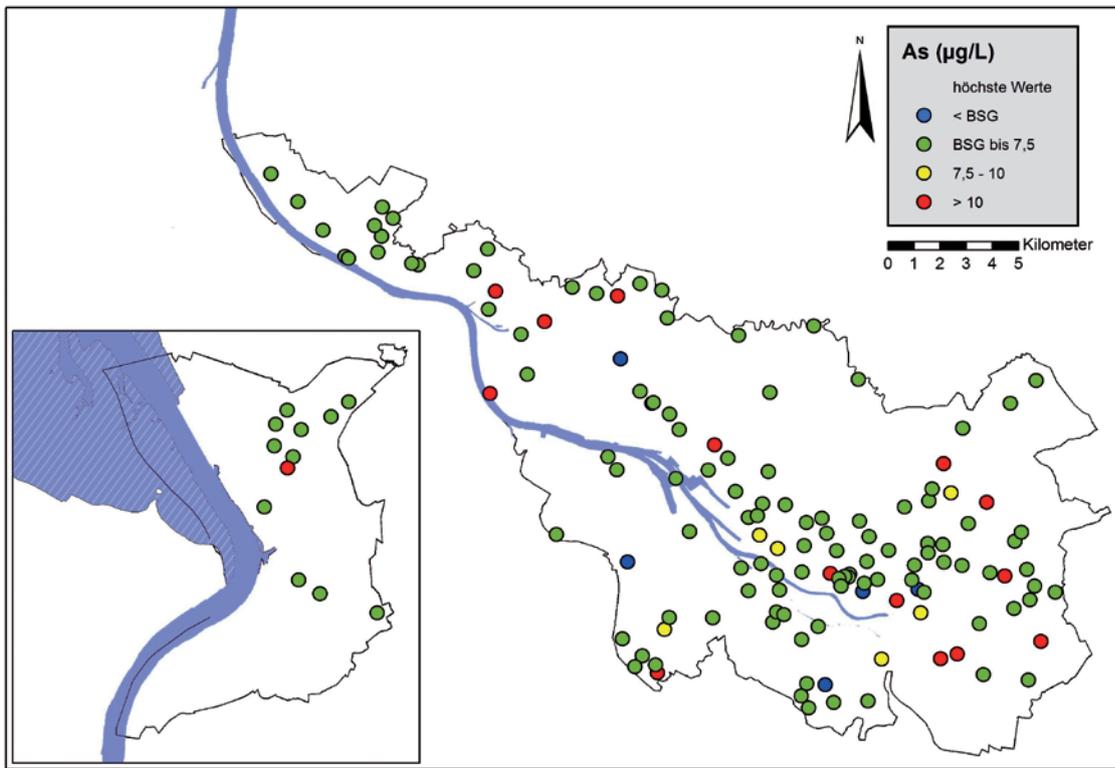
A 10-13: AOX – höchster Wert



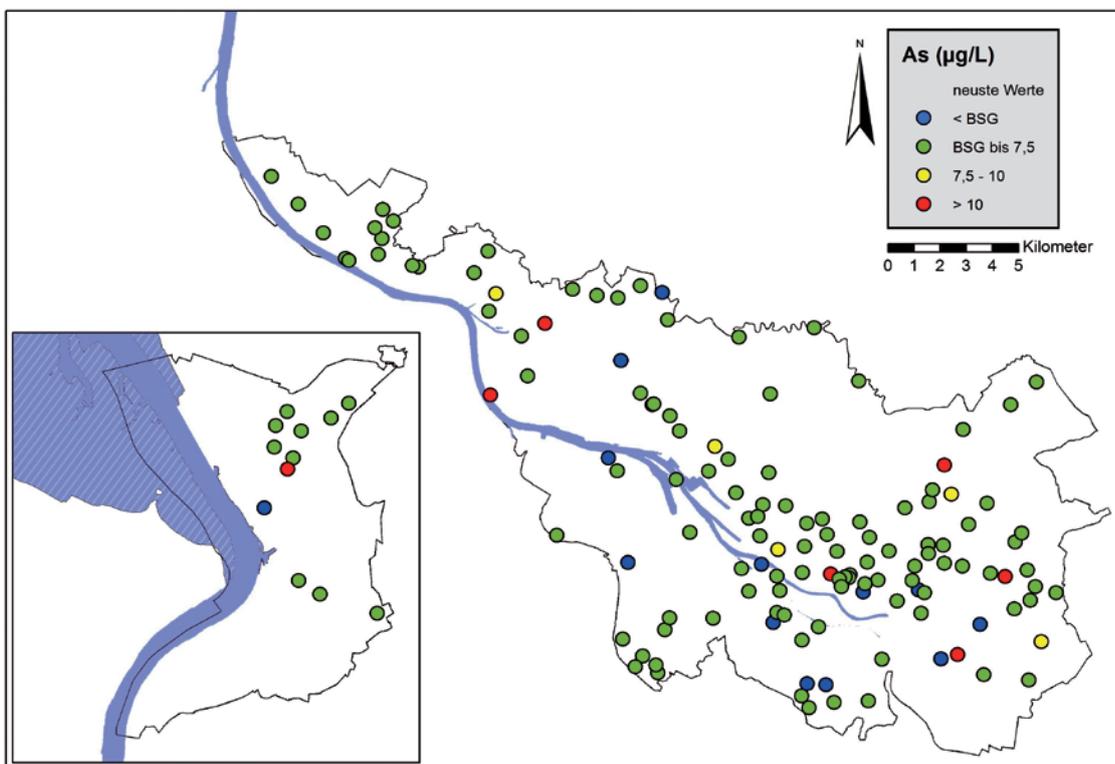
A 10-14: AOX – neuester Wert



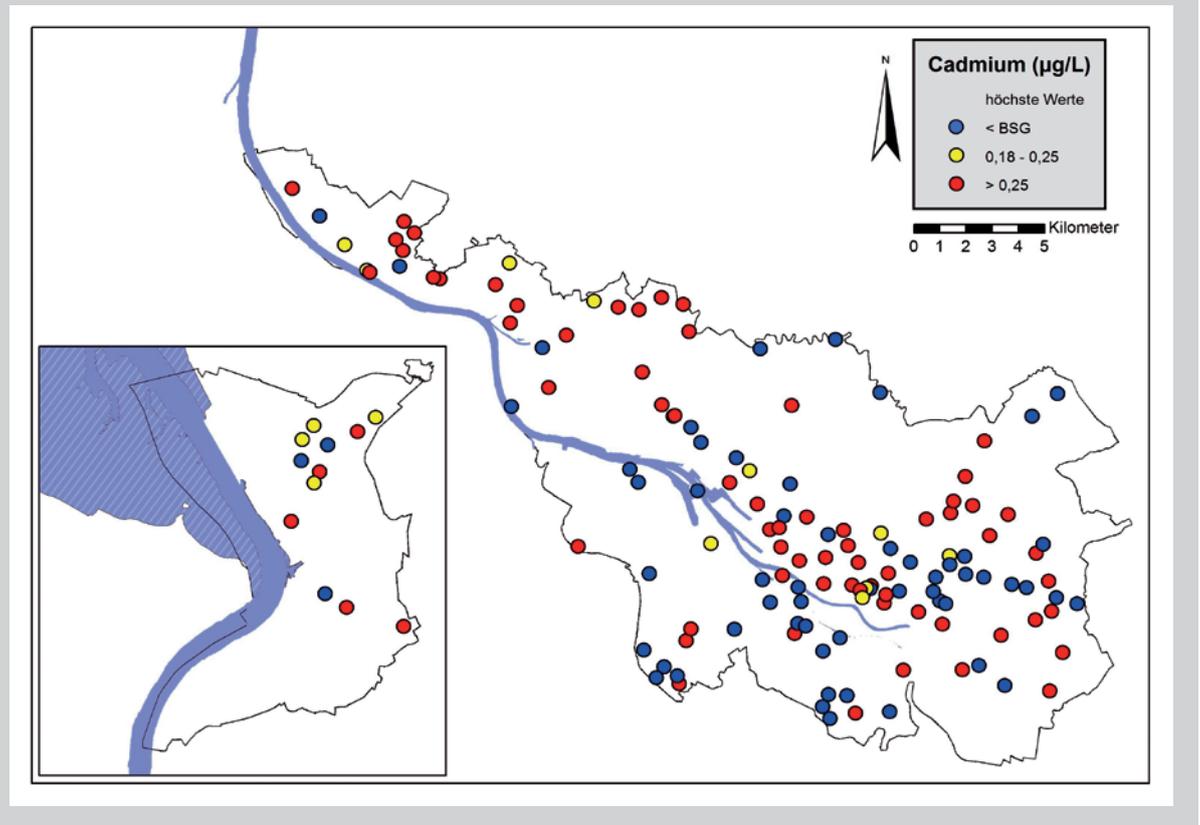
A 10-15: Arsen – höchster Wert



