



Staubniederschlag und Niederschlagsdeposition im Land Brandenburg

Studien und Tagungsberichte
Band 36



**Studien und Tagungsberichte, Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg
ISSN 0948-0838**

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

Band 36 – Staubniederschlag und Niederschlagsdeposition im Land Brandenburg

Bearbeitung
Landesumweltamt Brandenburg
– Abteilung Immissionsschutz
Referat I3 Gebiets- und verkehrsbezogener Immissionsschutz unter Beteiligung von
Referat I2 Luftgütemessnetze und
Referat I4 Katasterwesen und Emissionsermittlung
– Abteilung Ökologie und Umweltanalytik
Referat Q6 Referenzlabor Luft und Luftuntersuchungen

Gesamtherstellung: Digital & Druck, Inh. Matthias Greschow, Welzow
Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier

Schutzgebühr 7,- €



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

Staubniederschlag und Niederschlagsdeposition im Land Brandenburg

Studien und Tagungsberichte
Band 36



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG

Inhalt

Zusammenfassung	3
Summary	4
1 Vorbemerkungen	6
2 Allgemeines	6
2.1 Staubbiederschlag	6
2.2 Niederschlagsdeposition	6
2.3 Methodische Grenzen der Messung atmosphärischer Depositionen	7
2.4 Limitierungen	8
2.5 Regionalisierte Auswertungen	9
3 Emissionsstruktur	10
4 Staubbiederschlag	11
4.1 Methodik der Probengewinnung und Analytik	11
4.2 Staubbiederschlagsbefunde	11
4.2.1 Gesamtstaub	13
4.2.2 Spurenelemente	15
4.2.2.1 Arsen	19
4.2.2.2 Blei	19
4.2.2.3 Cadmium	22
4.2.2.4 Chrom	22
4.2.2.5 Mangan	22
4.2.2.6 Nickel	26
4.2.2.7 Zink	26
4.2.2.8 Cobalt, Eisen, Molybdän	29
4.2.2.9 Barium, Kupfer, Titan	29
4.2.2.10 Antimon, Selen, Zinn, Vanadium	29
4.2.2.11 Strontium, Thallium	33
4.2.3 Luftverunreinigungsindex für ausgewählte Spurenelemente	33
5 Niederschlagsdeposition	35
5.1 Methodik der Probengewinnung und Analytik	35
5.1.1 Bulk-Sammler	35
5.1.2 Wet-only-Sammler	36
5.1.3 Sonstige Messeinrichtungen	36
5.1.4 Messnetz	36
5.1.5 Probenahme und Analytik	37
5.1.5.1 Hauptinhaltsstoffe	37
5.1.5.2 Spurenelemente	37
5.1.5.3 Organica	38
5.2 Niederschlagsdepositionsbefunde	40
5.2.1 Hauptinhaltsstoffe	40
5.2.1.1 Bulk-Niederschlagsdepositionsbefunde der Messstelle Lauchhammer (1983 bis 1999)	40
5.2.1.2 Frachten der Niederschlagsdeposition im Zeitraum 1996 bis 1999 an den Messstellen des Landes Brandenburg	46
5.2.1.3 Untersuchungen zu den Herkunftsräumen ausgewählter Frachten	56
5.2.1.4 Niederschlagsdepositionsmessungen des Umweltbundesamtes im Land Brandenburg	61
5.2.1.5 Zusammenfassende Einschätzung der Entwicklung der Frachten im Zeitraum 1994 bis 1999	61
5.2.1.6 Stoffeintrag in Waldökosysteme (Fallbeispiel Kienhorst)	61
5.2.1.7 Erkennbare Wirkungen auf angrenzende Kompartimente	63
5.2.2 Spurenelemente	65
5.2.2.1 Auswertung repräsentativer Befunde	65
5.2.2.2 Vergleich der Spurenelementfrachten von Niederschlagsdepositionen und Staubbiederschlag	73
5.2.2.3 Stoffeintrag in Waldökosysteme	75
5.2.3 Organica	75
5.2.3.1 Methodik der Auswertung der Befunde	75
5.2.3.2 Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe	76
5.2.3.3 Flüchtige und schwerflüchtige Kohlenwasserstoffe	81
5.2.3.4 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	84
6 Ausblick	85
Quellen- und Literaturverzeichnis	86
Anhang Verzeichnis	91
Anhang	92

Zusammenfassung

Es werden die für den Zeitraum 1991 bis 1999 verfügbaren Befunde der Staubbiederschlags- und der Niederschlagsdepositionsmessungen in hochaggregierter Form vorgestellt und interpretiert, wobei für letztgenannte Messungen auch wichtige methodische und bewertende Details dargelegt werden. Regionalisierte Auswertungen der Befunde stellen auf die 5 Planungsregionen des Landes Brandenburg ab.

Die anthropogenen Staubemissionen (Anlagen, Verkehr) in Brandenburg sind im Zeitraum 1991 bis 1999 auf 5 % gesunken. Die maßgebliche landesweite Reduzierung des Staubbiederschlags war bereits 1993 weitgehend beendet. Es wurden im Untersuchungszeitraum zwischen 133 und 295 Staubbiederschlagsmessstellen betrieben. Im Landesmittel ist die Höhe des Staubbiederschlags 1999 auf etwa 29 % der Belastung im Jahr 1991 gesunken. Während 1991 noch an 44 % aller Messstellen der IW1-Wert der TA Luft [35] überschritten blieb, wurden 1999 keine Überschreitungen mehr festgestellt. Im Landesmittel betrug 1999 der Staubbiederschlag $0,1 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, wobei sich der natürliche Staubbiederschlag (Resuspensionen, natürliche Quellen, Ferntransport) in der Größenordnung von $0,03 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ bewegte. In den letzten 2 Jahren wurden keine nennenswerten regionalen Unterschiede der I1-Kenngrößen mehr festgestellt.

Die Belastung durch Spurenelemente durch Staubbiederschlag zeigte im Allgemeinen im zeitlichen Trend ein Absinken.

Die in Diskussion befindliche Begrenzung für Arsen ($4 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) wurde in Einzelfällen überschritten. Insbesondere zu Beginn des Untersuchungszeitraumes zeigten sich in der Region Lausitz-Spreewald im Vergleich zu den anderen Regionen des Landes erhöhte Befunde, die durch Emissionen bzw. Altlasten aus Braunkohlenkraftwerken und Bleiglasindustrie verursacht wurden.

Der zulässige Immissionswert für Blei wurde nur an 2 Messstellen anfangs überschritten. Als Folge des Wechsels zu bleifreien Otto-Kraftstoffen und der Stilllegung oder Sanierung industrieller Emittenten zeigte sich insbesondere zu Beginn des Untersuchungszeitraumes eine sinkende Belastung.

Der zulässige Immissionswert für Cadmium wurde nur an wenigen Messstellen anfänglich und jeweils nur für die Dauer eines Jahres überschritten. Während sich zu Beginn des Untersuchungszeitraumes im zeitlichen Trend deutliche Minderungen zeigten, ist das Niveau seit 1997 praktisch konstant.

Chrom (insbesondere in der Region Prignitz-Oberhavel) und Nickel wurden in Brandenburg im bundesweiten Vergleich relativ hoch festgestellt.

Untersucht wurden darüber hinaus Mangan, Zink, Cobalt, Eisen, Molybdän, Kupfer, Titan, Antimon, Selen, Zinn, Vanadium, Strontium und Thallium. Beurteilungswerte ohne Rechtsverbindlichkeit wurden bei Chrom, Mangan, Nickel, Zink und Selen an einigen Messstellen überschritten.

Das Niederschlagsdepositions-Messnetz des Landes Brandenburg rekrutiert sich aus Level-II-Messstellen der Landesforstanstalt Eberswalde und aus Messstellen des Landesumwelt-

amtes; es wurden in den letzten Jahren im Allgemeinen an 12 Orten Messstellen betrieben. Der Umfang der Messungen an den verschiedenen Orten variiert deutlich (Bulk, Wet-only, Bestand, Freiland, Hauptbestandteile, Spurenelemente, Organica).

Für die am längsten betriebene Messstelle (seit 1983) in Lauchhammer wird die Entwicklung der elektrischen Leitfähigkeit des Säure-Base-Zustandes, der Konzentration von Sulfat, Ammonium und Nitrat vorgestellt. Die Konzentration der Inhaltsstoffe Sulfat und Calcium zeigte insbesondere bis Mitte der 90er Jahre eine deutlich sinkende Tendenz. Es wurde eine hohe Korrelation zwischen der SO_2 -Immission und der SO_4 -Konzentration in der Niederschlagsdeposition festgestellt. Die Entwicklung der Ammonium- und der Nitratkonzentration zeigte nur einen schwach sinkenden Trend. Der mittlere Quotient von Nitrat- und Ammoniumkonzentration liegt bei 2,5; er hat sich im gesamten Betrachtungszeitraum kaum verändert. Die festgestellten Stickstofffrachten lagen vielfach über den Critical Loads. Während sich der Median des pH-Wertes im Zeitraum 1983 bis 1991 zwischen 5,4 und 6,5 bewegte, lag er im Zeitraum 1992 bis 1999 im Bereich 4,5 bis 5,1, d.h. die Niederschläge sind saurer geworden. Effektiver Protonenüberschuss und Versauerungspotenzial sind allerdings zurückgegangen.

Die Schwefelfrachten waren spätestens nach 1994 an den meisten Messstellen deutlich gesunken und hatten sich gegen Ende des Untersuchungszeitraumes weitgehend nivelliert. Während 1994 im Mittel aller Messstellen die Jahresfracht (SO_4 -S) bei Wet-only-Messungen mit $7 \text{ kg}/\text{ha}$ und bei Bulk-Messungen mit $12 \text{ kg}/\text{ha}$ festgestellt wurde, lagen 1999 diese Werte bei $3,5 \text{ kg}/\text{ha}$ bzw. bei $4,8 \text{ kg}/\text{ha}$. Insbesondere zu Beginn des Messzeitraumes wurde eine Zunahme der Schwefeldeposition von Nord nach Süd beobachtet.

Die Frachten des anorganischen Stickstoffs unterlagen merklichen annuellen Schwankungen, da sie deutlich der Entwicklung der jährlichen Niederschlagshöhe folgten. Im Mittel aller Messstellen wurde die Jahresfracht (Summe NO_3 -N+ NH_4 -N) 1996 mit etwa $8 \text{ kg}/\text{ha}$ bei Wet-only-Probenahme und etwa $12 \text{ kg}/\text{ha}$ bei Bulk-Probenahme ermittelt; 1999 lagen die Werte bei beiden Probenahmearten bei je $7 \text{ kg}/\text{ha}$. Damit wurden die Critical Loads für die klassifizierten Kompartimente weitgehend überschritten. Insbesondere in Wäldern, in denen die Frachten noch beträchtlich höher liegen, war eine erhebliche Stickstoff-Übersorgung gegeben.

Der pH-Wert der Niederschläge war zu Beginn des Untersuchungszeitraumes höher als Mitte der 90er Jahre, obgleich die Säureeinträge 1992 größer waren, da das Basenbildner-Dargebot über den Staub erheblich gesunken war. Die Protonenfrachten lagen im Zeitraum 1996–1999 in der Bulk-Deposition an Freilandmessstellen zwischen $0,25$ und $0,35 \text{ keq}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ und überstiegen somit systematisch die Critical Loads. Im Landesmaßstab wurde eine zunehmende Tendenz von Nord nach Süd festgestellt.

Vorgestellt werden weiterhin die Befunde für die Summe des organisch gebundenen Kohlenstoffs (TOC) sowie für Natrium, Chlorid und Fluorid.

Untersuchungen zu den Herkunftsräumen der Frachten von Hauptinhaltsstoffen an den Messstellen Lauchhammer und Kienhorst in den Jahren 1998 und 1999 deuten darauf hin, dass sich die Sulfatfracht in beachtenswerter Höhe auch aus Einträgen aus Polen und Tschechien rekrutierte. Die Calciumfracht wurde dagegen vor allem aus Staubquellen im regionalen Messstellenumfeld gespeist. Die TOC-Fracht rekrutierte sich wahrscheinlich aus dem näheren Messstellenumfeld, wobei biogene Quellen vermutlich von Bedeutung sind. Ein maßgeblicher Einfluss von nahe gelegenen Tierhaltungsanlagen auf die Ammoniumfracht der Niederschlagsdeposition konnte nicht nachgewiesen werden. Ein Vergleich der Herkunftsbereiche der Nitratfracht mit den Herkunftsbereichen der NO₂-Immission zeigte keine Übereinstimmung. Dagegen war eine überwiegend gute Übereinstimmung der sektoralen Verteilung der Nitrat- und der Ammoniumfracht – insbesondere bei Wet-only-Probenahme – zu verzeichnen. Die maritimen Quellen für die Chlorid- und die Natriumfracht waren offenkundig.

Es wurden seit 1996 an 7 Messstellen auch löslichkeitsverfügbare Spurenelemente in der Niederschlagsdeposition analysiert. Die jährlichen Bulk-Frachten lagen im Freiland bei Arsen in der Grö-

ßenordnung von 3–7 g/ha, bei Blei im Bereich 20–40 g/ha und bei Cadmium in der Größenordnung von 0,5–2,5 g/ha. Weiterhin wurden Chrom, Nickel, Zink, Eisen, Molybdän, Selen und Kupfer analysiert. Die Spurenelementfrachten von Niederschlagsdepositionen und Staubbiederschlag am selben Standort wurden verglichen; allgemein gültige Aussagen waren aus diesem Vergleich nicht abzuleiten.

Seit 1997 wurden an 5 Messstellen organische Spurenstoffe in der Niederschlagsdeposition analysiert. Aufgrund der breiten Stoffpalette – 51 verschiedene Verbindungen wurden untersucht – war ein strenges Probenleistungsregime notwendig, welches dazu führte, dass nicht in allen Proben die entsprechenden Stoffgruppen mit ausreichenden Nachweisgrenzen gemessen werden konnten. Die im Messzeitraum für viele Stoffe sinkenden Konzentrationen führten zu immer geringerer Befundhäufigkeit oberhalb der Nachweisgrenze. Eine Berechnung der Frachten war daher nur für sehr wenige Stoffe möglich. Die ermittelten Frachten wurden hinsichtlich ihrer Relevanz für das Grundwasser nach einem Algorithmus des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) mit folgendem Ergebnis bewertet:

Bewertungszahl	Bonitierung	Stoff
0 - 20	Sehr gering	Benzo(a)pyren, Benzo(k)fluoranthren, Lindan
20 - 40	Gering	Trichlorethen, o-Xylol, Ethylbenzol, Fluoranthren, Benzo(b)fluoranthren
40 - 60	Mittel	Trichlormethan, Toluol, mp-Xylol, Benzol,
60 - 80	Hoch	Phenol, 4-Nitrophenol, Halogenessigsäuren
80 - 100	Sehr hoch	Carbonsäuren

Summary

Highly generalised data of dust and precipitation deposit measurements available for the 1991–1999 period are presented and discussed. Major methodological and evaluative details were included for the latter. Evaluations on a regional basis are matched to the five planning regions of the state of Brandenburg.

In the state of Brandenburg, anthropogenic dust emissions (attributable to plant as well as traffic and transport) dropped to five percent over the 1991–1999 period. Statewide reductions of dust deposits largely ended as early as 1993. Between 133 and 295 dust deposit measurement points were operated throughout the period of study. In 1999, the mean value of dust deposits, statewide, had dropped to about 29 percent of 1991 loads. While in 1991 the IW1-value laid down in the Technical Instructions on Air Quality Control [35] was exceeded at 44 percent of all measuring points, no such results were recorded in 1999. In 1999 the mean average dust deposit in the state of Brandenburg registered at 0.1g/(m²%d). Of this amount, natural dust deposits (resuspension, natural sources, long range transport) amounted to about 0.03g/(m²%d). Over the past two years no significant regional differences of 11 values were registered.

Trace element loads of dust deposits generally reflected a fall off over time.

In a few instances, the debated arsenic limit (4ig/(m²%d)) has been exceeded. Particularly at the onset of the period under study and compared to other regions of the state of Branden-

burg, higher values were recorded for the Lausitz-Spreewald region. These were due to emissions and residual contamination by lignite-fired power plants and lead glass industries, respectively.

Admissible lead immission values were exceeded only at two measuring points, and only initially. Particularly at the onset of the period under study, lower values were registered due to the changeover to unleaded petrol and as a result of decommissioning or rehabilitating industrial facilities.

Only initially and for one year, the admissible cadmium immission values were exceeded at a few measuring points. While significant reductions were evident at the beginning of the period under study, a comparison of results over time shows that levels have remained almost constant as of 1997.

Compared to the rest of the country, relatively high chromium (especially in the Prignitz-Oberhavel region) and nickel levels were recorded in the state of Brandenburg.

Over and above, values were also recorded for manganese, zinc, cobalt, iron, molybdenum, copper, titanium, antimony, selenium, tin, vanadium, strontium and thallium. At some measuring points, evaluation values which are not legally bound were exceeded for chromium, manganese, nickel, zinc and selenium.