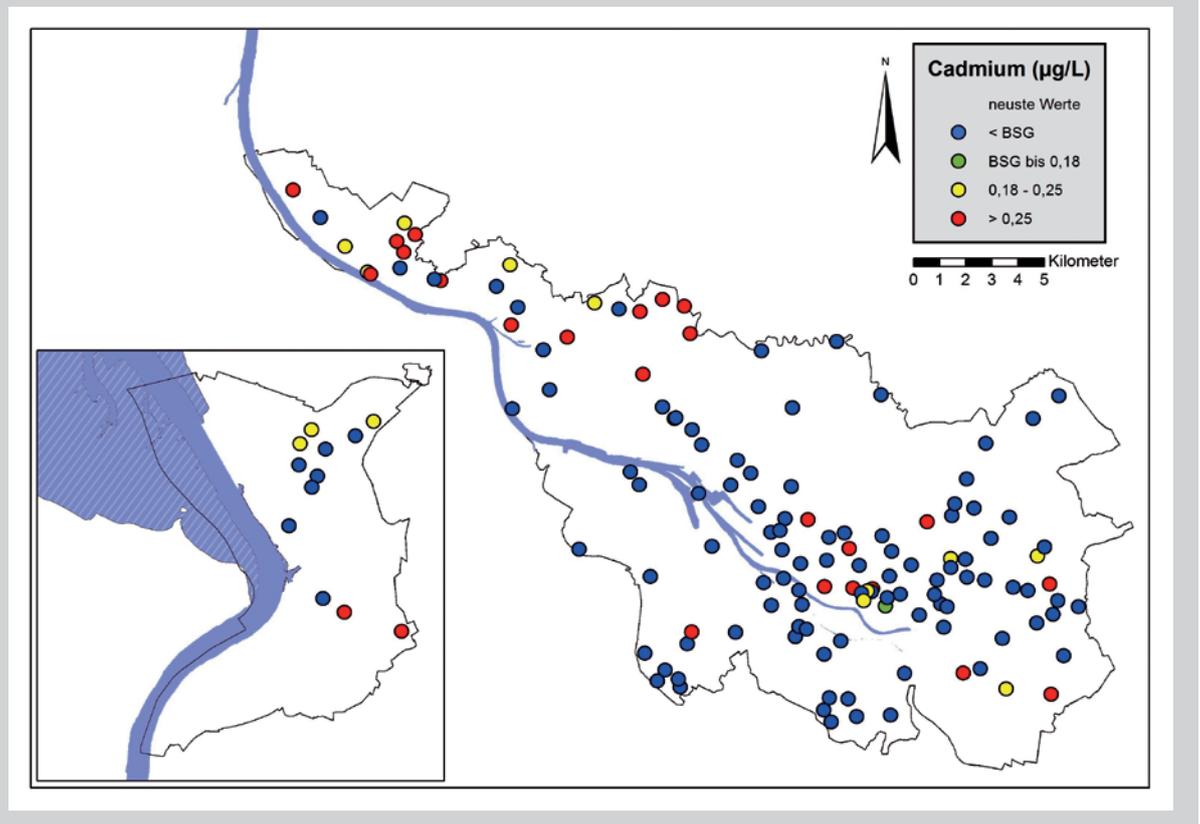
A 10-16: Arsen – neuester Wert



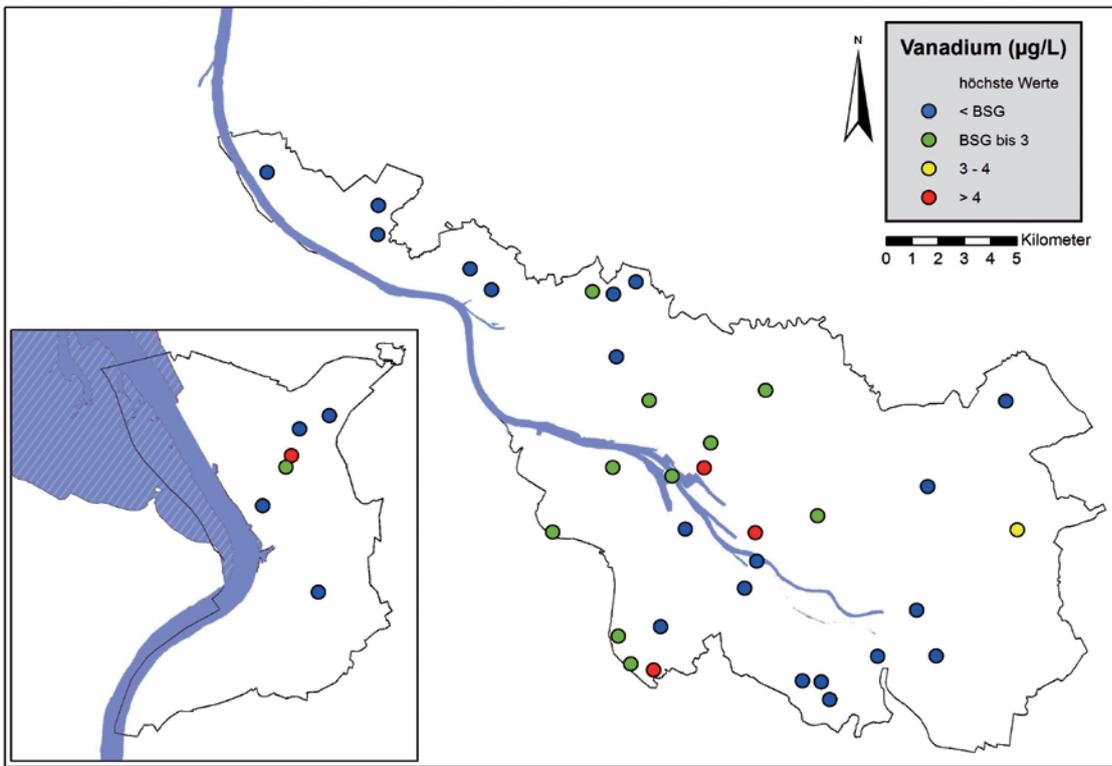
A 10-17: Cadmium – höchster Wert



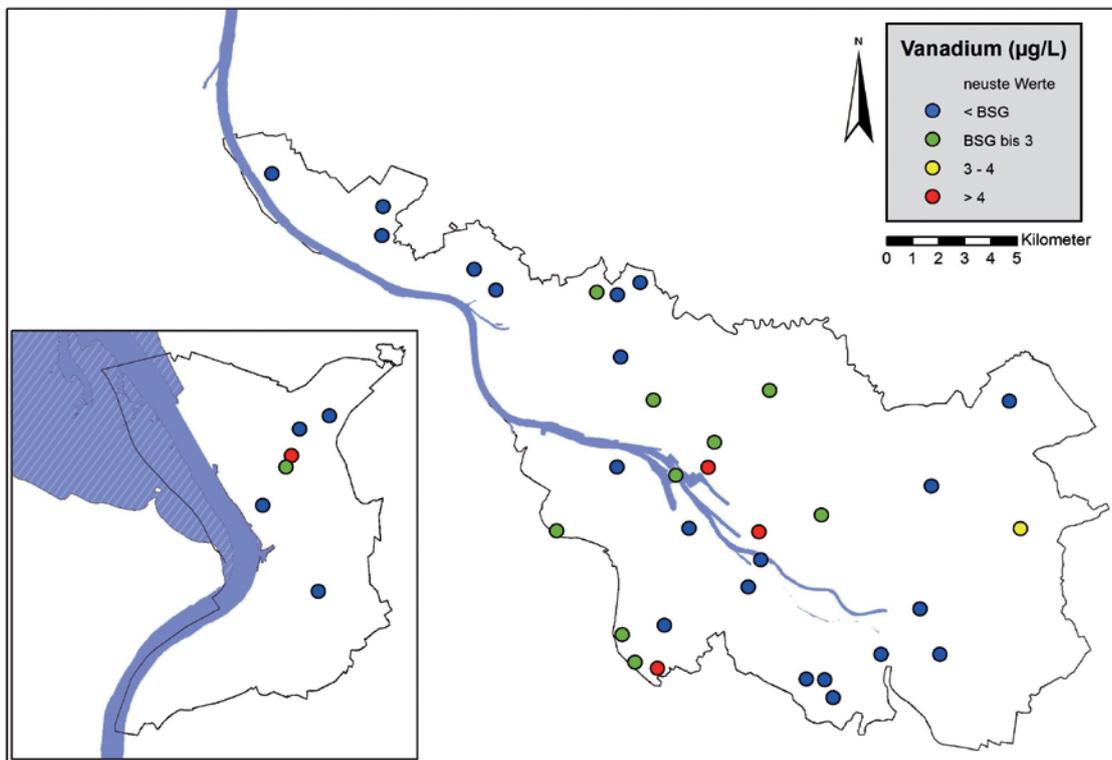