The measuring network of precipitation deposits of the state of Brandenburg includes Level-II measuring points of the State Forestry Agency at Eberswalde and measuring points of the

State Office for the Environment. Over the past few years, measuring points were operated at 12 locations, on average. Various locations cover a markedly different range of measurements (bulk, wet-only, stand, open land, main components, trace elements, organic substances).

For the oldest measuring point in operation (Lauchhammer, as of 1983), results reflecting tendencies of electric conductivity, of the acid-base behaviour and of sulphate, ammonium and nitrate concentrations are presented. Concentrations of sulphate and calcium ingredients showed a clear fall-off, especially until the mid 90s. A high correlation was observed between SO₂ immissions and SO₄ concentrations as deposited by precipitation. Tendentially, only a weaker fall-off was observed of ammonium and nitrate concentrations. The median ratio of nitrate and ammonium concentrations scores at 2.5, a figure that hardly changed throughout the period under study. Recorded nitrogen loads often exceeded Critical Loads. While median pH values throughout 1983 to 1991 ranged from 5.4 to 6.5, they measured between 4.5 and 5.1 between 1992 and 1999. That means, precipitation has turned out to be more acid. On the other hand, both the effective proton surplus and the acidification potential went down.

After 1994 at the very latest, sulphur loads had fallen off markedly at most measuring points. They had levelled out towards the end of the period under study. Whereas in 1994 average annual loads of SO₄-S from all measuring points equalled 7kg/ hectare for wet-only measurements and 12 kg/hectare for bulk measurements respectively, these values had fallen to 3.5 kg/ hectare and 4.8 kg/hectare respectively, by 1999. Especially at the onset of the measuring period a north to south increase in sulphur deposits was observed.

Inorganic nitrogen loads were subject to noticeable fluctuations throughout the year. They clearly followed annual rainfall values. Averaged out over all measuring points, the annual load of NO₃-N+NH₄-N in 1996 registered at about 8 kg/hectare for wet-only sampling and at about 12 kg/hectare for bulk sampling. In 1999 results of both types of sampling reached about 7 kg/hectare. This means that Critical Loads in the classified compartments were exceeded by a large measure. Forests, in particular, where loads are much higher still, showed a significant nitrogen oversupply.

At the beginning of the period under study, pH values of precipitations were higher than in the mid-90s, although there had been a higher acid pollution in 1992. This was due to the fact that the basifier supply of dust had fallen off considerably. As for bulk deposits, proton loads registered at open land measuring points throughout the 1996–1999 period ranged

from 0.25 to 0.35 keq/(hectare%a), thus systematically exceeding Critical Loads. For the entire state, values showed a tendency to increase from north to south.

Findings are also submitted for total organic carbon (TOC), as well as for sodium, chloride and fluoride.

In 1998 and 1999 studies were also carried out into the originating locations of the main ingredients of loads registered at the Lauchhammer and Kienhorst measuring points. These indicate that a remarkable portion of sulphate loads was also due to pollution carried from Poland and the Czech Republic. Calcium loads, however, mainly fed on dust sources in the region around measuring points. TOC loads probably originated in areas in close proximity to measuring points. It is assumed that biogenic sources play some role in this. It was not possible to prove any major influence of animal husbandry facilities nearby on ammonium loads of precipitation deposited. No agreement was found when comparing regions of origin of nitrate loads with those of NO₂ immissions. Contrary to this, the study noted predominantly good agreement of sectoral distributions of nitrate and ammonium loads, particularly as registered by wet-only sampling. Maritime origins of chloride and sodium loads were obvious.

Amounts of soluble trace elements in precipitation deposits at seven measuring points were also analysed as of 1996. Open land annual bulk loads of arsenic ranged from 3 to 7 g/hectare, of lead from 20 to 40 g/hectare and of cadmium from 0.5 to 2.5 g/hectare. Additional analyses covered chromium, manganese, nickel, zinc, iron, molybdenum, selenium and copper. Comparisons were also run of trace element loads of precipitation deposits and dust deposits at the same site. It was impossible, however, to arrive at any findings of general validity.

Starting from 1997 and with five measuring points, traces of organic substances in precipitation deposits were analysed. Since analyses covered a wide range of substances and included 51 different compounds, it became necessary to subdivide samples very strictly. As a result, not all groups of substances could be analysed in all samples, because sometimes detection limits were not sufficiently met. For many substances, concentrations fell off over the measurement period. This, in turn, led to ever fewer findings over and above detection limits. As a result, loads could only be calculated for very few substances. As for ground water relevant loads, the study employed an algorithm proposed by Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (German Association of Water Management and Farming Technique/DVWK). Results were as follows:

Evaluation	range/Evaluation	Substances
0 – 20	very low	benzo[a]pyrene, benzo[k]fluoranthene, lindane
20 – 40	low	trichlorethene, o-xylene, ethylbenzene, fluoranthene, benzo[b]fluoranthene
40 – 60	medium	trichloromethane, toluene, mp-xylene, benzene
60 – 80	high	phenol, 4-nitrophenol, halogenated acetic acids
80 – 100	very high	carbonic acids

1 Vorbemerkungen

Im vorliegenden Bericht werden die für den Zeitraum 1991 bis 1999 verfügbaren Befunde der Staubniederschlagsmessungen und der Niederschlagsdeposition in hochaggregierter Form vorgestellt und interpretiert. Einzelbefunde können den Berichten [1, 2, 3] entnommen werden. Für Staubniederschlag stehen darüber hinaus umfangreiche Daten für den Zeitraum 1975 bis 1990 zur Verfügung [4]. Die Staubniederschlagsdaten aus dem Zeitraum 1975 bis 1990 sind jedoch kaum mit denen ab 1991 vergleichbar, da die damalige Probenahmemethode im Durchschnitt um mehr als 30 % höhere Messergebnisse als nach dem BERGERHOFF-Verfahren [4, 5], im Einzelfall sogar um mehr als 300 % höhere Einzelbefunde erbrachte.

Eine Zusammenfassung und Bewertung der Staubimmission (Staubniederschlag und Schwebstaub) und des Spurenstoffgehaltes des Staubes im Land Brandenburg für den Zeitraum 1991 bis 1997 liegt bereits vor und beschreibt detailliert messstellenspezifisch die Immissionssituation, stellt Bezüge zu maßgeblichen Emittenten her, untersucht die Relevanz von Flächenquellen und vergleicht Staubniederschlagsbefunde [6]. Der vorliegende Bericht stellt in Weiterführung dieser Untersuchung die aus dem Staubniederschlag resultierenden Schadstoffeinträge in die Umwelt stärker in den Mittelpunkt der Betrachtungen und schreibt die Befunddarstellung in aggregierter Form fort. Da die Höhe des Staubniederschlages im Berichtszeitraum in Brandenburg erheblich gesunken ist - wie im Kapitel 4 detailliert dargelegt wird - sind deren direkte Wirkungen für den Menschen in Form erheblicher Belästigungen oder direkter oraler Aufnahme von Schadstoffen stark reduziert worden. Als Teil der atmosphärischen Deposition („... Austrag von Stoffen aus der Atmosphäre auf angrenzende Kompartimente“ [9]) ist der Staubniederschlag jedoch nach wie vor von Bedeutung.

Da die Befunde zur Niederschlagsdeposition und zur nassen Deposition bisher noch nicht zusammenfassend und vertieft interpretierend vorgestellt wurden, werden hier für die

Niederschlagsdeposition auch methodische und bewertende Details vorgestellt. Diese Details sind unverzichtbar, da im Gegensatz zur Messung des Staubniederschlages bis 1998 für die Erfassung der Niederschlagsdeposition keine allgemeinverbindlichen Regelwerke bzw. Normen existierten, auf deren Grundlage eine uneingeschränkte Vergleichbarkeit der Daten gegeben wäre. Da organische Spurenstoffe in der Niederschlagsdeposition erst seit 1997 gemessen wurden, und die Befundhäufigkeit oberhalb der Nachweisgrenzen bei vielen Stoffen gering war, wurden hier auch die Messergebnisse des Jahres 2000 in die Untersuchungen einbezogen, um die Validität der Aussagen zu erhöhen.

Die Depositionen „können lokale, auf einen Emittenten bezogene oder weit entfernte Quellen haben. Depositionen aus lokalen Quellen sind ihrer Menge nach deutlich höher und hängen stark von der aktuellen meteorologischen Situation ab“ [12].

Die Kontaminationen von Böden und Gewässern und die Schädigung von Ökosystemen durch atmosphärische Depositionen sind in den letzten Jahren in erheblichem Umfang zum Bewertungsmaßstab für die Immissionssituation geworden und begründen zunehmend Maßnahmen zur Luftreinhaltung. Beispielsweise wurden im Rahmen des Schweriner „Workshop on Effectbased Approaches for Heavy Metals“ (1999), der ein wichtiger Schritt internationaler Abstimmungen zur Critical Load-Problematik war, die wachsende Bedeutung des Bodens bei der Bewertung von Umweltrisiken insgesamt und die Tatsache hervorgehoben, dass nach gegenwärtigem Wissensstand humantoxikologische Risiken durch Schwermetalle fast immer geringer sind als ökologische Risiken [36].

Die neuen Rechtsvorschriften zum Bodenschutz [7, 8] und die stärkere Hinwendung zu ökologischen Schutzziele sind in besonderem Maße Anlass, die Situation des Landes Brandenburg hinsichtlich der Niederschlagsdeposition zusammenfassend darzustellen und zu bewerten.

2 Allgemeines

2.1 Staubniederschlag

Die nach dem BERGERHOFF-Verfahren [11] ermittelte Deposition wird nach der Messkonvention, nach Verwaltungsvorschriften [35, 65] und auch umgangssprachlich als Staubniederschlag bezeichnet, obgleich das Messobjekt exakt als „partikelförmiger Niederschlag“ zu bezeichnen wäre: „Unter partikelförmigem Niederschlag versteht man luftfremde Stoffe in festem und flüssigem Aggregatzustand ohne deren Wasseranteil, die in einer bestimmten Zeit aus der Troposphäre auf eine horizontale Fläche in Erdbodennähe fallen“ [10]. Da beispielsweise durch den Regen auch Staubteilchen mit sehr kleinem Durchmesser und Teilchen aus höheren Schichten der Atmosphäre in die Probenahmegefäße gelangen, umfasst der nach BERGERHOFF [10, 11] ermittelte Staubniederschlag nicht nur grobe sedimentierende Partikel und nicht nur Luftschadstoffe aus örtlichen Quellen.

2.2 Niederschlagsdeposition

Die Summe aus trocken sedimentierenden Partikeln und der nassen Deposition (Deposition von Regen und Schnee mit gelösten und ungelösten Inhaltsstoffen) wird als Niederschlagsdeposition bezeichnet [12]; sie ist jedoch nicht mit dem partikelförmigen Niederschlag (Staubniederschlag) nach [10, 11] identisch.

Die Gesamtdeposition umfasst die Summe aus Niederschlagsdeposition, feuchter Deposition (Impaktion von Nebel- oder Wolkenröpfchen) und trockener Deposition von Gasen und Aerosolen [13].

Die Höhe der feuchten Deposition und die trockene Impaktion von Gasen und Aerosolen werden erheblich von Gestalt und Oberflächeneigenschaften des jeweiligen Rezeptors bestimmt. Die Deposition durch Impaktion wird vom Landesumweltamt Brandenburg nicht erfasst.

2.3 Methodische Grenzen der Messung atmosphärischer Depositionen

Probenahmegeräte für Depositionen sind Surrogatsysteme, die die Deposition im jeweiligen Rezeptorsystem nur sehr unvollkommen approximieren. Sie liefern akzeptorunabhängige Aussagen über atmosphärische Stoffflüsse, die jedoch für Bilanz-

zwecke mit Unsicherheiten behaftet sind. Selbst die streng nach der Richtlinie für die Beobachtung und Auswertung der Niederschlagsbeschaffenheit [12] gemessenen Stoffflüsse können die wirklichen Stoffeinträge in konkrete Ökosysteme nur annähern [64].

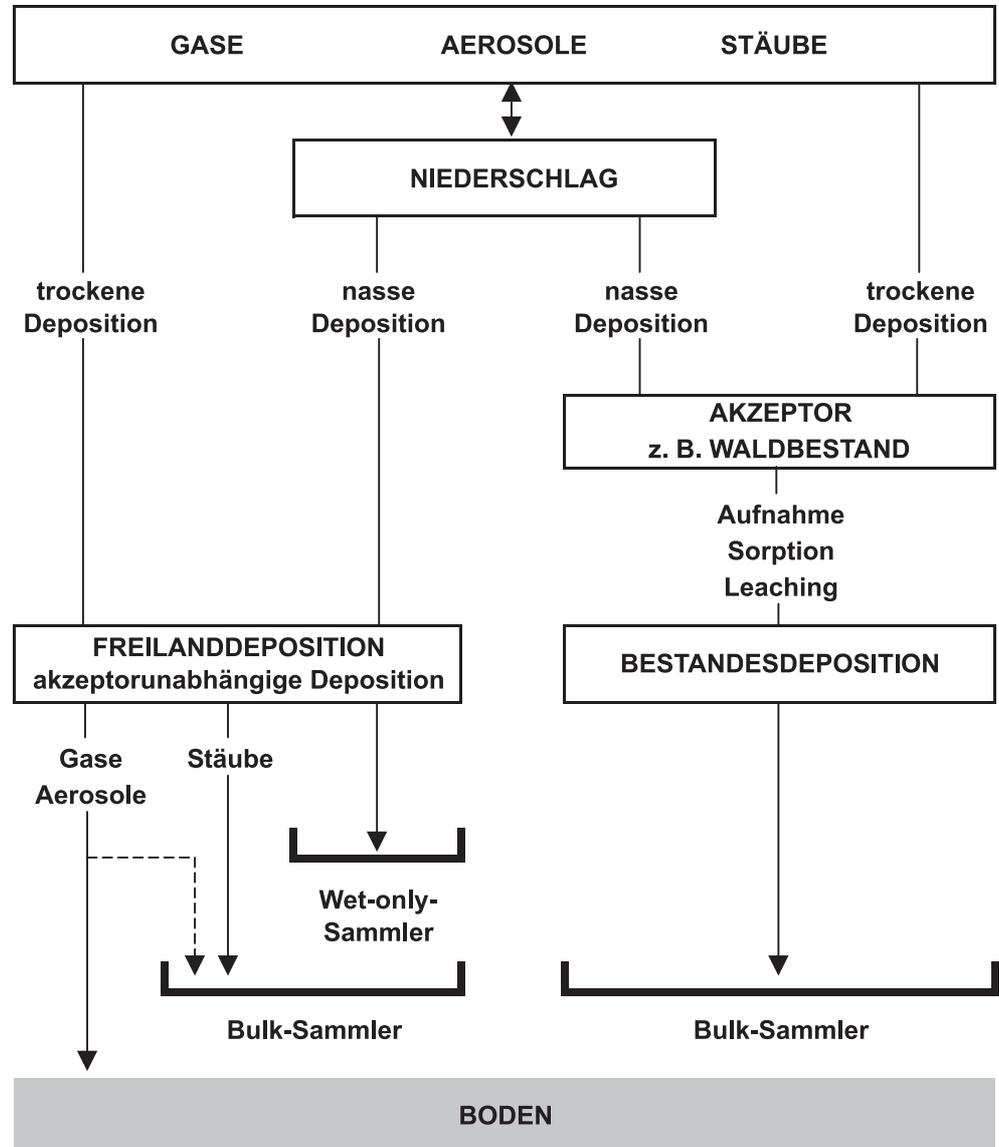


Abb. 2.1: Bezug der Depositionsvorgänge zu den Erfassungsmethoden [12]

Abbildung 2.1 gibt eine Übersicht über die objektiv bedingten Erfassungsgrenzen für die verschiedenen Probenahmeverfahren.

Die Probenahme für den Staubbiederschlag nach [10, 11] und die Probenahme für die Bulk-Niederschlagsdeposition erfolgen durch ständig geöffnete Gefäße. Dennoch sind beide Verfahren kaum miteinander vergleichbar, da jeder der beiden Sammlertypen eine eigene Sammelspezifität aufweist, die durch eine Vielzahl von Randbedingungen bewirkt wird (z.B. Geometrie des Sammlers, Aufstellhöhe, Haftwasserungsverlust). Weiterhin unterscheiden sich die beiden Verfahren hinsichtlich der Analytik grundlegend. Die Inhaltsstoffe der Staubbiederschlagsprobe werden nach völligem Eindampfen und einem Totalaufschluss der Rückstände analysiert, während in der

Niederschlagsdepositionsprobe nach [12] die in der wässrigen Phase löslichkeitsverfügbaren (durch Salpetersäure mobilisierte) Inhaltsstoffe analysiert werden.

Die Befunde aus Bulk-Niederschlagsdepositionsmessungen sind nicht gleichzusetzen mit der Gesamtdosition für das Gebiet, in dem der Sammler steht, da das spezifische Auskämverhalten der jeweiligen Rezeptoren die Höhe der trockenen Deposition und der feuchten Deposition deutlich beeinflusst; Bulk-Befunde repräsentieren aber in guter Näherung die Niederschlagsdeposition.

Mit der Wet-only-Messung wird in guter Näherung die nasse Deposition erfasst, wobei natürlich – besonders bei Schwachregenperioden – auch gasförmige oder partikuläre Stoffe (se-

dimentierend oder resuspendierend) trocken in die Probe gelangen können.

Bei seltenen Starkregenperioden ist nicht auszuschließen, dass sowohl bei Bulk- als auch bei Wet-only-Probenahmen die Probenahmebehälter überlaufen; in solchen Fällen repräsentieren die auswertbaren Probemengen nicht die tatsächliche Gesamtfracht.

Die Resuspension täuscht höhere Frachten vor als sie tatsächlich gegeben sind, da das erfasste resuspendierte Material überwiegend von der selben Fläche (und deren näherer Umgebung) abgetragen wurde, auf der sich die Messstelle befindet. Das resuspendierte Material führt zu höheren Depositionsbefunden, ist aber vielfach bilanzneutral. Diese Depositionen sind „keinem vertikalen, sondern einem lateralen (und lokal höhenabhängigen) Fluss zuzuordnen“. Es handelt sich also „um Partikel lokal aufgewirbelten Materials, einschließlich adsorbierter Spezies, die zusammen mit an den Wänden des Aufnahmefäßes angelagerten Spezies in die Probe eingewaschen werden“ [67].

2.4 Limitierungen

Es existieren Immissionswerte für Staubbiederschlag und einiger Inhaltsstoffe zum Schutz vor erheblichen Nachteilen oder erheblichen Belästigungen in der TA Luft [35]. Darüber hinaus werden in [68] Immissionswerte zum „Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Schadstoffdepositionen“ genannt.

Aus dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) [7] und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) [8] ergeben sich bezüglich der atmosphärischen Deposition neue oder zumindest erweiterte Anforderungen [14]. Der LAI-Arbeitskreis „Luftschadstoffe/Bodenschadstoffe“ hat diesen Anforderungen Rechnung tragend neue bzw. verschärfte Limitierungen des Staubbiederschlages empfohlen (As 4 µg/(m²·d), Pb 100 µg/(m²·d), Cd 2 µg/(m²·d), Ni 15 µg/(m²·d), Tl 2 µg/(m²·d)) [15]. Die BBodSchV limitiert darüber hinaus auch die zusätzlichen Frachten für Cr, Cu und Zn. Das Spektrum der Schadstoffe, die nach der BBodSchV für schädliche Bodenveränderungen relevant sind, ist noch wesentlich umfangreicher. Für diese Stoffe sind Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte für den Boden festgelegt worden, die im Rahmen des vorliegenden Berichtes insofern von Wichtigkeit sind, als damit die Relevanz der untersuchten Stoffe eingeschätzt werden kann.

Verbindliche Grenzwerte für atmosphärische Depositionen in toto gibt es nicht. Als Beurteilungsmaßstab zum Schutz vor ökologischen Schäden dienen die Critical Loads. Sie quantifizieren die Gesamtdosition eines oder mehrerer Schadstoffe derart, dass bei deren Unterschreitung keine schädigenden Wirkungen an spezifizierten Rezeptoren nachweisbar sind. Es gibt keine universellen Critical Loads, sondern nur schutzgut-spezifische Beurteilungswerte, die außerdem durch Randbedingungen (z.B. Zusammensetzung des Bodens, Verwit-

Insbesondere von vegetationsarmen Böden oder Halden kommt es bei anhaltender Trockenheit und bei Windgeschwindigkeiten oberhalb 7 m/s zu erheblichen Verwehungen; für Ackerflächen werden jährliche Gesamterosionsraten zwischen 60 und 110 g/m² genannt [69, 70].

Die Probenahmeintervalle haben Einfluss auf das Messergebnis. Je länger die aufgefangenen Niederschläge – besonders bei fehlender Probenkühlung – bis zur analytischen Abarbeitung unbehandelt im Sammelgefäß verbleiben, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit stofflicher Umwandlungen in der Probe (z.B. Transformation organischer Verbindungen, mikrobiologisch bedingte Veränderungen) und damit die Gefahr von Befundveränderungen.

Da für organische Analytik die Proben geteilt werden müssen, und bestimmte Mindestprobemengen für die einzelnen Analysedaten nicht unterschritten werden dürfen, können bei Schwachregenperioden nicht alle Stoffgruppen analysiert werden, was die Befundhäufigkeit und damit die aggregierten Messergebnisse in ihrer Validität beeinträchtigt.

terungsraten des Ausgangsgesteins, Stoffaustrag durch Sickerwasser oder gasförmig stark überprägt werden können.

Die Ermittlung von Critical Loads für landwirtschaftlich genutzte Acker- und Grünlandflächen ist nicht vorgesehen, da bei diesen der Säure-/Basenstatus und der Nährstoffstatus im Wesentlichen durch Düngung sowie Stoffaustrag durch die Ernte bestimmt werden. Auf Waldflächen und stillgelegten landwirtschaftlichen Flächen spielt die Deposition dagegen die dominierende Rolle.

Die Critical Loads für Säureinträge quantifizieren die höchste Deposition von säurebildenden Verbindungen, die keine langfristig schädlichen Effekte in Struktur und Funktion der Ökosysteme hervorrufen. Für das Land Brandenburg wurde für den Rezeptor Wald für den überwiegenden Flächenanteil der Critical Load-Wert unterhalb von 1.500 eq/(ha·a) (Ionenäquivalente pro Hektar und Jahr), für einen beachtlichen Anteil sogar unter 500 eq/(ha·a) ermittelt [140]. Nur auf wenigen Waldflächen Deutschlands wurden 1995 die Critical Loads nicht überschritten. „Die Grenzüberschreitung war im Süd-Osten der neuen Bundesländer am höchsten“ [140]. Die Critical Loads für eutrophierende Stickstoffinträge in Waldökosystemen bewegen sich in Deutschland etwa zwischen 5 kg N/(ha·a) und 20 kg N/(ha·a), für Nadelwaldareale liegt der Großteil der Flächen bei 5 kg N/(ha·a) bis 10 kg N/(ha·a). Für Brandenburg wurde für den Rezeptor Wald für den überwiegenden Flächenanteil ein Critical Load-Wert unterhalb von 8 kg N/(ha·a) ermittelt [140].

Der Critical Load-Wert wird von den natürlichen Eigenschaften der Ökosysteme am konkreten Standort bestimmt. Beispielsweise wurden im Rahmen einer Fallstudie im Landkreis Märkisch-Oderland folgende Critical Loads für eutrophierende Stickstoffinträge für einige empfindliche Ökosysteme ermittelt [16]:

Saure Nadelwälder	7 - 20 kg N/(ha · a)
Saure Laubwälder	10 - 20 kg N/(ha · a)
Tieflandböden, trockene Standorte	15 - 20 kg N/(ha · a)
Artenreiche Heiden/Magerrasen, saure Standorte	10 - 15 kg N/(ha · a)
Niedermoore	20 - 35 kg N/(ha · a)

Die nasse Deposition ist für viele Ökosysteme (z.B. Wälder) insbesondere im Flachland nicht die maßgebliche Deposition

[17]. Die Größenordnung des Anteils der nassen Deposition an der Gesamtdosition zeigt Tabelle 2.1.

Tab 2.1:
Anteil der nassen Deposition an der Gesamtdosition in Deutschland im Jahre 1993 nach [18]

Anteil (%) der nassen Deposition an der Gesamtdosition	Landwirtschaftliche Nutzfläche	Nadelwald	Laubwald
SO _x -S	43	19	19
NH ₃ -N	77	53	53
NO _x -N	77	48	45
Ca	59	37	38
K	63	48	50
Mg	48	29	40
Na	48	37	38

Die im vorliegenden Bericht vorgestellten Depositionsdaten sind – soweit nichts anderes angemerkt – Befunde von Freilandmessungen, das heißt die Ergebnisse repräsentieren die akzeptorunabhängige Deposition. Die Probenahmestellen haben in der Regel ausreichende Abstände zu Bäumen oder sonstigen verfälschenden Hindernissen.

Bei sogenannten Bestandsmessungen in Wäldern werden die nassen Depositionen unter der Baumkrone (Kronentraufe) erfasst, teilweise wird zusätzlich der am Baumstamm abfließende Niederschlag (Stammabfluss) gemessen. „Kronentraufe-

fen- und Stammabflussdaten erfassen die Fracht gelöster Stoffe unter dem Waldbestand, nachdem Depositions-, Auswaschungs-, Adsorptions- und Aufnahmeprozesse im Kronenraum stattgefunden haben, während die Daten der Freilandniederschläge die Deposition ohne diese rezeptorspezifischen Prozesse repräsentieren“ [19]. Nach [17] war die Trocken-deposition 1993 in Deutschland auf Wald – als Folge des Auskämmverhaltens – generell erheblich höher als der Durchschnitt über alle Flächen: um ca. 50 % für SO_x, NO_y, NH_x und Säure, um ca. 15 % für Na⁺, Mg²⁺, um ca. 55 % für Ca²⁺ und um ca. 30 % für K⁺.

2.5 Regionalisierte Auswertungen

Ein Ziel dieses Berichtes ist es zu prüfen, ob und in welchem Umfang regionale Unterschiede hinsichtlich der Staubniederschlagsbelastungen und der Frachten atmosphärischer Depositionen feststellbar sind. Die Befunde von Staubniederschlagsmessungen sind nicht selten durch lokale Quellen dominiert, so dass landesweite oder regional gemittelte Werte allerdings mit größeren Unsicherheiten behaftet sind.

Die Schadstofffracht der nassen Depositionen wird vor allem durch die großräumige Luftverunreinigungssituation längs der Trajektorie der Wolken (rain out) und in geringerem Umfang durch Einträge in den fallenden Regentropfen (wash out) bestimmt. Darüber hinaus wird die Fracht naturgemäß durch die Niederschlagshöhe mitbestimmt. Die Niederschlagshöhen innerhalb Brandenburgs zeigen – von Jahr zu Jahr in unterschiedlichem Maße – beachtliche Unterschiede. Auch daraus resultieren örtliche und jährliche Unterschiede der jährlichen Nass-Deposition.

Eine räumliche Darstellung der Befunde in den Grenzen der Landkreise würde durch deren Anzahl (14) und die Existenz kreisfreier Städte einer wünschenswerten regionalen Sichtweise im Wege stehen. Die 5 Regionalplanungsräume in Brandenburg nach [20] bieten dagegen eine günstige Alternative hinsichtlich ihrer überschaubaren Anzahl, ihrer meist deutlichen Unterschiede in der maßgeblichen Wirtschaftszweigstruktur und ihrer Grenzen zu anderen Bundesländern und Polen. Die räumliche Zuordnung der Befunde soll daher weitgehend den 5 Planungsregionen folgen:

Region Uckermark-Barnim bestehend aus den Landkreisen Uckermark und Barnim (nachfolgend **Region 1** genannt)

- Bevölkerungsdichte 1994: 69 EW/km²

- maßgebliche industrielle Standorte: Schwedt/Oder (Erdölverarbeitung, Papier- und Kartonagenproduktion); Eberswalde (Metallerzeugung und -verarbeitung); Bernau, Prenzlau, Pinnow, Templin, Lychen, Angermünde (Lebensmittel- und Futtermittelproduktion, Holzverarbeitung, Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden, Metallverarbeitung)

Region Oderland-Spree bestehend aus den Landkreisen Märkisch-Oderland und Oder-Spree sowie der kreisfreien Stadt Frankfurt (Oder) (nachfolgend **Region 2** genannt)

- Bevölkerungsdichte 1994: 98 EW/km²
- maßgebliche industrielle Standorte: Eisenhüttenstadt (Stahlproduktion); Rüdersdorf (Zementproduktion); Fürstenwalde (Reifenproduktion); Beeskow (Holz- und Kunststoffverarbeitung); Strausberg, Storkow, Herzfelde, Dahwitz-Hoppegarten, Neuenhagen, Erkner (Lebensmittelproduktion, Metallverarbeitung, Baustoffe, Steine und Erden, Elektrotechnik, Recycling)

Region Lausitz-Spreewald bestehend aus den Landkreisen Dahme-Spreewald, Spree-Neiße, Oberspreewald-Lausitz und Elbe-Elster sowie der kreisfreien Stadt Cottbus (nachfolgend **Region 3** genannt)

- Bevölkerungsdichte 1994: 100 EW/km²
- maßgebliche industrielle Standorte: Energiewirtschaft und Braunkohlebergbau in den Landkreisen Spree-Neiße und Oberspreewald-Lausitz; Schwarzheide, Guben (Chemie); Spremberg/Schwarze Pumpe (Chemie, Brikettproduktion, Recycling); Drebkau, Tschernitz, Döbern, Schönborn (Glasindustrie); Lauchhammer, Senftenberg, Wildau, Mittenwalde, Finsterwalde (Metallverarbeitung); Elbe-Elster-Kreis, Niederlehme (Baustoffe); Königs Wusterhausen, Finsterwalde (Möbel)

Region Havelland-Fläming bestehend aus den Landkreisen Teltow-Fläming, Potsdam-Mittelmark und Havelland sowie den kreisfreien Städten Potsdam und Brandenburg an der Havel (nachfolgend **Region 4** genannt)

- Bevölkerungsdichte 1994: 100 EW/km²
- maßgebliche industrielle Standorte: Brandenburg a.d.H./Kirchmöser (Elektrostahlwerk, Metallverarbeitung); Ludwigsfelde, Luckenwalde, Jüterbog, Trebbin, Nauen, Dahlewitz, Teltow, Kleinmachnow (Metallverarbeitung, Elektrotechnik); Premnitz/Döberitz (Chemie); Rathenow (Feinmechanik/Optik); Werder, Beelitz (Lebensmittelindustrie); Randbereich Berlin (Holzverarbeitung, Bauindustrie)

Region Prignitz-Oberhavel bestehend aus den Landkreisen Prignitz, Ostprignitz-Ruppin und Oberhavel (nachfolgend **Region 5** genannt)

- Bevölkerungsdichte 1994: 60 EW/km²
- maßgebliche industrielle Standorte: Hennigsdorf/Velten/Oranienburg (Metallurgie, Metallverarbeitung, Elektrotechnik); Neuruppin (Metallverarbeitung, Kunststoffverarbeitung); Heiligengrabe, Steffenshagen, Fehrbellin (Holz- und Kunststoffverarbeitung); Wittenberge, Pritzwalk (Metallverarbeitung, Recycling); diverse Standorte der Ernährungs- und Holzverarbeitenden Industrie

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass nahezu in jeder Region NH_x-Emissionen aus landwirtschaftlichen Anlagen in bemerkenswertem Umfang gegeben sind.

3 Emissionsstruktur

Wie vorstehend dargelegt, ist die atmosphärische Deposition in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung von der allgemeinen und regionalen Emissionssituation des Landes nicht unabhängig. Ein Vergleich der atmosphärischen Deposition mit der anthropogenen Emissionssituation ist daher regional und zeitlich von Interesse, auch wenn nicht übersehen werden darf, dass die Nettoemission (um Im- und Export korrigierte Emission des Betrachtungsraumes) für derartige Untersuchungen von

höherer Aussagekraft ist. Daten zur Berechnung der Nettoemission stehen jedoch nicht zur Verfügung.

Tabelle 3.1 zeigt die räumliche und zeitliche Verteilung der Emissionen aus genehmigungsbedürftigen Anlagen und die zeitliche Entwicklung der anthropogenen Gesamtemission des Landes Brandenburg für Stoffe, die für die atmosphärische Deposition von größerer Bedeutung sind.