A 10-18: Cadmium – neuester Wert



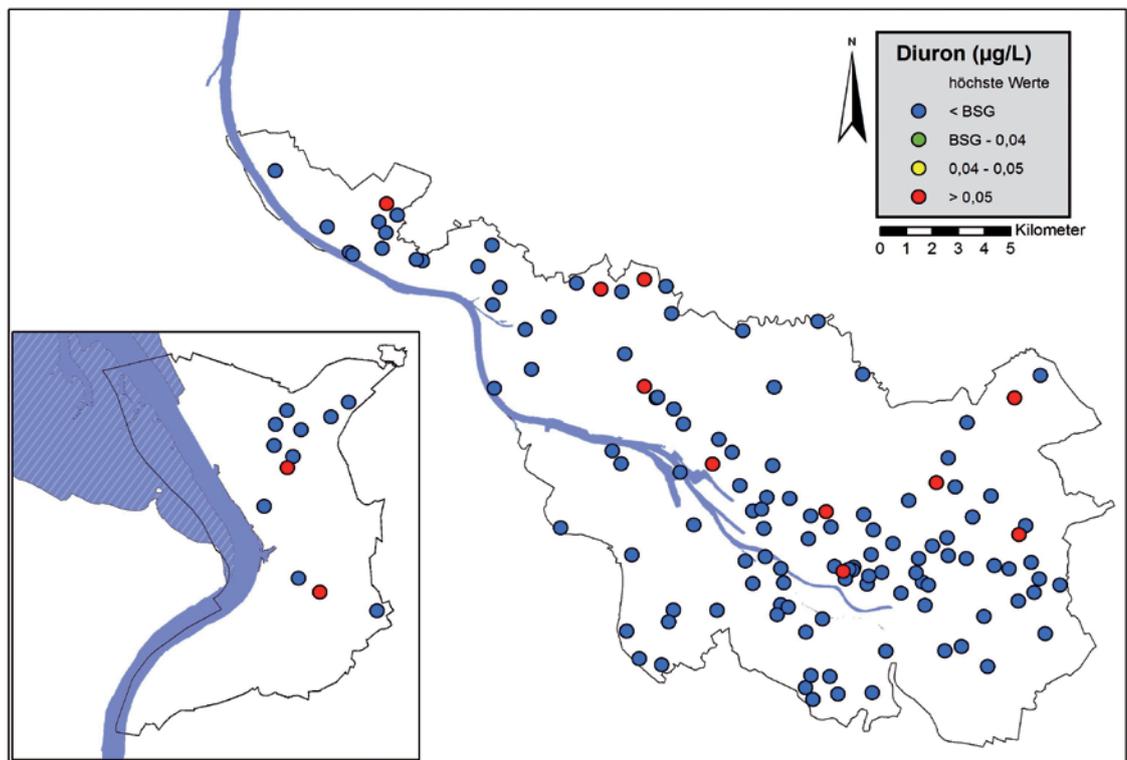
A 10-19: Vanadium – höchster Wert



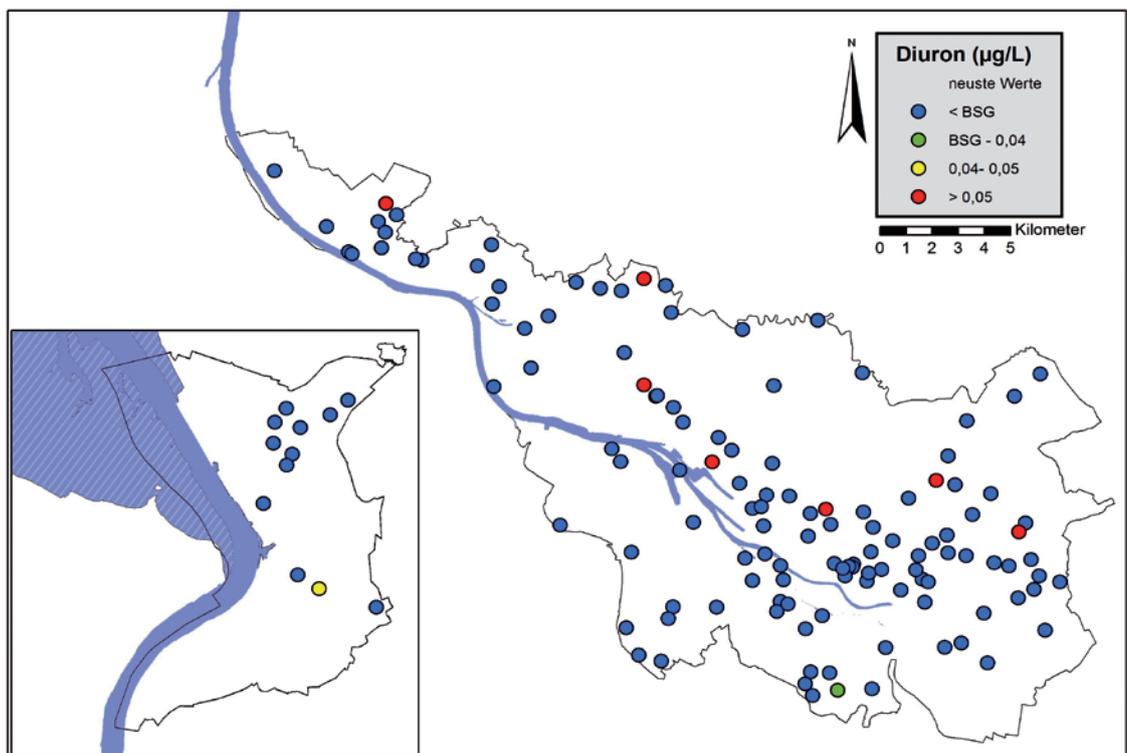
A 10-20: Vanadium – neuester Wert



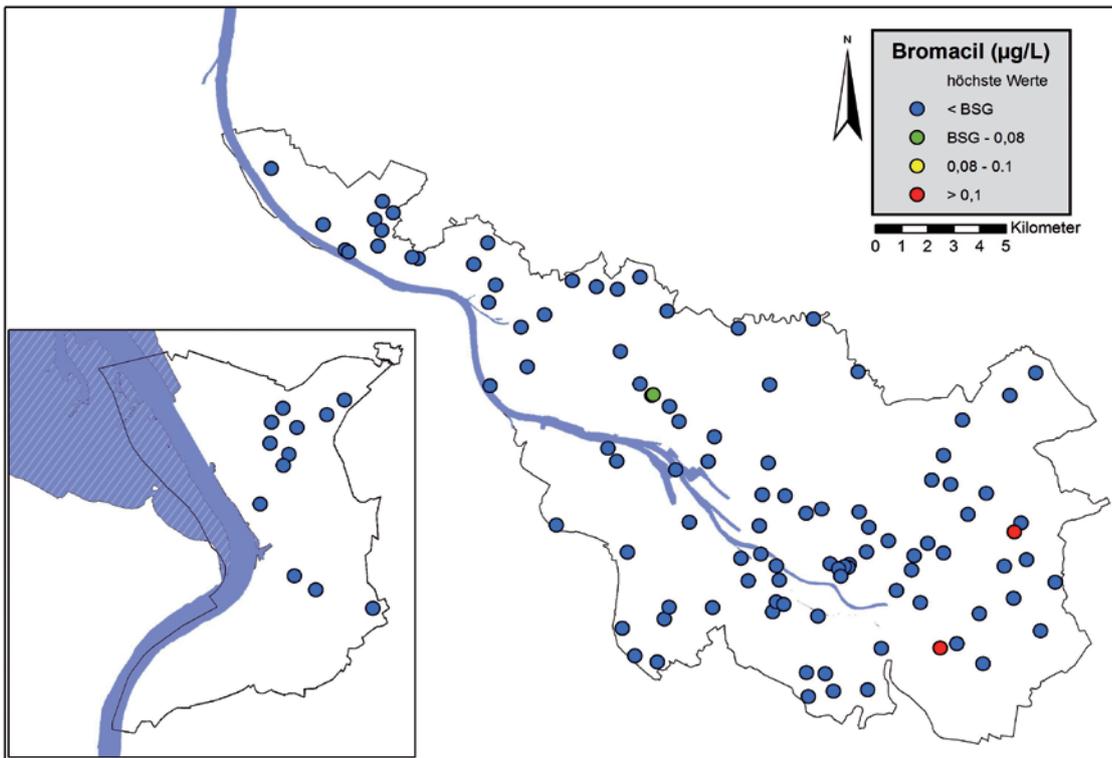
A 10-21: Diuron – höchster Wert



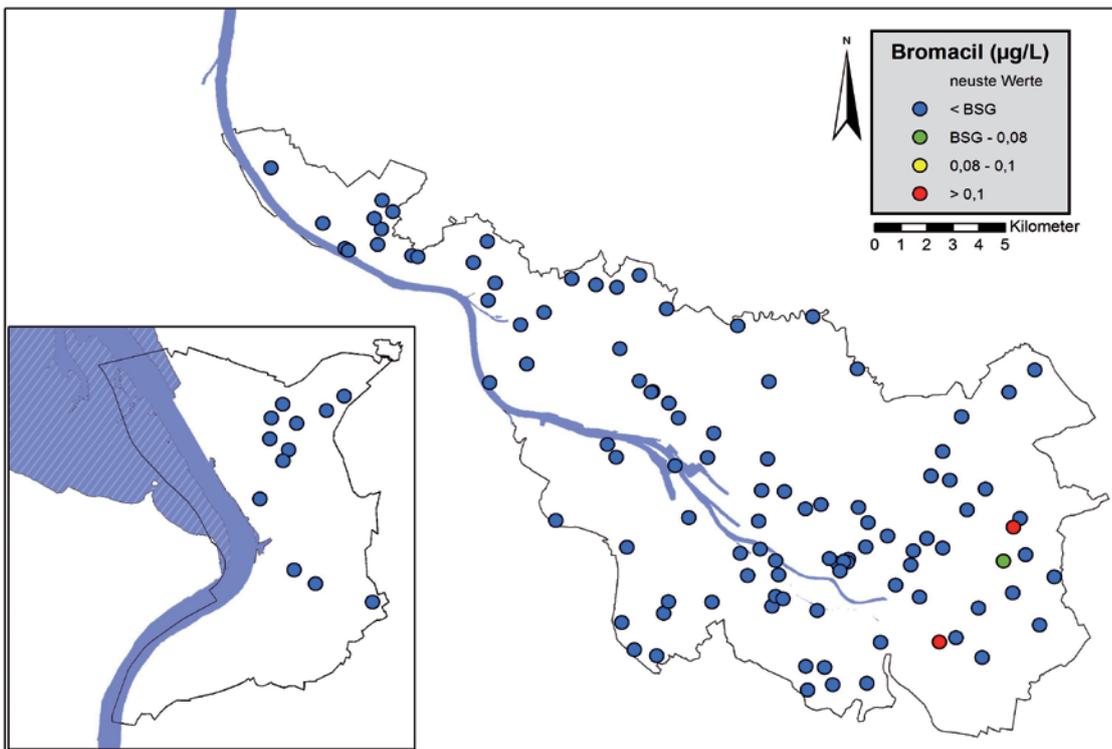
A 10-22: Diuron – neuster Wert



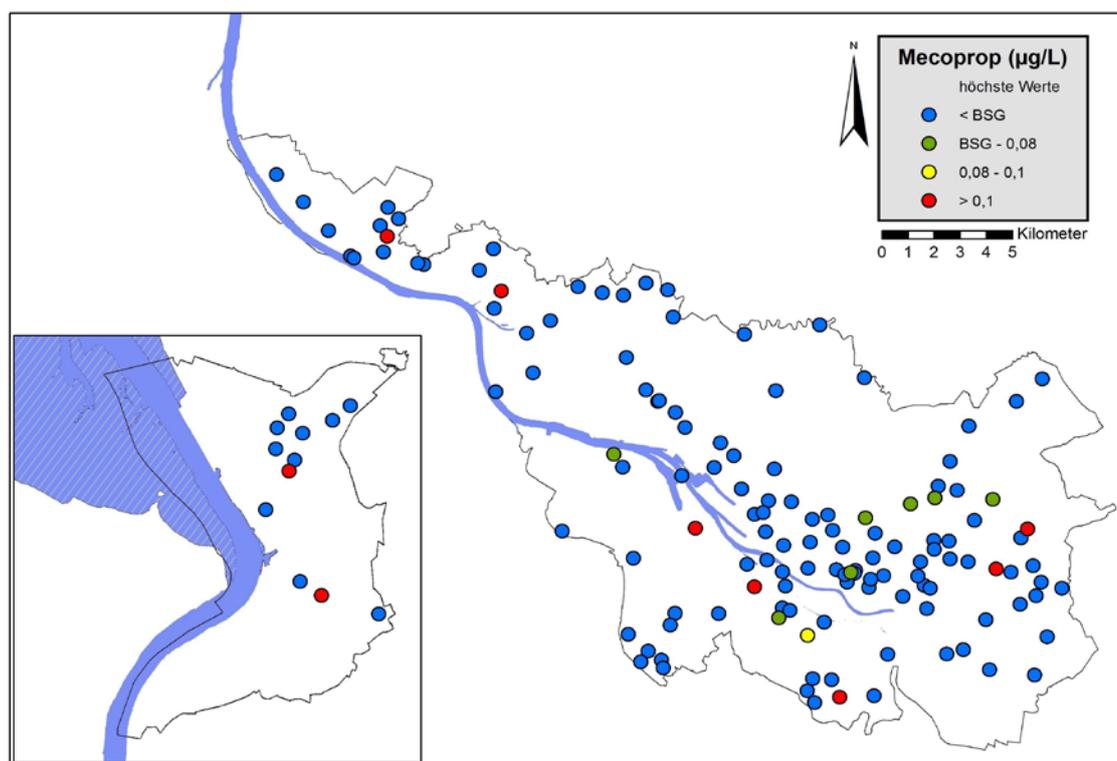
A 10-23: Bromacil – höchster Wert