	SO ₂				NO _x				Staub				
	1990	1992	1994	1996	1990	1992	1994	1996	1990	1991	1992	1994	1996
Genehmigungsbedürftige Anlagen													
Uckermark-Barnim (1)	47,4	49,5	55,4	51,0	6,7	8,8	9,6	10,5	7,6	6,0	5,6	2,0	1,9
Oderland-Spree (2)	45,6	20,1	11,1	9,2	7,3	8,1	6,4	4,9	72,2	32,5	20,6	10,1	4,6
Lausitz-Spreewald (3)	887,6	657,9	560,8	120,9	87,8	57,5	45,2	27,8	249,6	130,3	56,3	28,1	12,9
Havelland-Fläming (4)	41,3	10,9	4,6	2,7	15,4	8,1	2,0	1,7	19,9	10,6	7,1	2,5	1,3
Prignitz-Oberhavel (5)	33,5	4,7	1,1	0,6	5,0	0,9	0,7	0,8	21,1	10,1	5,1	2,8	0,3
Land Brandenburg	1.055	743	623	184	122	83	64	46	370	189	95	46	21
Nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen	71	41	35	10	2	3	3	4	57	52	38	30	4
Straßenverkehr	1	2	2	1	30	41	40	39	1	1	2	2	2
Gesamt	1.127	786	660	195	154	127	107	89	428	242	135	78	27

Tab. 3.1: Emissionsentwicklung in den Regionen des Landes Brandenburg (kt/a)

Region	SO ₂	NO _x	Staub
Uckermark-Barnim (1)	12,4	3,2	0,6
Oderland-Spree (2)	2,9	3,1	2,4
Lausitz-Spreewald (3)	77,2	6,5	4,1
Havelland-Fläming (4)	1,1	0,5	0,6
Prignitz-Oberhavel (5)	0,5	0,2	0,6

Tab. 3.2: Emissionsdichte im Jahr 1994 (t/(km²·a)) – Genehmigungsbedürftige Anlagen und nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen –

Quellen	Stoffgruppen
Industrie	Polychlorierte Dioxine und Furane, aliphatische Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Phthalsäureester, Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX), Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (LHKW), Chlorbenzole
Verbrennungsanlagen	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Phenol, polychlorierte Dioxine und Furane
Mineralölindustrie	Mittelflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (MCKW), tert-Butylmethylether (MTBE), BTEX, aliphatische Kohlenwasserstoffe
Straßenverkehr	Aliphatische Kohlenwasserstoffe, BTEX, Aldehyde, Ketone, PAK
Landwirtschaft	Pflanzenschutzmittel (PSM), Hexachlorcyclohexan (HCH), 1,1-p,p'Dichlordiphenyl-2,2,2-trichloräthan (DDT), Trichloressigsäure (TCA), Hexachlorbenzol (HCB), Terpene, Alkane
Atmosphärische Reaktionsprodukte	Phenole, Nitrophenole, Aldehyde, Ketone, Säuren, chlorierte Essigsäuren
Biogene Quellen	Langkettige Fettsäuren, Ameisensäure, Essigsäure, Alkane, Terpene, Phenol, Brom/Chlor/Jod-Kohlenwasserstoffe

Tab. 3.3: Beispiele maßgeblicher Quellgruppen für Organica-Stoffgruppen

Ein zeitlicher Trend und eine regionale Differenziertheit sind nach den Tabellen 3.1 und 3.2 offensichtlich, wobei die regionale Differenziertheit in den letzten Jahren reduziert wurde. Für 1999 wurde die Gesamtemission in folgender Höhe abgeschätzt [3, (2000)]:

SO ₂	80 kt
NO _x	83 kt
Staub	12 kt

Damit sind die Emissionen im Vergleich zu 1992 in Brandenburg auf folgende Höhe gesunken (Angaben in %):

	1994	1996	1999
SO ₂	84	25	10
NO _x	84	70	65
Staub	57	20	9

Die Emission nicht methanhaltiger flüchtiger Kohlenwasserstoffe (NMVOC) kann nur in der Größenordnung erfasst werden. Die Vielzahl einzelner Verbindungen, die Vielzahl potenzieller Quellen, die Dynamik des Emissionsgeschehens als Folge sich ändernder Prozessparameter oder natürlicher Randbedingungen erlaubt bei vielen Quellgruppen nur eine grobe Abschätzung des Emissionsgeschehens. Die anthropogene NMVOC-Emission in Brandenburg lag 1992 bei ca. 110 kt, 1996 bei ca. 52 kt und 1999 bei ca. 32 kt [151].

Tabelle 3.3 gibt einen groben Überblick zu den maßgeblichen Quellgruppen für organische Verbindungen [134, 141, 151].

Aufgrund des hohen Waldbestandes sind die natürlichen (nicht anthropogenen) NMVOC-Emissionen in Brandenburg mit ca. 24 kt/a relativ hoch [151].

Die NMVOC-Gesamtemission zeigt damit im Vergleich zu 1992 folgende Minderungen: 1996 auf ca. 56 % und 1999 auf ca. 42 %.

4 Staubniederschlag

4.1 Methodik der Probengewinnung und Analytik

Der Staubniederschlag wurde nach dem BERGERHOFF-Verfahren gemäß Richtlinie VDI 2119 Blatt 1 und 2 [10, 11] beprobt. Der „Gesamtstaub“ wurde nach [11] bestimmt.

Arsen und metallische Spurenelemente sowie deren anorganische Verbindungen im Staubniederschlag wurden nach oxidierendem sauren Aufschluss (mit HNO₃ und H₂O₂ in der Mikrowelle) mittels Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) nach [21, 22, 23] bestimmt. Durch den genannten Aufschluss wird bei den meisten Metallen und Halbmetallen deren Totalgehalt für die nachfolgende Analytik zugänglich gemacht. Die Elemente Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Mangan (Mn), Nickel (Ni), Thallium (Tl) und Zink (Zn) wurden aus Monatsproben oder Quartalsmischproben bestimmt.

Darüber hinaus wurden als Screening im Zeitraum 1997 bis 1999 aus Jahresmischproben die Elemente Antimon (Sb), Barium (Ba), Cobalt (Co), Eisen (Fe), Kupfer (Cu), Molybdän (Mo), Selen (Se), Strontium (Sr), Titan (Ti), Vanadium (V) und Zinn (Sn) ermittelt. Die Jahresmischproben wurden mittels der Totalreflexierenden Röntgenfluoreszenzanalyse (TXRF) gemessen.

Staubniederschlagsmessungen sind im Sinne der Richtlinie VDI 2309 Blatt 1 [34] Immissionsmessungen, deren Befunde bei strenger Auslegung nur für den „Akzeptor“ Staubsammelgefäß gültig sind. Mittels Konvention (Punkt 2.6.2.7 der TA Luft [35] und [65]) ist den Befunden jedoch eine allgemeine Gültigkeit für die Beurteilung von Nachteilen und Belästigungen verliehen worden. Für die Gesamtheit aller denkbaren Akzeptoren bleibt die Nutzung der so ermittelten Frachten jedoch von begrenzter Validität [35].

4.2 Staubniederschlagsbefunde

Da im vorliegenden Bericht nicht die Belastungssituation in einem Ort oder gar an einer einzelnen Messstelle im Vordergrund steht, wird weitgehend darauf verzichtet die Messergebnisse derart detailliert vorzustellen und zu interpretieren. Solche Details können den jährlichen Luftqualitätsberichten [2, 3] und der vertiefenden Bewertung der Befunde in [6] entnommen werden.

Abbildung 4.1 zeigt die Stichprobenumfänge, die den nachfolgenden aggregierten Messergebnissen zugrunde liegen. Diese Stichprobenumfänge gestatten die zusammenfassende Darstellung in Form des Box-Plot.

Die Anzahl der Messergebnisse (Stichproben) erlaubt es nur den Mittelwert der Grundgesamtheit im jeweiligen Untersuchungsraum (einer benachbarten Messstellengruppe) und nur in sehr grober Näherung abzuschätzen, für den Maximalwert ist dies mangels Repräsentativität sogar auszuschließen. Summenhäufigkeitsangaben sind hier für regionale oder gar landesweite Befundaggregation valider, da

- der Median als mittlere Belastungsgröße durch einzelne sehr überhöhte Werte erheblich weniger „verfälscht“ wird als der arithmetische Mittelwert und
- die Angabe eines zu wählenden obersten Perzentilwertes die extrem unsichere Angabe des Maximalwertes umgeht; außerdem ist die Angabe eines obersten (und untersten) Perzentilwertes einer repräsentativen Situationsbeschreibung und -bewertung meist dienlicher.

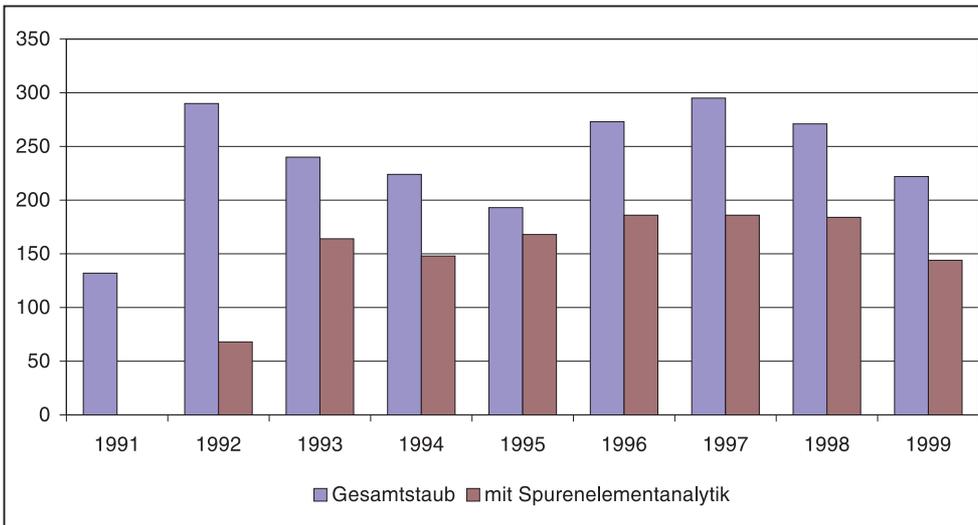


Abb. 4.1:
Anzahl der Staubbiederschlags-
messstellen im Land Branden-
burg

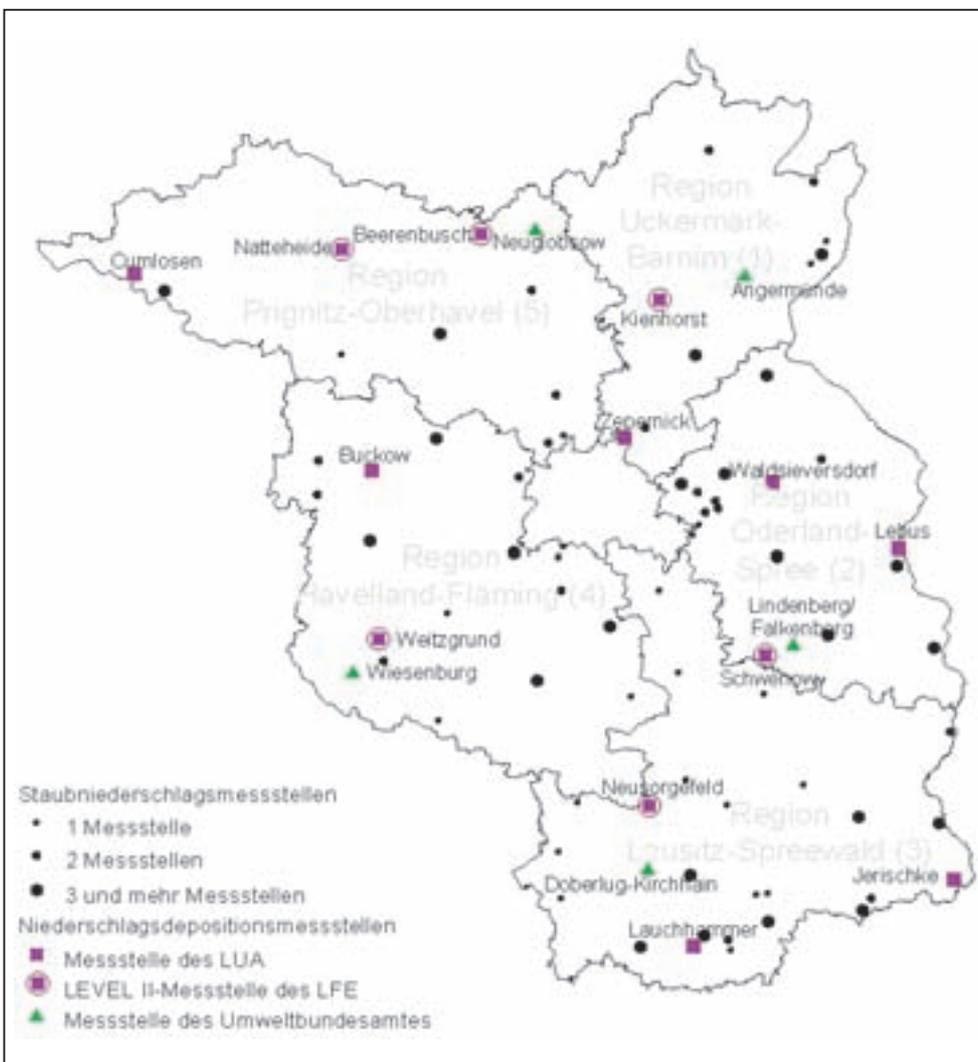


Abb. 4.2:
Staubbiederschlags- und Nie-
derschlagsdepositions-messstellen
im Land Brandenburg 1999

Da die verfügbaren Stichprobenumfänge bei den regionalen Darstellungsformen der Befunde erheblich geringer sind als die der landesweiten Darstellungen, wurden die äußeren Summenhäufigkeitsgrenzen unterschiedlich gewählt:

landesweit	5 % bzw. 95 %
regionalisiert	10 % bzw. 90 %.

In den landesbezogenen Darstellungen wurden ergänzend die arithmetischen Mittelwerte der I1-Kenngrößen eingefügt, um Vergleiche mit den Befunden anderer Bundesländer zu ermöglichen. Die arithmetischen Mittelwerte der I1-Kenngrößen und die Spannweite der festgestellten I1-Kenngrößen der Messstellen einiger anderer Bundesländer sind dem Anhang 2 zu entnehmen.

Bei der Interpretation der zeitlichen Entwicklung der Befunde ist darüber hinaus zu beachten, dass im Zeitraum 1991 bis etwa 1996 stark überproportional in industriellen Schwerpunktbereichen beprobt wurde. Daraus resultierten insbesondere im Landesmittel etwas höhere Mediane und höhere Spannweiten der Kenngrößen.

Weiterhin ist zu beachten, dass bis Mitte der 90er Jahre das Messnetz-Design auf den Untersuchungsauftrag der TA Luft [35] (Schutz des Menschen vor erheblichen Nachteilen und Belästigungen) abgestellt war, d.h. die Messstellen befanden sich vor allem in Städten. Deshalb tragen diese Befunde für ökologische Betrachtungen mit Flächenbezug worst-case-Charakter. Gegen Ende des Untersuchungszeitraumes fand der

ländliche Raum im Messnetz-Design mehr Berücksichtigung, ohne dass die Dominanz der Städte völlig beseitigt werden konnte.

Die Lage der Messstellen im Jahr 1999 zeigt Abbildung 4.2. Auch 1999 gab es noch immer ein Süd-Nord- Gefälle der Messstellendichte.

4.2.1 Gesamtstaub

Abbildung 4.3 zeigt die Entwicklung der Gesamtstaubbelastung (11-Kenngrößen) zusammenfassend für alle Messstellen des Landes.

Abb. 4.3:
Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen aller Staubbereichsmessstellen ($mg/(m^2 \cdot d)$) des Landes Brandenburg

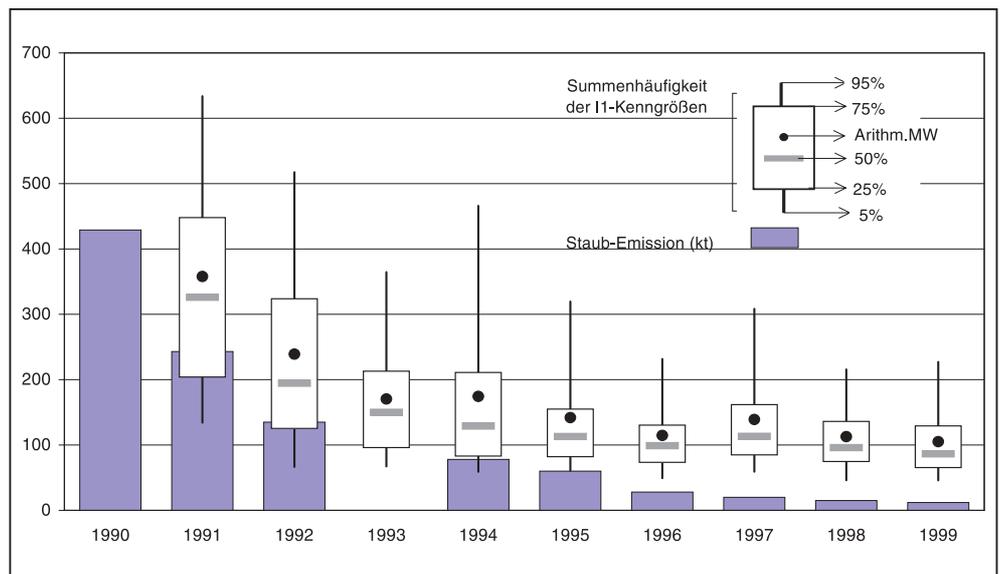
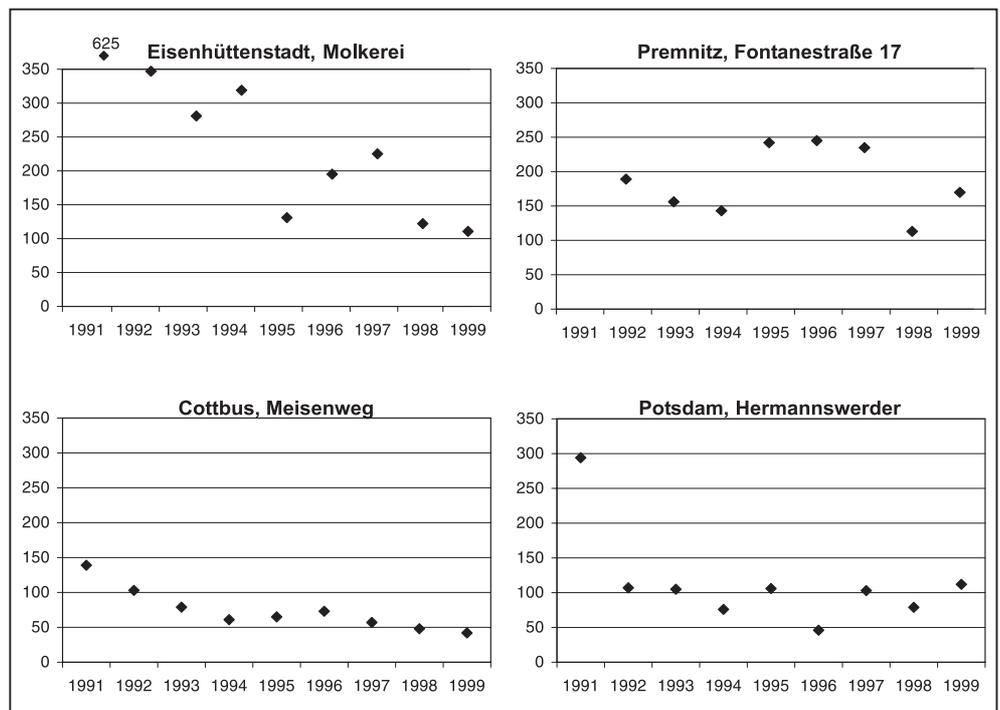


Abb. 4.4:
Entwicklung der 11-Kenngrößen des Staubbereichs ausgewählter Messstellen



Auf der Basis der Daten nach [4] wird grob eingeschätzt, dass sich im Zeitraum 1975/1989 die Staubbelastung (I1) im Land Brandenburg (bei BERGERHOFF-Probenahme) etwa zwischen 0,1 und 3 g/(m²·d) bewegte und im Mittel aller Messstellen in der Größenordnung von 0,5 g/(m²·d) lag, d.h. dass die Belastung 1999 im Vergleich zu 1975/1989 auf etwa 1/5 gesunken ist. 1992 war sie im Landesmittel im Vergleich zu 1975 erst auf etwa 2/5 zurückgegangen. In Hessen sank die Staubbiederschlagsbelastung im Zeitraum 1975 bis 1992 beispielsweise in Kassel auf 90 %, in Wiesbaden und im Untermain-Gebiet auf 68 %, in Wetzlar auf 37 % [24].