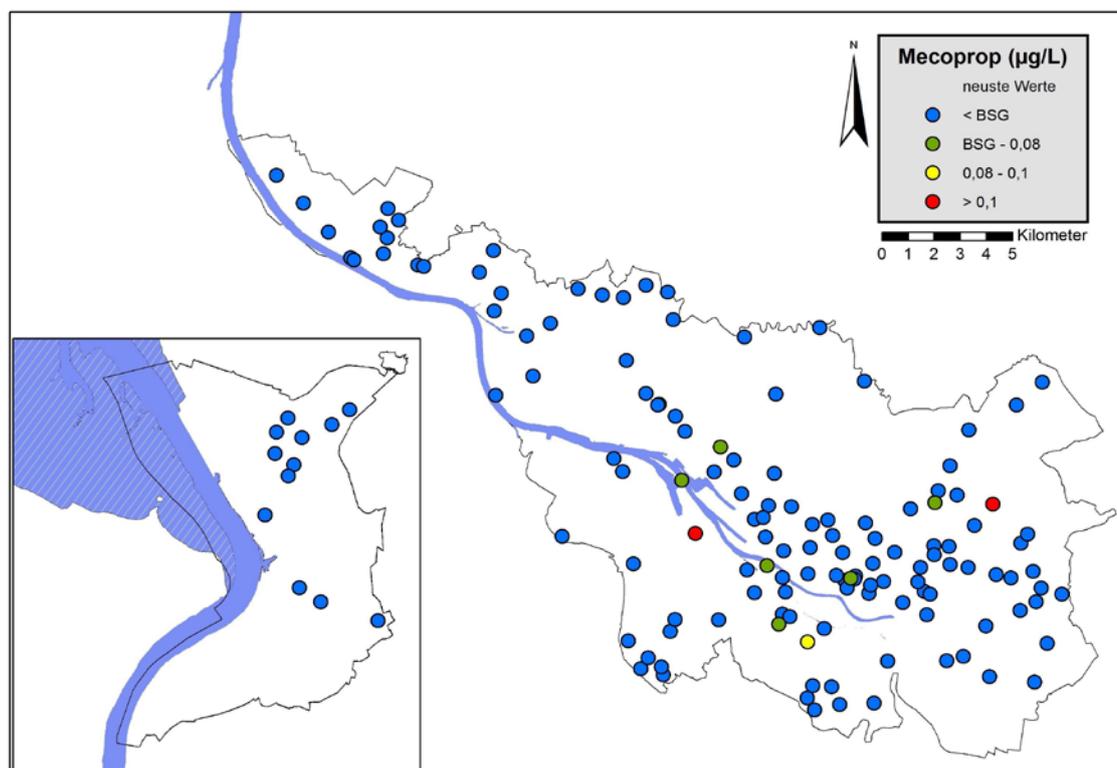
A 10-24: Bromacil – neuster Wert



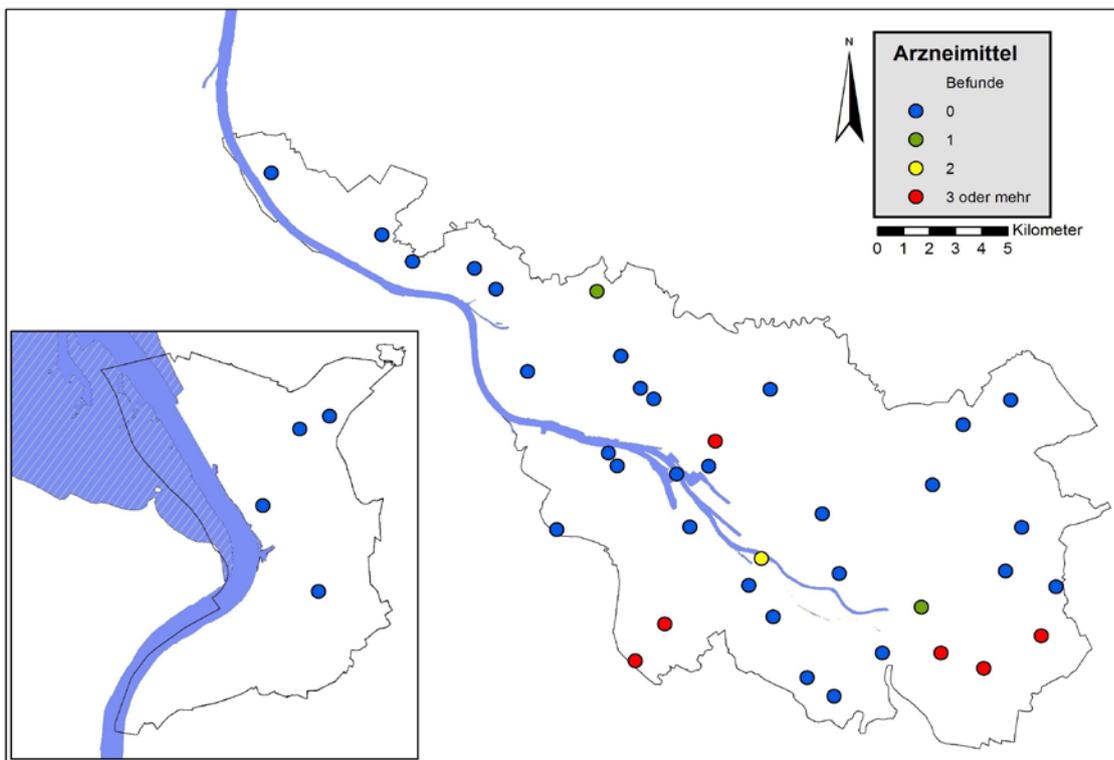
A 10-25: Mecoprob – höchster Wert



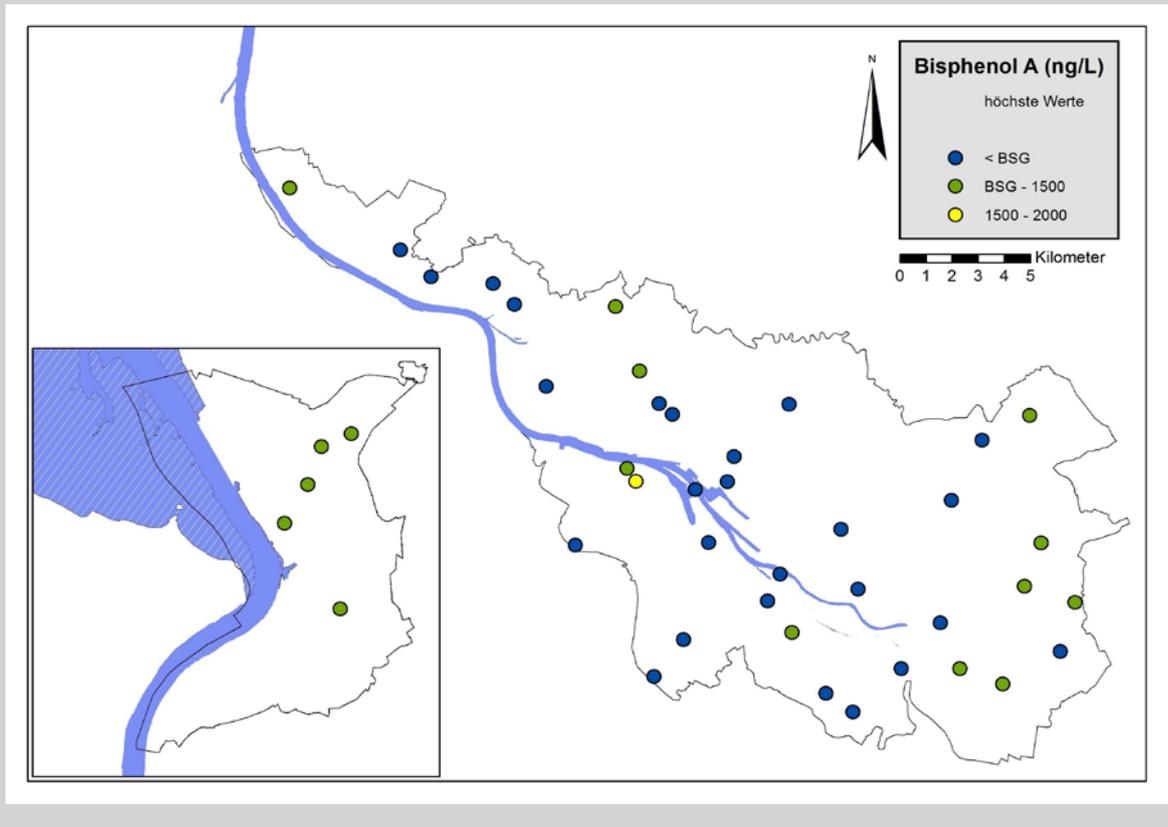