Die örtlich unterschiedlichen zeitlichen Trends in Brandenburg verdeutlicht exemplarisch Abbildung 4.4. Die Messstellen in Eisenhüttenstadt und Premnitz sind industriell überprägt, sie zeigen aber untereinander erhebliche Unterschiede der Belastungsentwicklung. Die starken Schwankungen in Eisenhüttenstadt sind durch Bautätigkeit, Änderungen der Anlagen und beim Produktionsvolumen bedingt. Die Messstellen in Cottbus und Potsdam sind urbane Hintergrundmessstellen; der Trend beider Messstellen ist ähnlich sinkend, jedoch auf unterschiedlich hohem absolutem Niveau.

Auffällig ist, dass die Spannweite der I1-Kenngrößen zwischen den einzelnen Messstellen gegen Ende des Untersuchungszeitraumes wesentlich geringer geworden ist, verursacht durch Wegfall oder Sanierung großer oder lokal dominanter Emittenten. Diese Einschätzung ist unstrittig, auch wenn – wie bereits erwähnt – in den ersten Jahren des Untersuchungs-

zeitraums in höher belasteten Gebieten eine erheblich größere Messstellendichte vorhanden war. Abbildung 4.3 zeigt auch die Entwicklung der anthropogenen Gesamt-Staubemission des Landes Brandenburg. Die Staubemission aus Anlagen und dem Verkehr ist im Zeitraum 1991 bis 1999 auf etwa 5 % gesunken. Aus dieser Entwicklung resultiert auch, dass Überschreitungen der zulässigen Immissionswerte (IW 1=0,35 g/(m²·d), IW 2=0,65 g/(m²·d)) in den letzten Jahren nur noch beim Kurzzeitwert mit beachtenswerter Häufigkeit auftraten (Abb. 4.5); Ursachen dieser – lokal eng begrenzten – Überschreitungen waren in den letzten Jahren ausnahmslos kleine Anlagen, wie z.B. Schrottplätze.

Die mittlere Staubbiederschlagsbelastung in Brandenburg ist im Zeitraum 1991 bis 1999 auf 29 % gesunken; diese Senkung ist jedoch deutlich geringer als die Senkung der Staubemission aus Anlagen und Verkehr. Aus den Befunden von ruralen Hintergrundmessstellen ist für die letzten Jahre des Untersuchungszeitraumes ein „natürlicher“ Staubbiederschlag in der Größenordnung von 0,03 g/(m²·d)) (Jahresmittelwert) abzuschätzen. Dieser Staubbiederschlag resultiert vor allem aus Resuspensionen, natürlichen Quellen und dem Schadstofftransport. Resuspensionen führen insbesondere im Sommer und bei anhaltender Trockenheit zu größeren Beiträgen zum Staubbiederschlagsbefund. Die Monatsmittelwerte für den Staubbiederschlag zeigen im Allgemeinen – selbst zu Beginn des Untersuchungszeitraumes – die höchsten Belastungen in den Sommermonaten, wie das Beispiel Cottbus, Meisenweg (Abb. 4.6) zeigt.

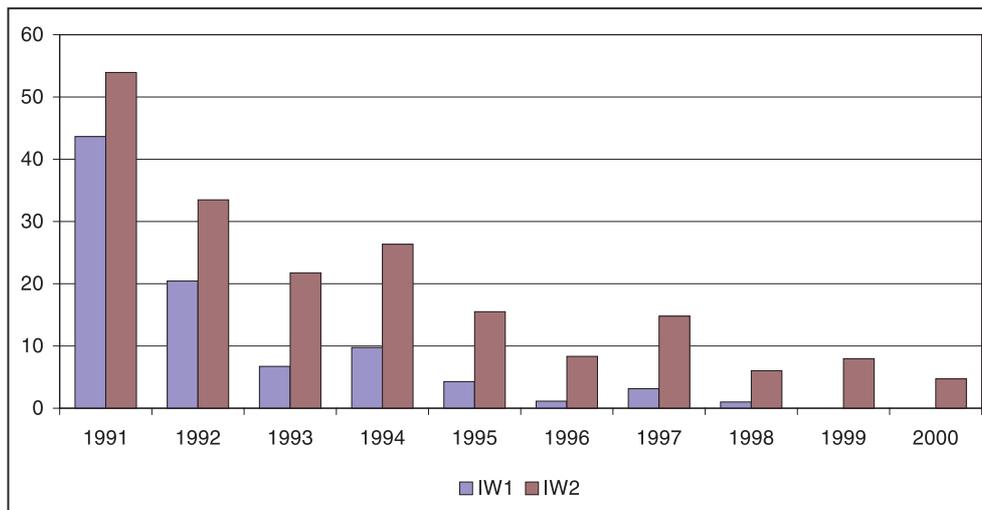


Abb. 4.5: Anteil der Messstellen mit Überschreitung der Immissionswerte (%)

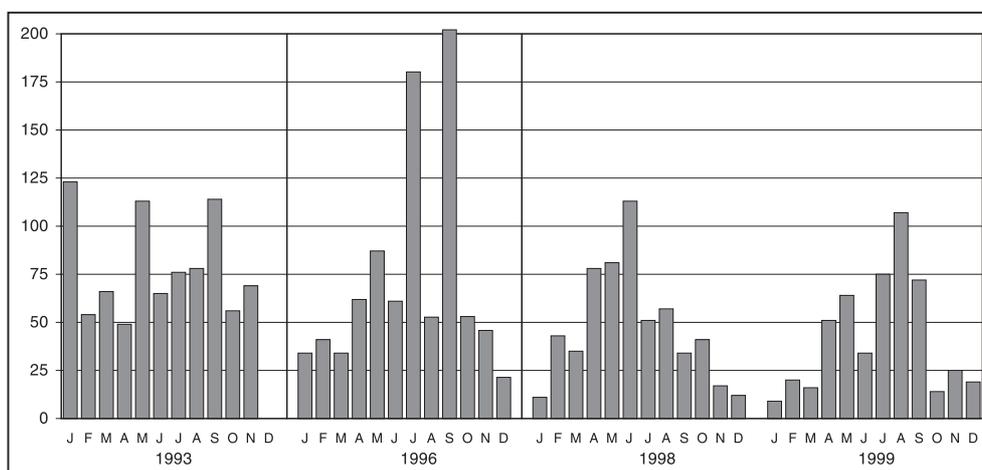


Abb. 4.6: Verteilung der Monatsmittelwerte des Staubbiederschlags (mg/(m²·d)) an der Messstelle Cottbus, Meisenweg

Alle Monatsmittelwerte dieser Messstelle über $80 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ in den Jahren 1992, 1998 und 1999 traten in den Monaten auf, in denen die Summe der Niederschläge aus dem jeweiligen Monat und dem zugehörigen Vormonat unter ca. 100 mm lag und die Sonnenscheindauer ca. 350 Stunden überschritt. Die Jahre 1996, 1997 und 1999 waren im Vergleich zum langjährigen Mittel (1961 bis 1990) zu trocken und zu sonnenscheinreich; das Jahr 1993 war zu nass, die Jahre 1994, 1995 und 1998 zu nass und zu warm. Dies spiegelt sich in der Höhe der Jahresmittelwerte des Staubniederschlags (Abb. 4.3 und 4.4) nicht wider. Die Jahresmittelwerte der Niederschlagshöhe sind offenkundig diesbezüglich weniger bedeutungsvoll als Höhe und gleichmäßige Verteilung der Niederschläge in der bodenfrostfreien Zeit.

Ein Vergleich der Befunde in Brandenburg mit den verfügbaren Messdaten anderer Bundesländer (Anhang 2) zeigt, dass

- im Zeitraum 1991/1992 in den alten Bundesländern eine Belastung von etwa $\frac{1}{3}$ und weniger zu verzeichnen war. In den an Brandenburg angrenzenden neuen Bundesländern bewegte sie sich etwa im gleichen Niveau (Sachsen-Anhalt) oder bis etwa um $\frac{1}{3}$ darunter,
- im Zeitraum 1994/1995 in den alten Bundesländern im Vergleich zu Brandenburg die mittleren I1-Kenngrößen in etwa gleicher Höhe ermittelt wurden. Auch die mittleren I1-Kenngrößen in den an Brandenburg angrenzenden Bundesländern bewegten sich auf etwa gleichem Niveau,
- im Zeitraum 1997/1998 die mittleren I1-Kenngrößen in Brandenburg von einigen alten Bundesländern überschritten und von anderen unterschritten wurden. Gleiches gilt für die angrenzenden neuen Bundesländer,

Die vorstehenden Aussagen sind insofern von begrenzter Validität, als die zumeist kleinen Stichprobenumfänge und die geringe räumliche Repräsentativität von Staubniederschlagsmessungen eine extrapolierende landesweite Situationsbewertung eigentlich nicht zulassen. Um jedoch einen halbquantitativen Eindruck vom Belastungsniveau in Brandenburg im bundesweiten Vergleich zu vermitteln, wurde dieser – nicht unstrittige – Versuch einer Wertung unternommen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass seit Mitte der 90er Jahre im Land Brandenburg im Mittel keine erheblichen Minderungen der anlagenbedingten Staubemissionen mehr eingetreten sind und auch perspektivisch nicht mehr zu erwarten sind, so dass mittelfristig vor allem die meteorologischen Gegebenheiten die Höhe des Staubniederschlags (im Landesmittel I1-Wert um $100 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) pendeln lassen werden. Selbstverständlich sind bei einzelnen Quellen, die zu lokal begrenzt deutlich überhöhten Immissionen führen, häufig Minderungspotenziale vorhanden, die insbesondere im Interesse der Anlieger ausgeschöpft werden müssen.

Die Entwicklung der Staubniederschlagsbelastung in den 5 Regionen ist der Abbildung 4.7 zu entnehmen. Da in den nördlichen Regionen des Landes erst seit 1994/1995 Staubniederschlagsmessungen in beachtenswertem Umfang durchgeführt wurden, ist erst ab diesem Zeitpunkt eine regionale Darstellung möglich. Abbildung 4.7 zeigt, dass in den letzten 2 Jahren des Untersuchungszeitraumes in allen Regionen die I1-Kenngrößen in etwa gleicher Höhe festgestellt wurden.

Die regionale Differenzierung der ermittelten I1-Kenngrößen steht im Widerspruch zur regionalen Verteilung der anlagen-

bedingten Emissionsdichte gemäß Tabelle 3.2. Dies heißt, dass die festgestellte regionale Verteilung des Staubniederschlags maßgeblich durch anthropogene Quellen, die in Tabelle 3.2 nicht erfasst wurden (z.B. Schrottplätze, Baustellen, Schüttgüterumschlag), und durch natürliche Quellen bestimmt wurde. Diese Aussage wird auch durch den Vergleich der Höhe der Emissionen nach den Tabellen 3.1 und 3.2 mit der festgestellten jährlichen Staubniederschlagsfracht gestützt; die Staubniederschlagsfracht übersteigt im Mittel – je nach Region – die Emissionsdichte um 1 bis fast 2 Größenordnungen. Auch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass sich die Messstellen fast ausschließlich in Wohnorten befanden, deren anlagenbedingte Emissionsdichte im Allgemeinen höher ist als die des Umlandes, ist damit das Ausmaß der Differenzen zwischen anthropogener Emissionsdichte und Fracht nicht erklärbar.

Bezüglich der I1-Summenhäufigkeitswerte von 75 % und größer in einzelnen Regionen nach Abbildung 4.7 ist anzumerken, dass statistisch bedingt bei kleinen Stichprobenumfängen – wie sie vor allem bis 1998 in den Regionen 5 und 1 gegeben waren – einzelne sehr hohe (möglicherweise lokal eng begrenzte) I1-Kenngrößen den Eindruck einer höheren Spitzenbelastung vermitteln im Vergleich zu Regionen mit großem Stichprobenumfang, wo derartige Einzelwerte nicht mehr zur Darstellung gelangen. Beispielsweise zeigt die Häufigkeitsverteilung der I1-Kenngrößen im Zeitraum 1994/1995 nur für die Regionen 2 und 3 die wünschenswerte Homogenität, während in den Regionen 1 und 5 eine solche nicht annähernd erreicht wurde. Die Verkleinerung der Spannweiten nach 1995 ist sowohl durch den Wegfall großer und lokal dominanter Emittenten (Anlagen) als auch durch die Vergrößerung der Stichprobenumfänge in den Regionen 5, 1 und 4 bedingt.

4.2.2 Spurenelemente

Wie Abbildung 4.1 zeigt, lag die Zahl der Staubniederschlagsmessstellen, deren Staub auf Spurenelemente untersucht wurde, ab 1993 etwa in gleicher Höhe. Da sich jedoch – wie bereits dargelegt – die Messstellendichte in den einzelnen Regionen änderte, unterlag auch die Intensität der Spurenstoff Erfassung in den einzelnen Regionen deutlichen Veränderungen. Außerdem wurde nicht an allen Messstellen das gleiche Stoffspektrum untersucht. Daraus resultierten regional zeitlich und stoffspezifisch unterschiedliche Befundzahlen. Dieser Situation Rechnung tragend werden die Summenhäufigkeiten der I1-Kenngrößen in den nachfolgenden regionalen Darstellungen mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung vorgestellt. Insgesamt gelten bezüglich der Daten zu den Spurenelementen die Ausführungen im Kapitel 4.2.1 zur Statistik und der daraus resultierenden begrenzten Validität der Aussagen in erhöhtem Maße.

Wie bereits dargelegt, führen Resuspensionen und natürliche Quellen insbesondere in den trockenen Sommermonaten zu erhöhter Staubniederschlagsbelastung. Da es sich bei den Resuspensionen überwiegend um Bodenmaterial handelt, das im Vergleich zum Staub anthropogener Genese – mit Ausnahme von Altlastenflächen – relativ arm ist an Spurenmetallen und -halbmetallen, sind in den Monaten mit hoher Staubniederschlagsbelastung geringe Konzentrationen dieser Stoffe im Staubniederschlag zu erwarten. Dies wird am Beispiel der Messstellen in Kienhorst (Landkreis Barnim) und Lauchhammer (Abb. 4.8 und 4.9) weitgehend bestätigt.