A 10-26: Mecoprob – neuester Wert



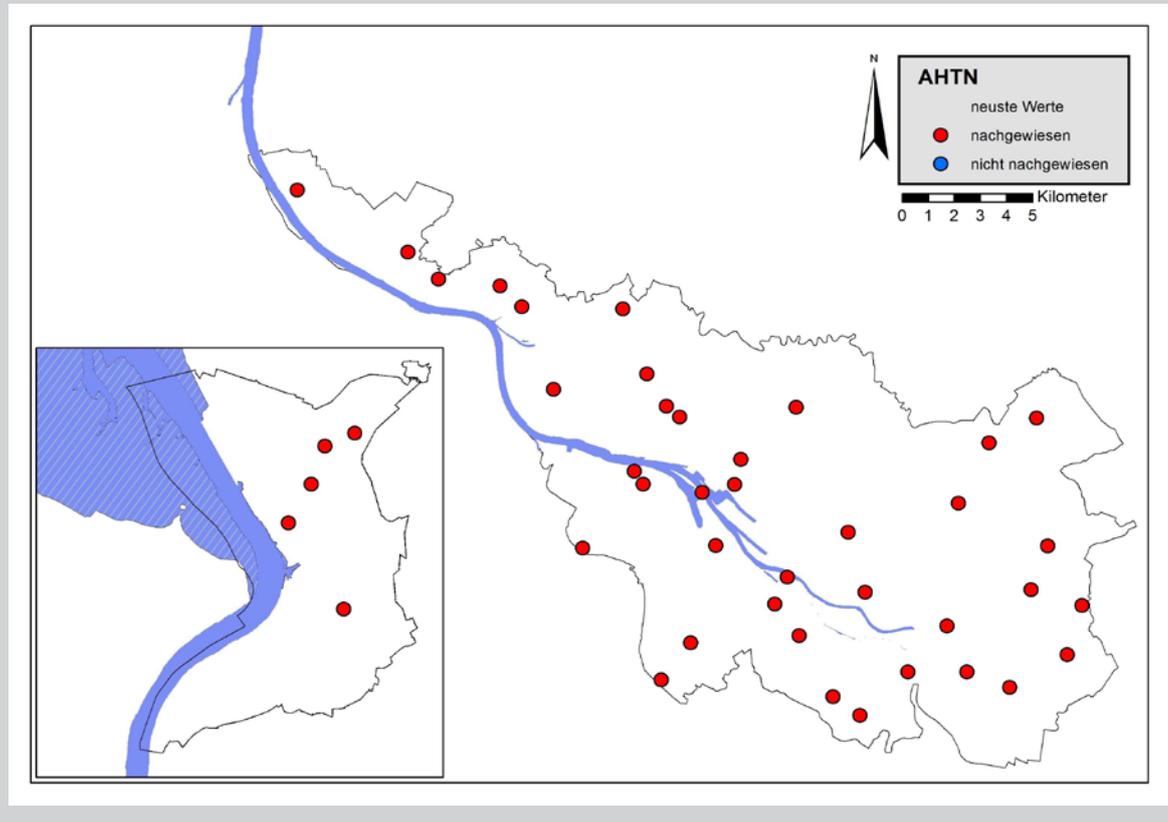
A 10-27: Arzneimittelbefunde



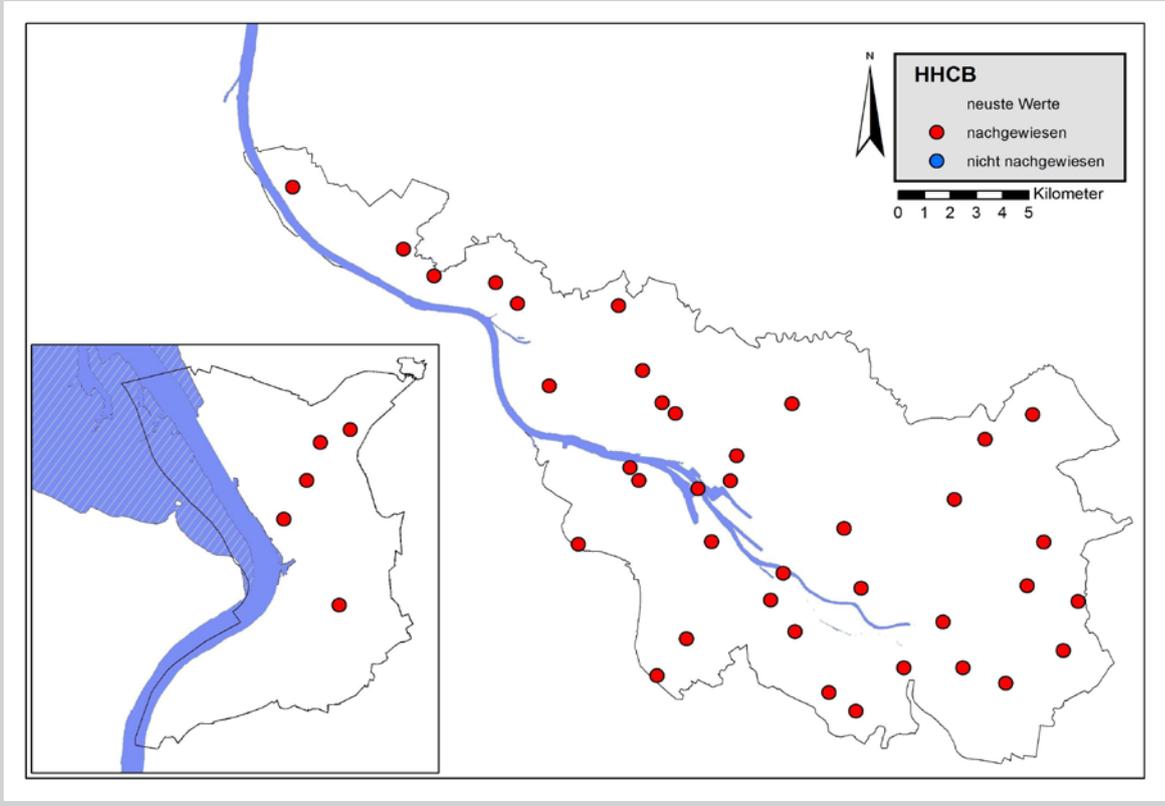
## A 10-28 Industriechemikalien Bisphenol A