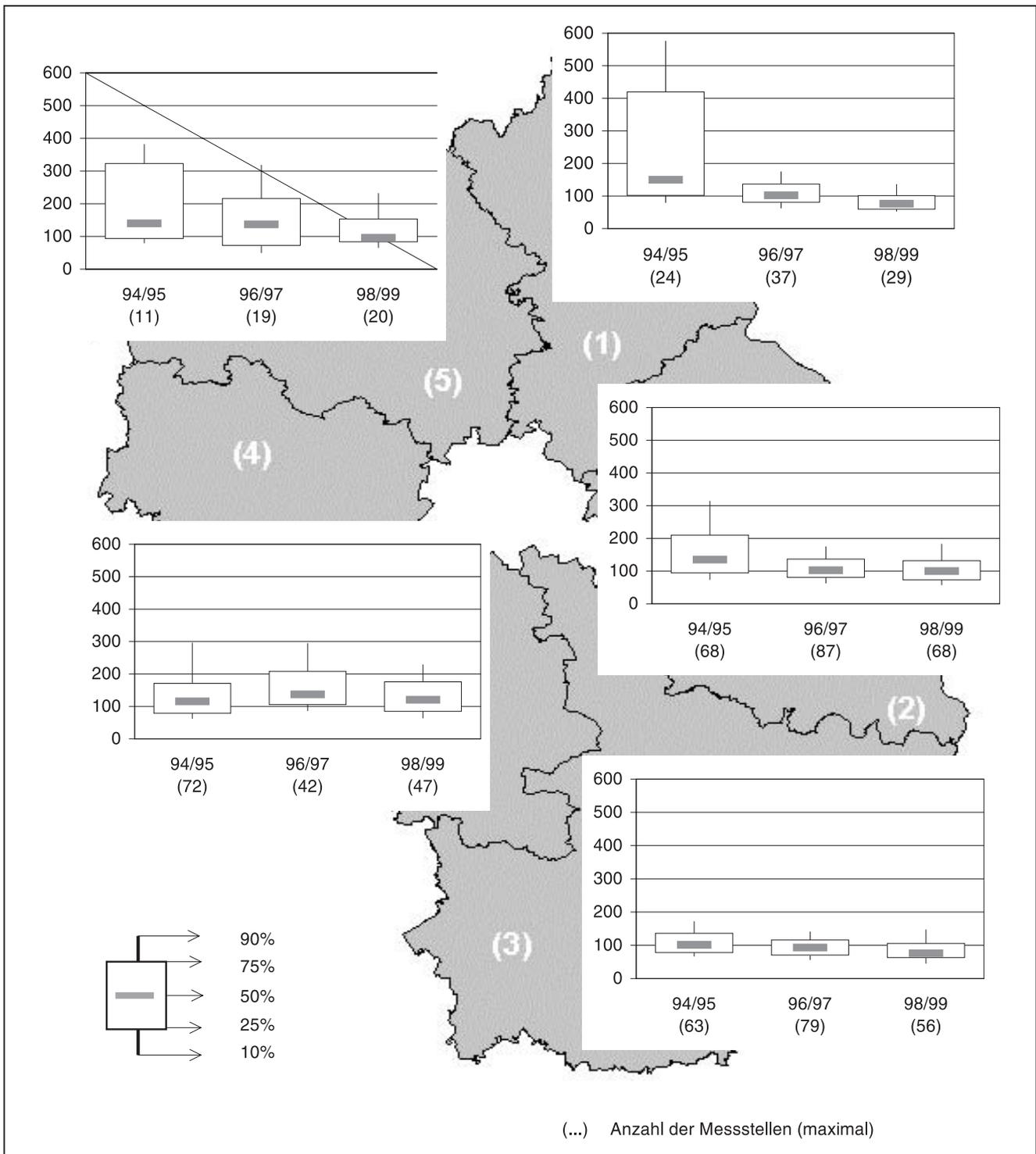


Abb. 4.7: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Staubbiederschlagsmessstellen (mg/(m²·d)) in den Regionen des Landes Brandenburg

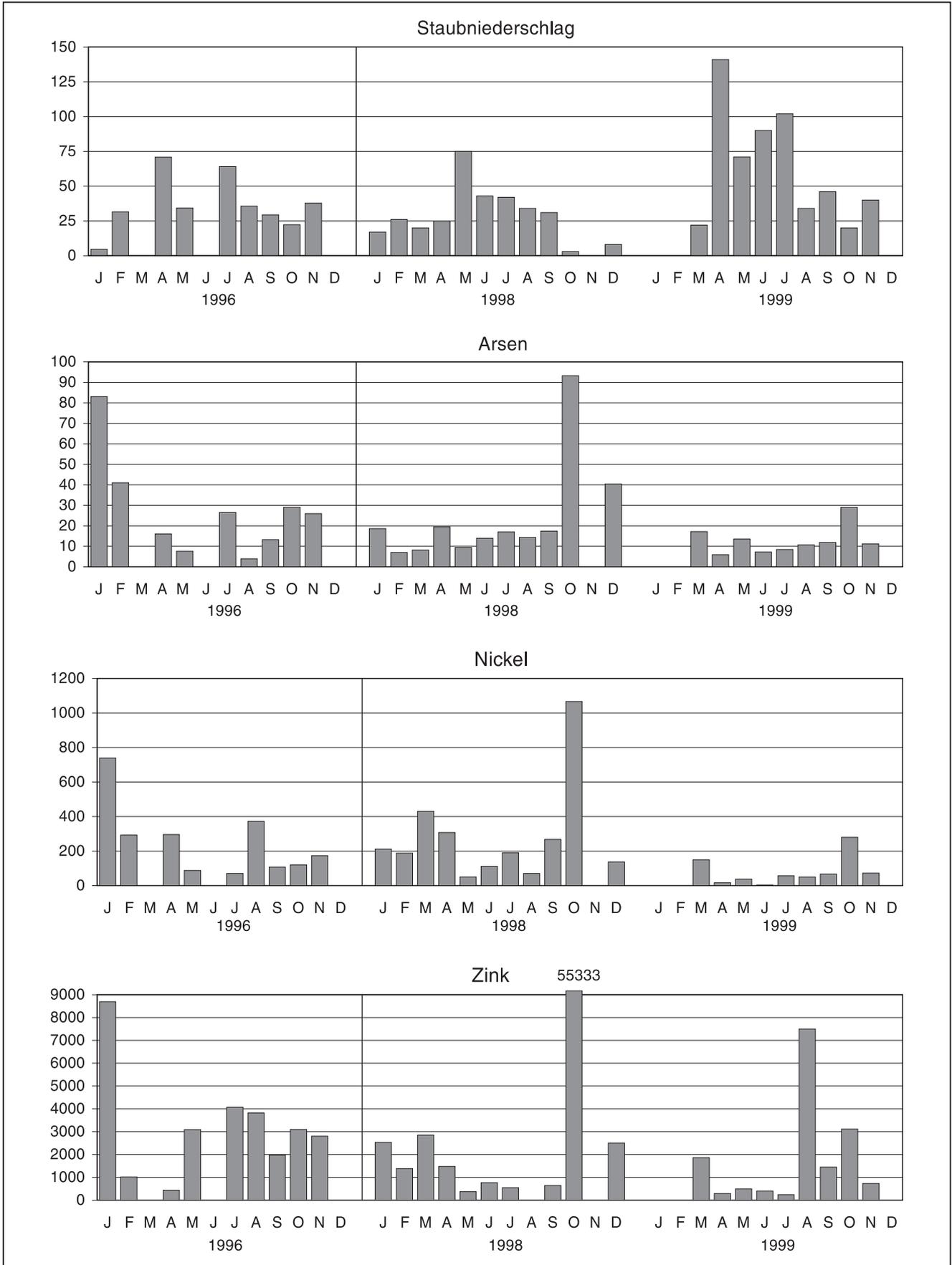


Abb. 4.8: Monatliche Verteilung der Höhe des Staubniederschlags (mg/(m²-d)) und des Gehaltes ausgewählter Spurenstoffe (ppm) an der Messstelle Kienhorst

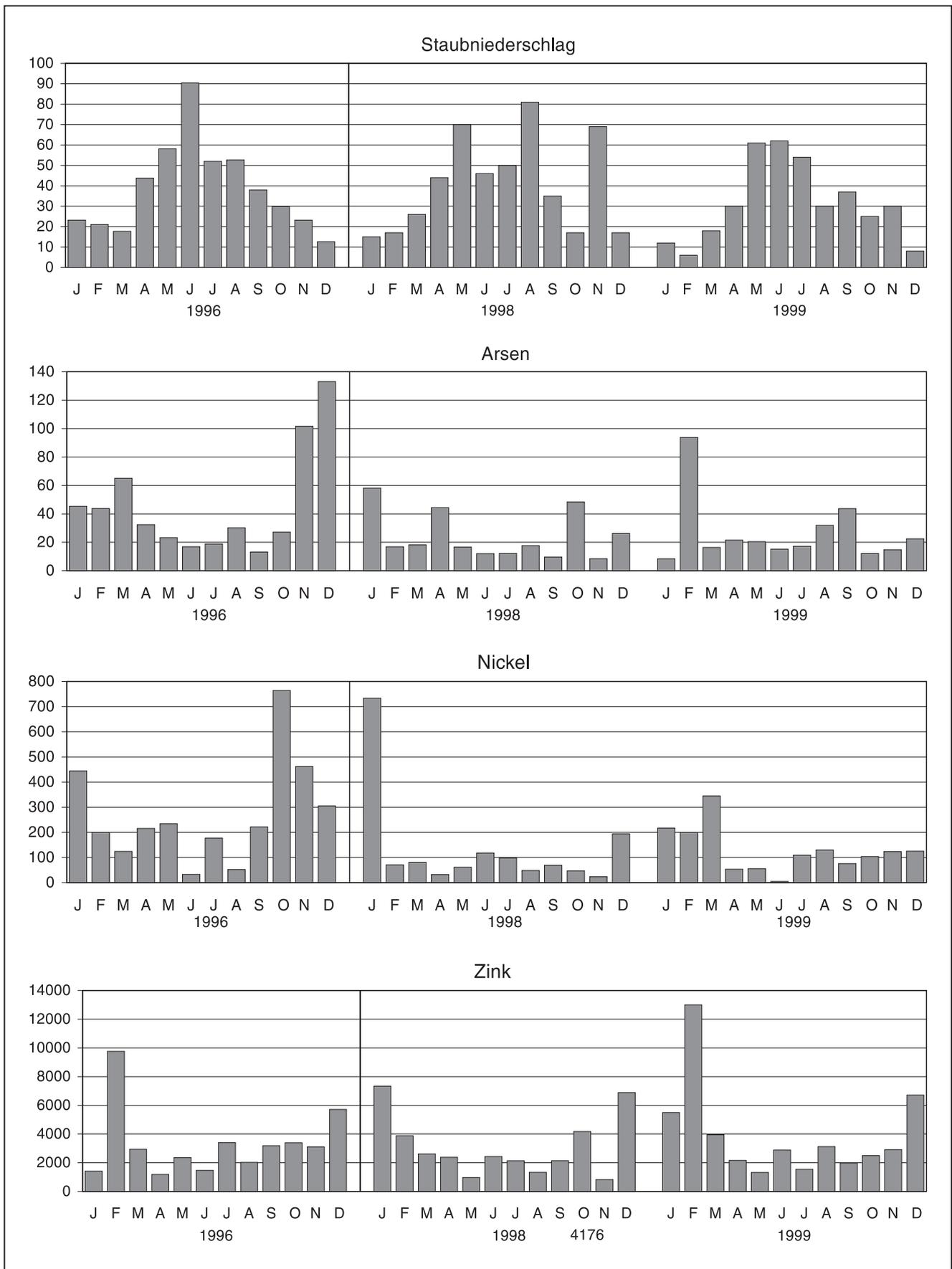


Abb. 4.9: Monatliche Verteilung der Höhe des Staubniederschlags ($\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) und des Gehaltes ausgewählter Spurenstoffe (ppm) an der Messstelle Lauchhammer, Patschenweg

Ein in diesem Sinne charakteristisches Detail sind die Extrembefunde im Oktober 1998: An den zur Messstelle nächstgelegenen meteorologischen Stationen wurden bei Kienhorst 271 % und in Lauchhammer 229 % des langjährigen monatlichen Niederschlagsmittels dieser Stationen gemessen. Die gemessene Staubmenge blieb in Ermangelung größerer Resuspensionen in Lauchhammer klein und in Kienhorst sehr klein. Die Konzentration der Spurenelemente in Kienhorst war extrem hoch. Die Fracht war beim Zink und beim Arsen stark erhöht, beim Nickel eher niedrig. Dies spricht dafür, dass Zink und Arsen in größerem Umfang mit dem Regen in die Probe eingetragen wurden. Schwermetalle unterliegen auch hierbei in erheblichem Maße dem Ferntransport [36].

Nachfolgend werden die 11-Kenngrößen für ausgewählte Spurenelemente stoffspezifisch vorgestellt und interpretiert.

4.2.2.1 Arsen

Gemessen an der in Diskussion befindlichen Limitierung des Jahresmittelwertes in Höhe von $4 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ [15, 68] wurden im gesamten Untersuchungszeitraum nur wenige Überschreitungen dieses Beurteilungswertes festgestellt. Diese Überschreitungen konzentrieren sich auf den Raum Finsterwalde und Senftenberg/Sprenberg. Mitte der 90er Jahre wurden bis $15 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ erreicht.

Abbildung 4.10 zeigt nach 1993 einen deutlichen Anstieg der Befunde. Diese Entwicklung wurde auch in anderen Bundesländern festgestellt, ohne dass dafür eine tragfähige Begründung gegeben werden konnte. Ende der 90er Jahre ist ein Rückgang der Belastung feststellbar. Auch der Vergleich der Messergebnisse an den Messstellen in Cottbus und Potsdam gemäß Abbildung 4.11 belegt diese Tendenz. Im Zeitraum 1996 bis 1999 folgte die Entwicklung der Arsen-Befunde im Landesmittel der Entwicklung der Staubbefunde (Abb. 4.3); im Einzelfall (z.B. Eisenhüttenstadt und Potsdam) gibt es auch erhebliche Unterschiede. Die im Anhang 2 wiedergegebenen Messergebnisse anderer Bundesländer unterscheiden sich um bis zu eine Größenordnung; die Befunde Brandenburgs bewegen sich innerhalb dieser Bandbreite. Die Hansestadt Hamburg hat für ihre Belastungsstruktur im Jahr 1997 für ausgewählte Schadstoffe im Staubbefund die Höhe der Belastung Gebietskategorien zugeordnet [49]. Gemessen an dieser Klassifizierung sind die in Brandenburg seit 1997 festgestellten Belastungen – abgesehen von wenigen Einzelmessstellen – als Vorortbelastungen (Belastungsgrenze bis $3 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) zu kategorisieren.

Die im Vergleich zu den übrigen Regionen erhöhten Messergebnisse in der Region 3 (Abb. 4.12) resultierten aus einer deutlich höheren Arsenkonzentration im Staub; diese Überhöhung betrug 1994/1995 das 2,3 bis 3,2-fache und 1998/1999 das 1,7 bis 2,2-fache gegenüber dem Landesdurchschnitt. Arsen ist ein typisches Emissionsprodukt von Braunkohlekraftwerken und Bleiglasindustrie, die in der Region 3 massiv angesiedelt waren. Da die Überhöhung rückläufig ist und beim Schwebstaub nicht feststellbar war, ist zu schlussfolgern, dass im Untersuchungszeitraum insbesondere die Sekundärverwehung von Bestandteilen des Oberbodens (Altlasten) eine maßgebliche Ursache der Überhöhung sein könnte. Auch im Rahmen eines bundesweiten Moosmonitorings im Zeitraum 1995/1996 wurden analoge Überhöhungen festgestellt [6].

Bis auf die Region 2 folgt die Entwicklung der Arsenbelastung der Entwicklung der Höhe des Staubbefundes.

4.2.2.2 Blei

Der gegenwärtig zulässige Immissionswert beträgt $0,25 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ [35]; er soll nach [15, 68] auf $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ abgesenkt werden.

Der zulässige Immissionswert wurde im gesamten Untersuchungszeitraum nur an 2 Messstellen überschritten, davon an einer Messstelle in Zossen seit 1995 ununterbrochen. Die Schwelle von $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ wurde in den letzten Jahren ebenfalls nur an wenigen Messstellen überschritten, die zumeist im direkten Einflussbereich gewerblicher Emittenten lagen. Wie Abbildung 4.13 und 4.14 belegen, ist seit 1998 eine gewisse Stagnation der Belastung auf sehr niedrigem Niveau eingetreten.

Auffällig ist nach Abbildung 4.13, dass zumindest in den Jahren 1998 und 1999 große Unterschiede zwischen der 50 %-Gesamthäufigkeit (Median) und dem arithmetischen Mittelwert auftraten und demzufolge der arithmetische Mittelwert sogar oberhalb des 75-Perzentils lag. Dies resultiert aus einer beachtlichen Anzahl relativ hoher 11-Kenngrößen.

Bemerkenswert ist ebenso die Tatsache, dass sich gemäß Abbildung 4.14 an den 4 Messstellen mit unterschiedlicher Emissionsstruktur ein sehr ähnlicher Trend eingestellt hat, aber die industriebezogenen Messstellen absolut gesehen eine erheblich stärkere Immissionsminderung aufwiesen. Diese Entwicklung ist in dem Wechsel zu bleifreien Ottokraftstoffen und der Stilllegung bzw. Sanierung industrieller Emittenten (Metallurgie, Bleikristallindustrie) begründet. Auf diesen Tatbestand ist es auch zurückzuführen, dass die Entwicklung des Blei-Staubbefundes nach Abbildung 4.13 der Entwicklung der Gesamt-Staubbefunde nur bedingt folgt.

Zumindest im Zeitraum nach 1993 lagen die Bleibefunde Brandenburgs im gleichen Bereich wie die der anderen Bundesländer. Die für 1998 ausgewiesenen auffällig starken Minderungen in einigen alten Bundesländern (Niedersachsen, Bayern) wurden in Brandenburg in dem Maße nicht festgestellt. Gemessen an der Hamburger Kategorisierung [49] sind die Befunde in Brandenburg ab 1997 – bis auf Einzelmessstellen – als Vorortbelastung (bis $50 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) zu charakterisieren. Es wurden aber auch „emittentennahe“ Befunde (bis $550 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) in Einzelfällen ermittelt.

Interpretierbare regionale Unterschiede innerhalb Brandenburgs sind seit Mitte der 90er Jahre nur in geringem Maße festgestellt worden. Dagegen hoben sich die Standorte der Metallurgie und der Bleiglasproduktion im Zeitraum 1991 bis etwa 1993 noch deutlich vom übrigen Territorium ab. Der Anstieg, insbesondere des 75-Perzentils und des Medians im Zeitraum 1996 bis 1997 in der Region 4, ist wahrscheinlich auf den Betrieb überproportional vieler Messstellen in Brandenburg a.d.H. zurückzuführen; hier betrug das Gebietsmittel 1996 noch $38 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ mit 11-Spitzenwerten von $58 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. Der Anstieg ist also nicht auf ein Anwachsen der Emission zurückzuführen, sondern der Inhomogenität des Messgeschehens geschuldet.

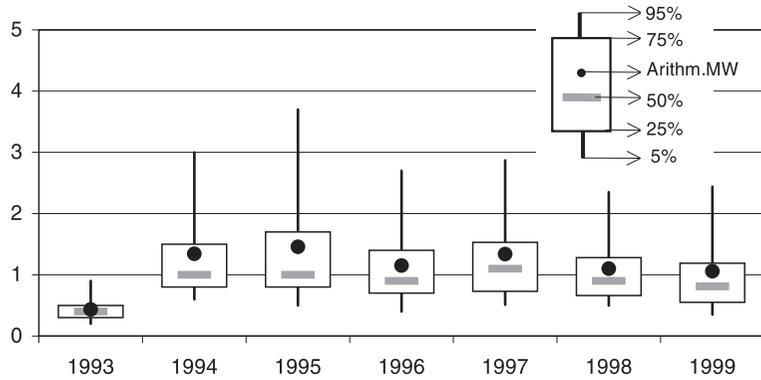


Abb. 4.10: Entwicklung der Summenhäufigkeit der I1-Kenngrößen aller Arsen-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) des Landes Brandenburg

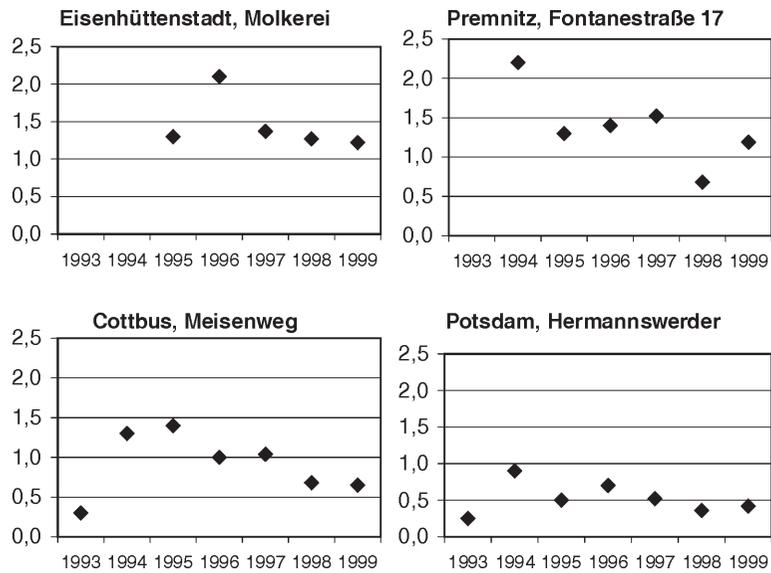


Abb. 4.11: Entwicklung der I1-Kenngrößen ausgewählter Arsen-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)

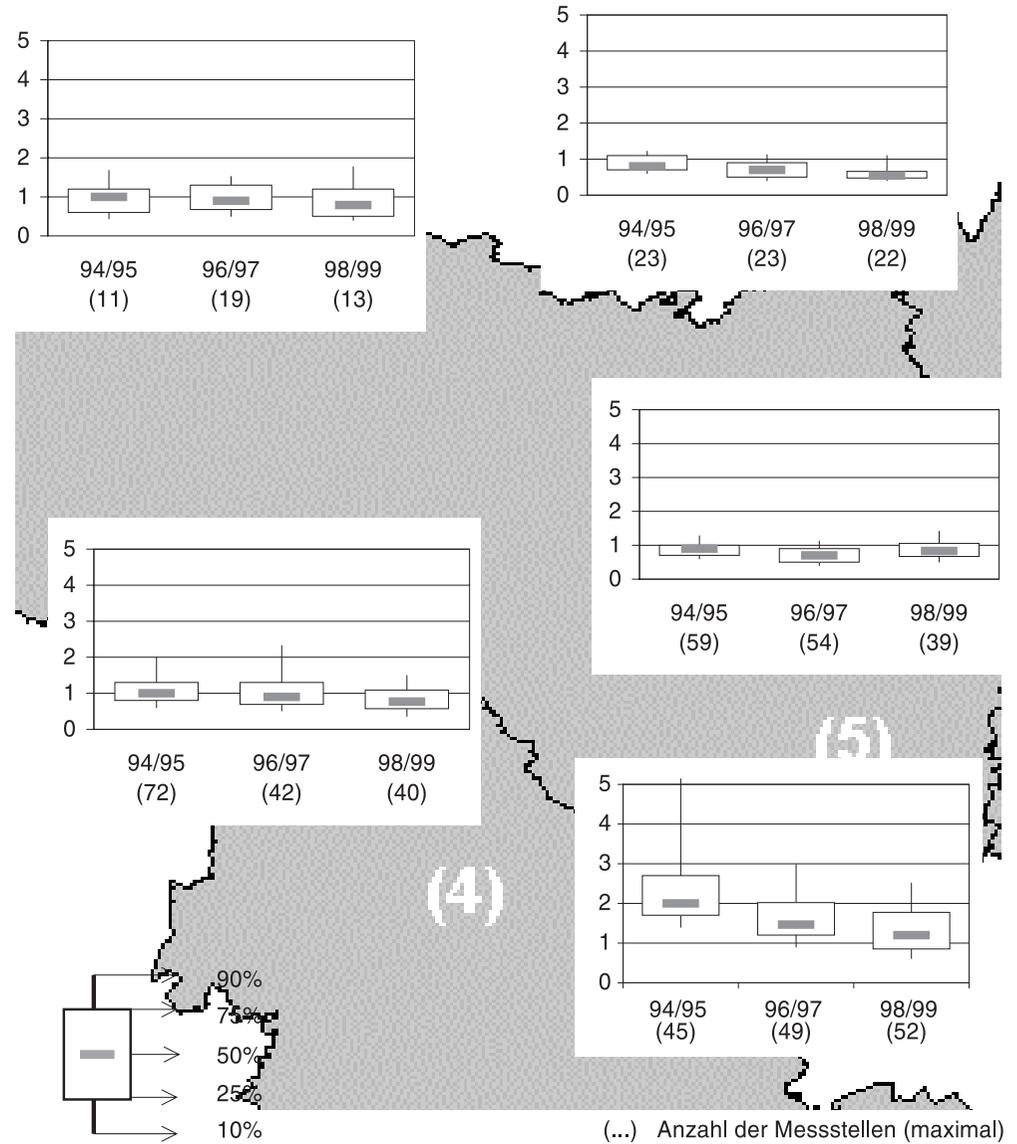


Abb. 4.12: Entwicklung der Summenhäufigkeit der I1-Kenngrößen der Arsen-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) in den Regionen des Landes Brandenburg

(...) Anzahl der Messstellen (maximal)

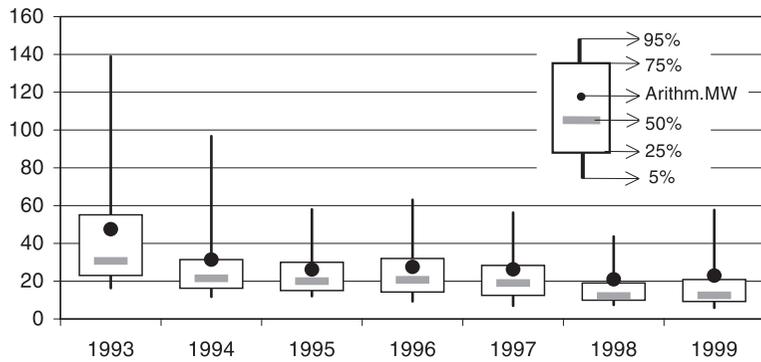


Abb. 4.13: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen aller Blei-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) des Landes Brandenburg

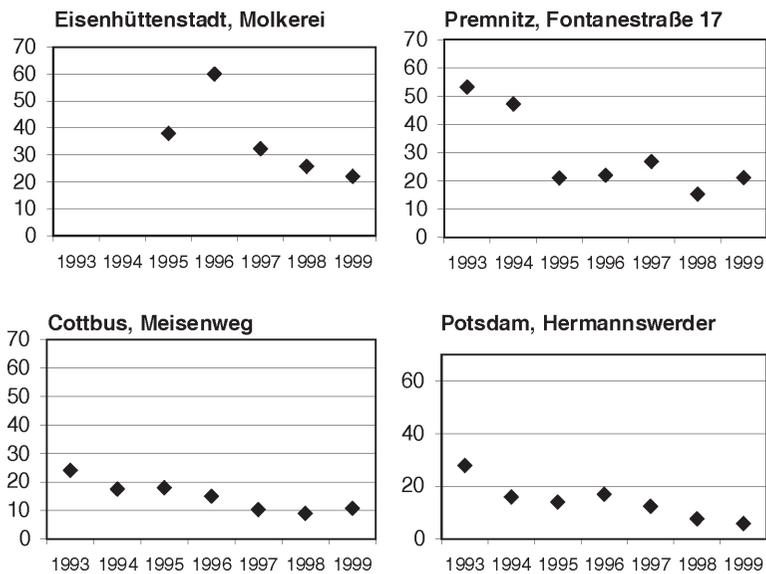


Abb. 4.14: Entwicklung der 11-Kenngrößen ausgewählter Blei-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)

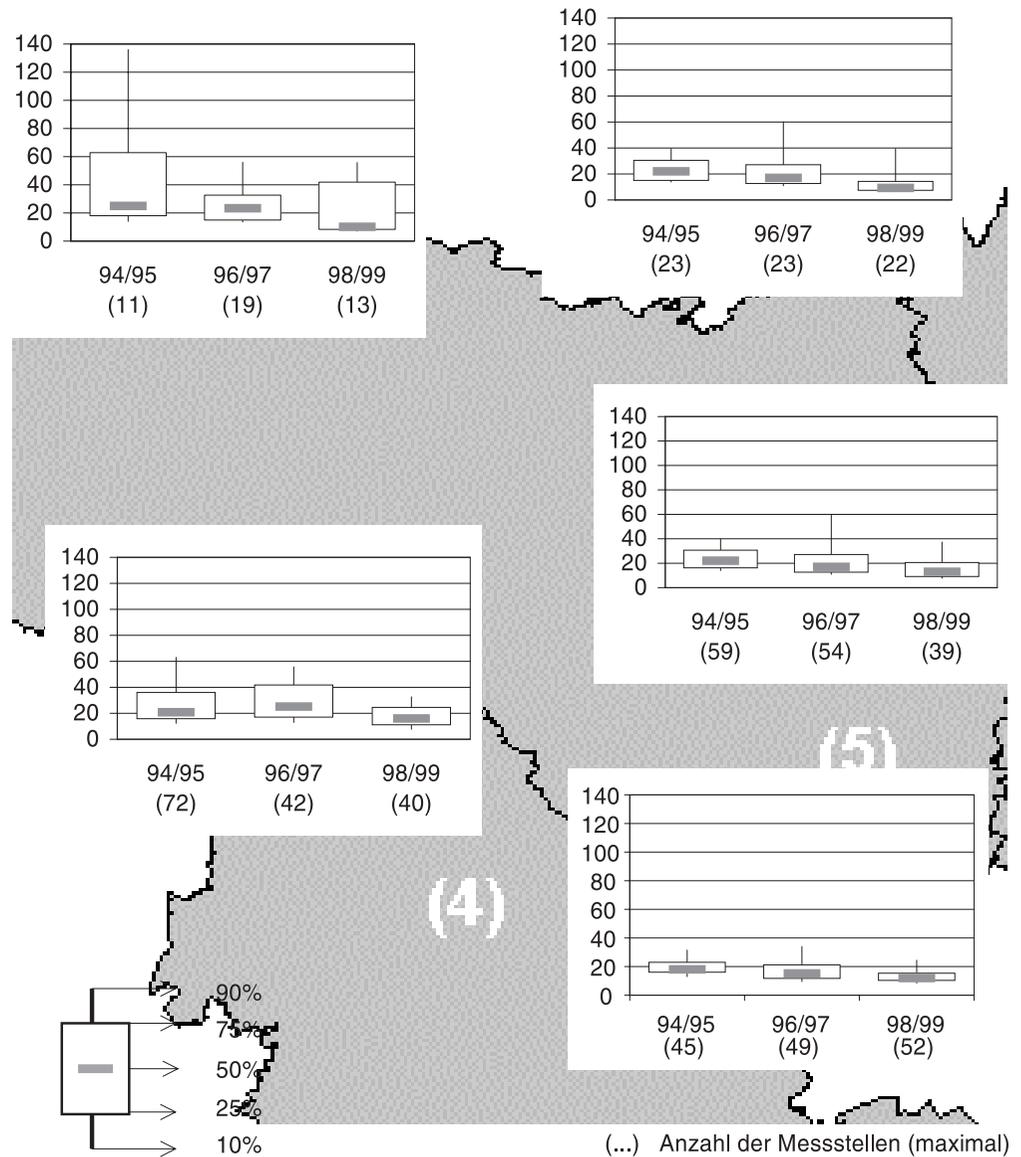


Abb. 4.15: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Blei-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) in den Regionen des Landes Brandenburg

4.2.2.3 Cadmium

Der gegenwärtige Immissionswert von $5 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ [35] soll nach [15, 68] auf $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ gesenkt werden.

Bei der Interpretation der Cadmiumbefunde darf nicht übersehen werden, dass zumindest hinsichtlich der Summenhäufigkeiten unterhalb des Medians und hinsichtlich des arithmetischen Mittelwertes insofern die Objektivität der aggregierten Messergebnisse beeinträchtigt ist, als ein geringer Anteil der Einzelmessungen Ergebnisse unterhalb der Nachweisgrenze ($0,04 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) erbrachte und mit halber Nachweisgrenze in die Aggregation einbezogen wurde. Hinsichtlich der Aussagen zur Einhaltung der Beurteilungswerte ist dies jedoch nahezu bedeutungslos. Der Immissionswert von $5 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ wurde jeweils für die Dauer eines Jahres an 2 Messstellen in Brandenburg a.d.H. überschritten. Bis Mitte der 90er Jahre wurde die $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ -Grenze an wenigen Messstellen einjährig, 1999 an 2 Messstellen übertroffen; infolge der 95 %-Summenhäufigkeitsbegrenzung sind diese Überschreitungen aus Abbildung 4.16 nicht erkennbar.

Abbildung 4.16 zeigt, dass etwa seit 1997 im Landesmittel ein quasikonstantes Niveau des Cadmium-Eintrages erreicht wurde. Diese Aussage gilt analog auch für die städtischen Hintergrundmessstellen nach Abbildung 4.17, während die Messstelle in Eisenhüttenstadt auch danach eine weitere kontinuierliche Reduzierung der Befunde zeigte.

Abgesehen vom Saarland – mit einem industriell bedingten etwas höheren Belastungsniveau – liegen die Befunde Brandenburgs im Niveau der in Anhang 2 vorgestellten anderen Bundesländer.

Gemessen an der Hamburger Kategorisierung [49] sind die in Brandenburg ab 1997 festgestellten Belastungen – bis auf Einzelmessstellen – mit Vorortbelastungen (bis $0,7 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) zu charakterisieren. In wenigen Einzelfällen wurden aber auch emittentennahe Spitzenwerte (bis $6,0 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) ermittelt.

Die regionalen Unterschiede der Cadmium-Niederschläge innerhalb Brandenburgs waren unbedeutend (Abb. 4.18).