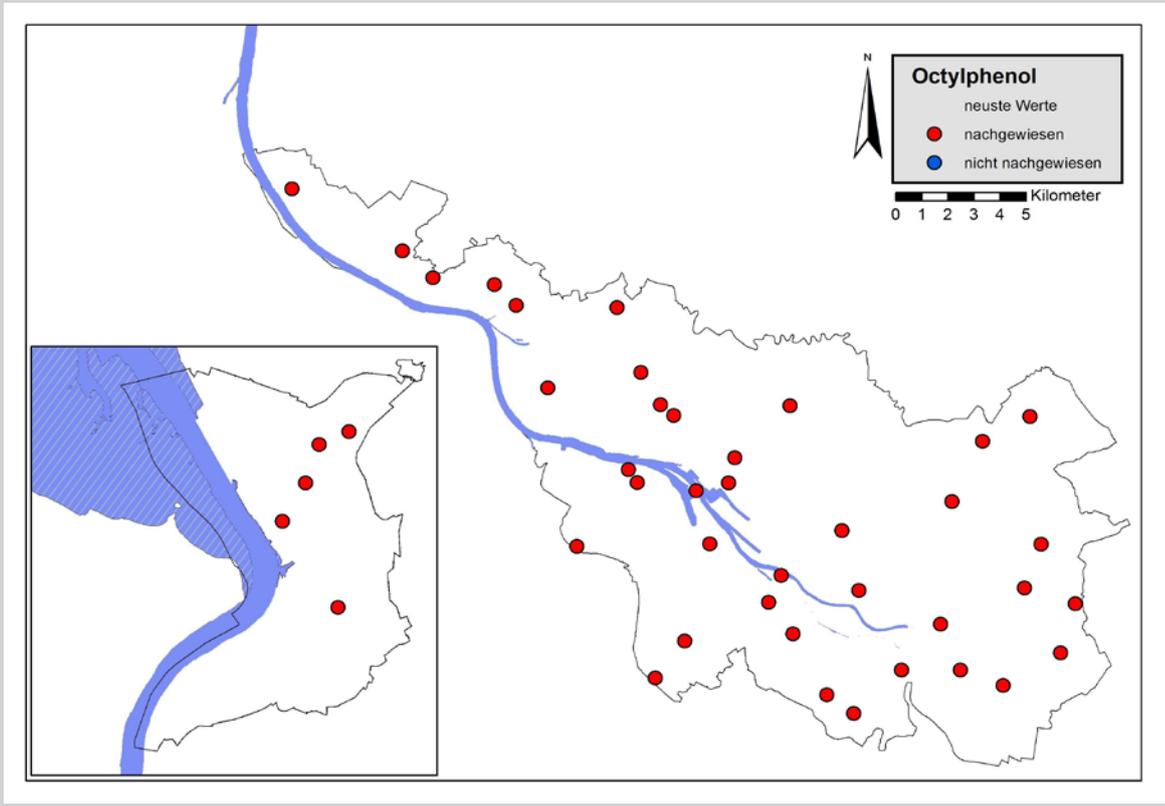
## A 10-29 Industriechemikalien: AHTN



A 10-30 Industriechemikalien: HHCB



A 10-31 Industriechemikalien Octylphenol



### Anhang 11

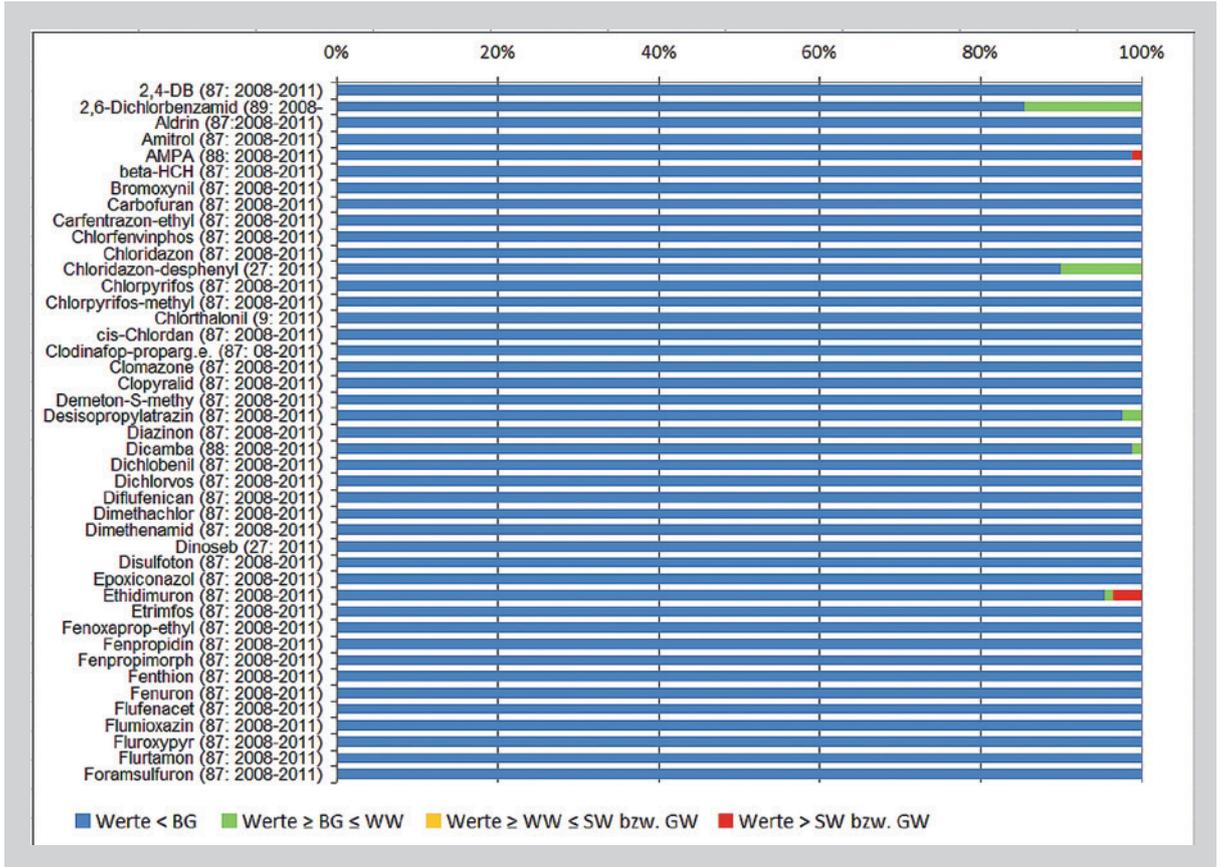
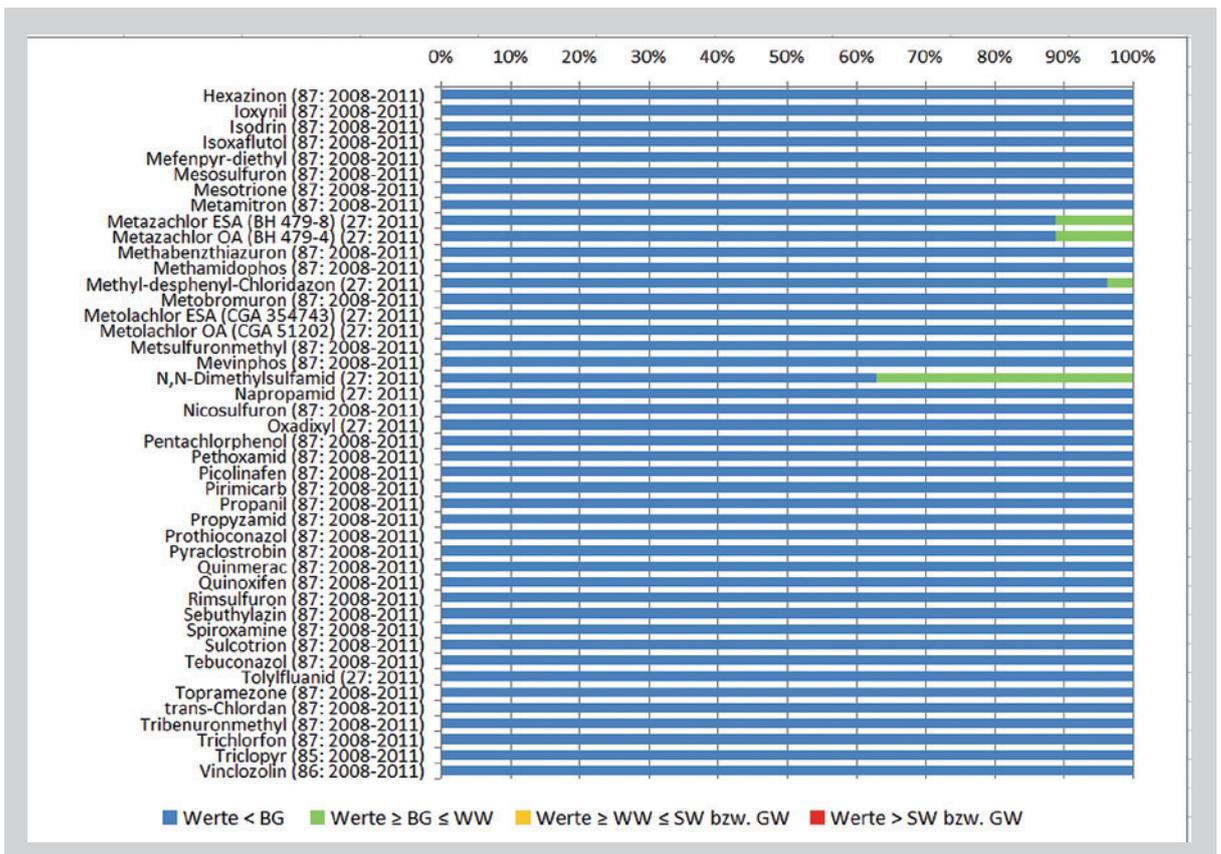


Abb. 11-1 und -2: PSM-Wirkstoffe aus dem Sondermessprogramm 2008-2011

Blaue Balken zeigen den Prozentanteil der Messungen unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG), grüne Balken Befunde zwischen BG und Warnwert. Gelbe Felder markieren den Bereich zwischen Warnwerten und Grundwassergütekriterien (SW/GW). Rote Balken repräsentieren Anteile oberhalb von Schwellenwerten.



Pflanzenschutzmittel (Anzahl der Messwerte: Messzeitraum)	< BSG	BSG < Wert < Warnwert	Warnwert < Wert < UQN	Wert > UQN
Alachlor (508: 1995-2011)	508	0	0	0
Aldicarb-sulfon (508:1995-2011)	508	0	0	0
Alpha-Endosulfan (823:1988-2011)	823	0	0	0
Beta-Endosulfan (823: 1988-2011)	823	0	0	0
Bromophos-ethyl (304: 1990-2011)	304	0	0	0
Chlortoluron (764: 1990-2011)	764	0	0	0
Dalapon (87: 1995-2011)	421	0	0	0
delta-HCH (87: 2003-2011)	233	0	0	0
Desmetryn (376: 1999-2011)	376	0	0	0
Dimethoat (758: 1990-2011)	758	0	0	0
Glufosinat (326: 1995-2011)	326	0	0	0
Glyphosat (508: 1995-2011)	508	0	0	0
Hexachlorbenzol (713: 1988-2011)	713	0	0	0
Metribuzin (508: 1995-2011)	508	0	0	0
Pendimethalin (464: 1995-2011)	464	0	0	0
Trifluralin (711: 1989-2011)	711	0	0	0
2,4-D (953: 1986-2011)	934	0	0	0
Propazin (867: 1988-2011)	866	1	0	0
Metazachlor (714: 1991-2011)	713	0	0	1
Parathion-ethyl (671: 1990-2011)	670	1	0	0
Linuron (629: 1990-2011)	628	0	1	0
Metoxuron (765: 1990-2011)	763	0	2	0
Prometryn (836: 1988-2011)	833	3	0	0
Isoproturon (508: 1995-2011)	506	2	0	0
Monolinuron (677: 1990-2011)	674	3	0	0
Desethylatrazin (713 1988-2011)	707	5	1	0

Tab. A 11: Pflanzenschutzmittellangliste geordnet nach Anzahl negativer Befunde (Routinemessprogramm Bremen)

Pflanzenschutzmittel (Anzahl der Messwerte: Messzeitraum)	< BSG	BSG < Wert < Warnwert	Warnwert < Wert < UQN	Wert > UQN
Ameryn (329:1988-1994)	326	3	0	0
Metolachlor (712: 1991-2011)	704	8	0	0
Terbuthylazin (869: 1988-2011)	859	10	0	0
1,2-Dichlorpropan (571: 1995-2011)	562	0	0	0
Desethylterbuthylazin 508: 1995-2011)	499	9	0	0
Bentazon (508: 1995-2011)	498	10	0	0
Terbutryn (781: 1988-2011)	765	16	0	0
MCPA (953: 1986-2011)	927	22	0	4
Simazin (869: 1988-2011)	844	25	0	0
Bromacil (713: 1991-2011)	691	5	1	16
2,4-DP (Dichlorprop) (952: 1986-2011)	920	24	2	6
2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure (411)/1986-1993)	382	29	0	0
Diuron 764: 1990-2011)	708	13	4	39
Mecoprop (953: 1986-2011)	836	87	4	26
Atrazin (869: 1988-2011)	66	17	1	3
γ-HCH (738: 1986-2007)	536	202	0	0

Tab. A 11: Pflanzenschutzmittellangliste geordnet nach Anzahl negativer Befunde (Routinemessprogramm Bremen)