4.2.2.4 Chrom

Grenzwerte für den Chrom-Niederschlag gibt es nicht. Für Kinderspielplätze wird eine Chrom-Niederschlagsbegrenzung von $16 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ zur Diskussion gestellt, ohne jedoch diesen Wert als Empfehlung zu deklarieren [15]. Zur Umweltvorsorge für das Schutzgut Boden wird ein Depositionswert von $9 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ (I1) für Chromverbindungen genannt [61]. Der Begriff der Umweltvorsorge umfasst hier auch die ökosystemaren Zusammenhänge im Sinne des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung [62]; die Immissionswerte der TA Luft „sind lediglich der Gefahrenabwehr ... und nicht dem Vorsorgeanspruch ... verpflichtet“ [61]. Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auf die unterschiedlichen Oxidationsstufen von Chrom und auf die Tatsache, dass nur Chrom (III)- und Chrom (VI)-Verbindungen humantoxikologisch relevant sind. Chrom (III)-Verbindungen sind deutlich weniger toxisch als Chrom (VI)-Verbindungen und gelten – im Gegensatz zu Chrom (VI) – nicht als kanzerogen. Daher sind Angaben zum Gesamtchromgehalt nur von geringer Aussagefähigkeit; eine analytische Trennung der verschiedenen Oxidationsstufen konnte nicht vorgenommen wer-

den. Der Anteil von Chrom (VI) am Gesamtchrom im Schwebstaub wird auf 0,01 bis 30 % geschätzt [71].

Die Grenze von $16 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ wurde – insbesondere in den letzten Jahren – an einem bemerkenswerten Anteil von Messstellen (1998 und 1999 je 13 %) überschritten, in Einzelfällen sogar erheblich. Ausdruck dieser Situation ist auch die statistische Besonderheit, dass der arithmetische Mittelwert 1998 oft im Bereich des 75-Perzentils und sogar darüber lag (Abb. 4.19). 1999 betrug der Medianwert sogar nur 50 % des arithmetischen Mittelwertes. Ursachen dieser Situation sind möglicherweise Altlasten, die bei Abrissarbeiten und durch Resuspension wirksam werden. Der ungewöhnliche Trend an der Messstelle Brandenburg a.d.H., A.-Bebel-Str. und in der Region 4 (Abb. 4.21) stützt diese Annahme ebenso wie die große Spannweite der Befunde in der Region 4 im Zeitraum 1997 bis 1999. Der Anstieg der Belastung in der Region 2 in den letzten Jahren kann möglicherweise – zumindest teilweise – auf produzierende Anlagen zurückgeführt werden.

Auffällig und im Moment nicht hinreichend begründbar sind die relativ hohen Chrombefunde in der Region 5. Auch im Rahmen eines Moosmonitorings wurden im Jahre 1995/1996 in diesem Raum einige auffällig hohe Belastungen festgestellt [6]. Die Chrom-Konzentration im Staub war in der Region 5 fast doppelt so hoch wie in der Region 4. Anthropogene Quellen sind in dieser Region nicht bekannt. Es ist nicht auszuschließen, dass der geogene Grundgehalt des Bodens und Gülleausbringung [73] die regionale Verteilung des Chromgehaltes des Staubniederschlages beeinflusst haben. Grundmoränen des sogenannten Pommerschen Stadiums reichen bis in den Norden Brandenburgs, sie weisen relativ hohe Chromgehalte auf (ca. 15–30 ppm) [51]. Der Chromgehalt des Staubniederschlages lag in der Größenordnung von 100 ppm. Auch in Mecklenburg-Vorpommern wurden – ohne bemerkenswerte anlagenbedingte Emissionen – Chrombelastungen in der Größenordnung der Befunde in der Region 5 festgestellt, die im Vergleich zu Bayern und Sachsen-Anhalt relativ hoch (Anlage 2) sind.

Die Kategorisierung nach [49] stuft Belastungen bis $15 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ als städtisch und bis $30 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ als industriell ein, d.h. die Belastung in Brandenburg ist weitgehend als typisch städtisch einzustufen.

4.2.2.5 Mangan

Grenzwerte für Mangan-Niederschlag gibt es nicht. Für die nachfolgende Befundinterpretation wird ein selbst gewählter Beurteilungswert von $60 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ (Jahresmittelwert) zugrunde gelegt, der sich an Empfehlungen für die aspiratorische Schwermetall-Begrenzung [52] orientiert.

Im Landesmittel ist nach Abbildung 4.22 ein nur schwach sinkender Trend erkennbar. Dies resultiert aus den deutlich unterschiedlichen zeitlichen Belastungsentwicklungen an den einzelnen Messstellen, wie Abbildung 4.23 illustriert und was auch in Form der unterschiedlichen regionalen Entwicklung (Abb. 4.24) dokumentiert wird.

Der Beurteilungswert wurde mit erheblicher Häufigkeit und an einzelnen Messstellen auch deutlich überschritten; Maximalergebnisse lagen um eine Größenordnung über dem Beurteilungswert.

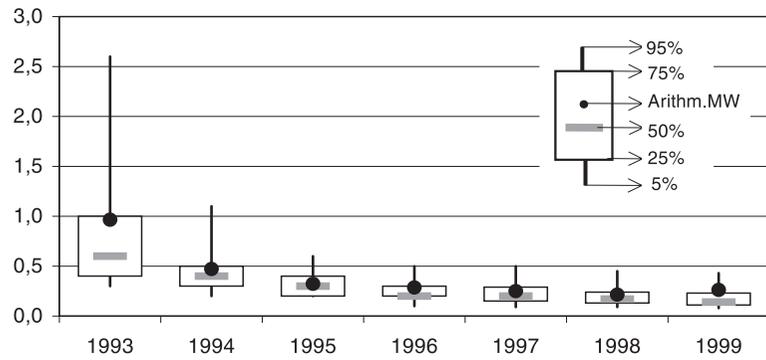


Abb. 4.16: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen aller Cadmium-Staubiederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) des Landes Brandenburg

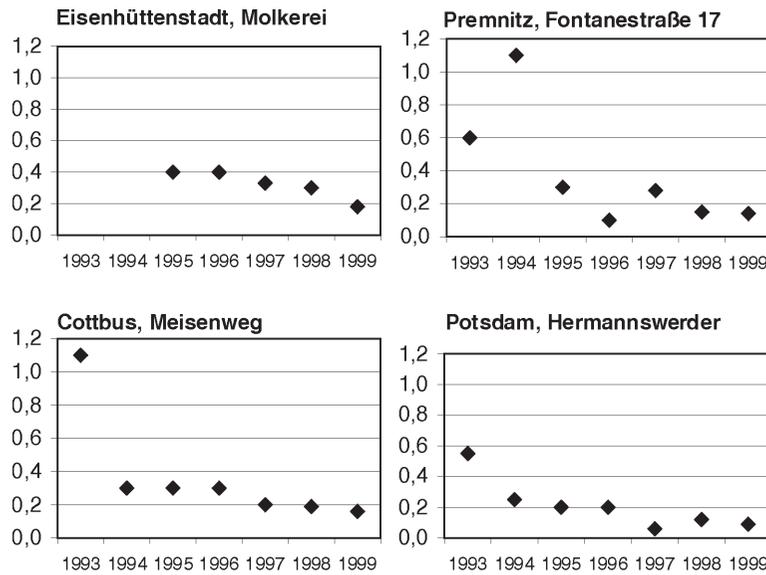


Abb. 4.17: Entwicklung der 11-Kenngrößen ausgewählter Cadmium-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)

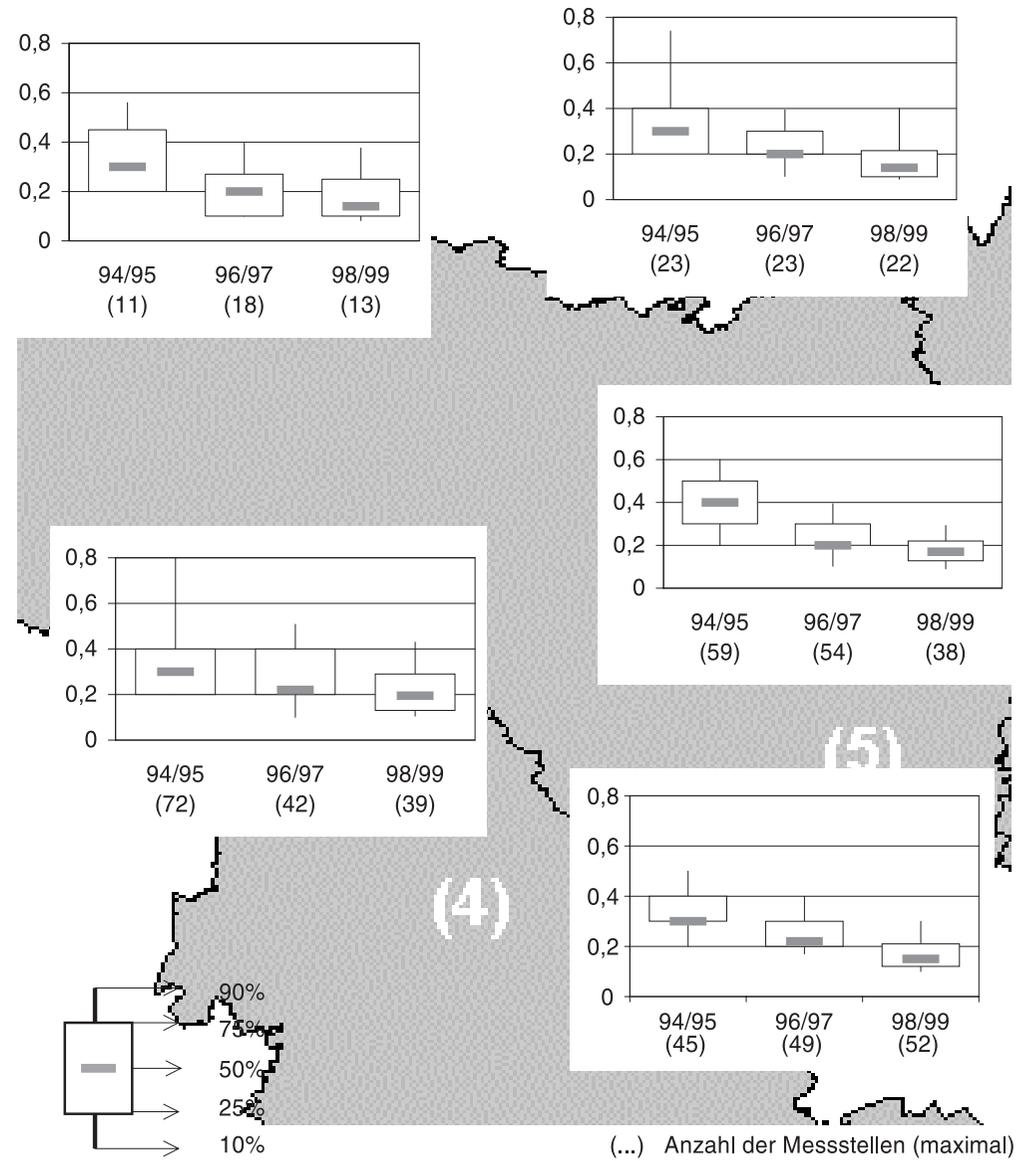


Abb. 4.18: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Cadmium-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) in den Regionen des Landes Brandenburg

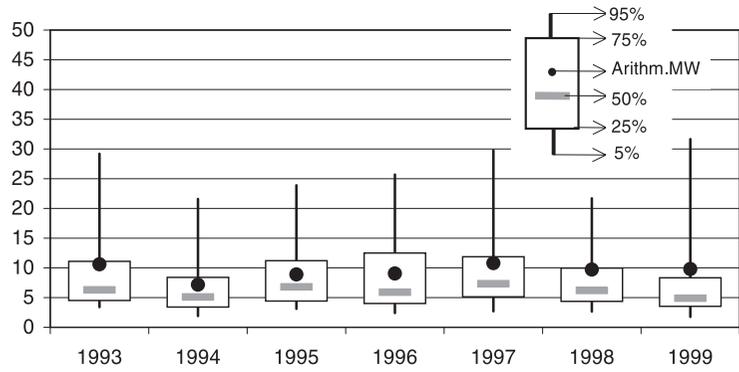


Abb. 4.19: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen aller Chrom-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) des Landes Brandenburg

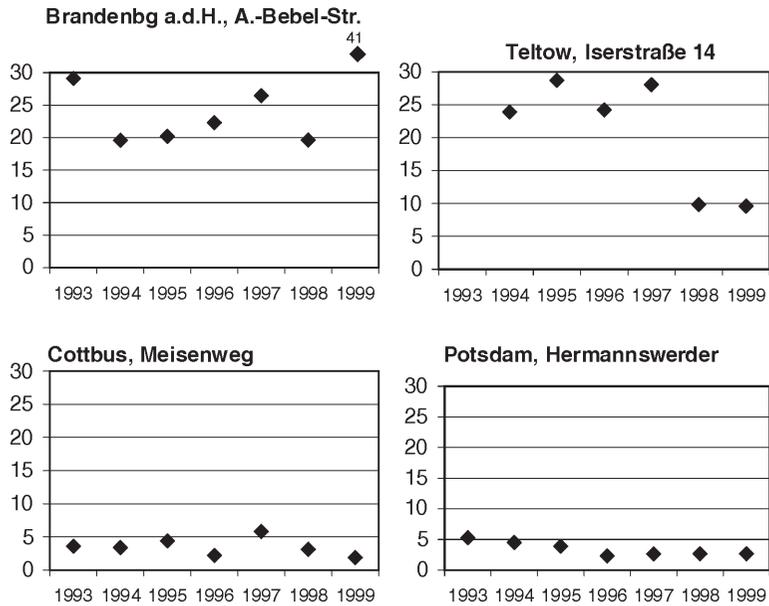


Abb. 4.20: Entwicklung der 11-Kenngrößen ausgewählter Chrom-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)

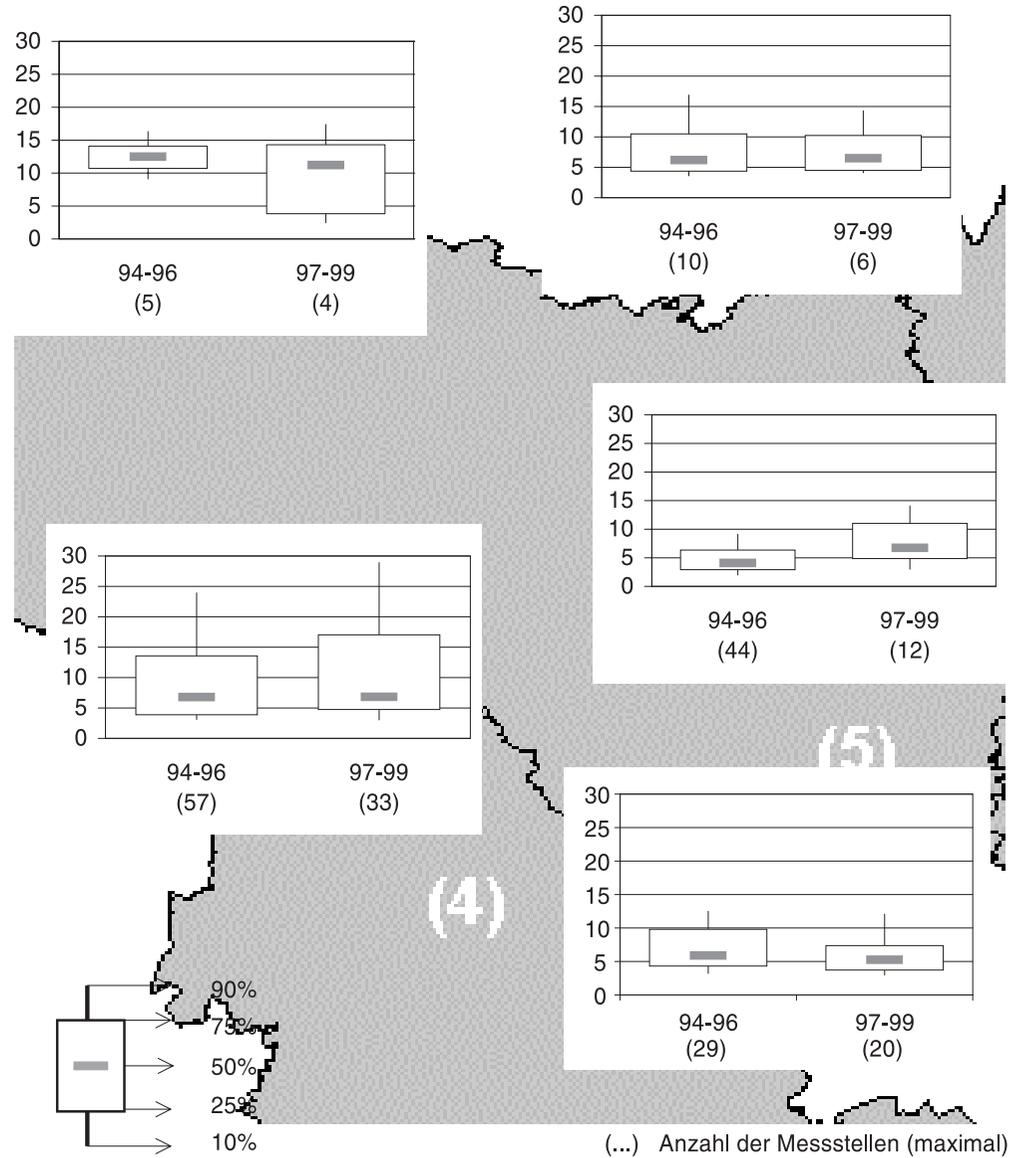


Abb. 4.21: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Chrom-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) in den Regionen des Landes Brandenburg

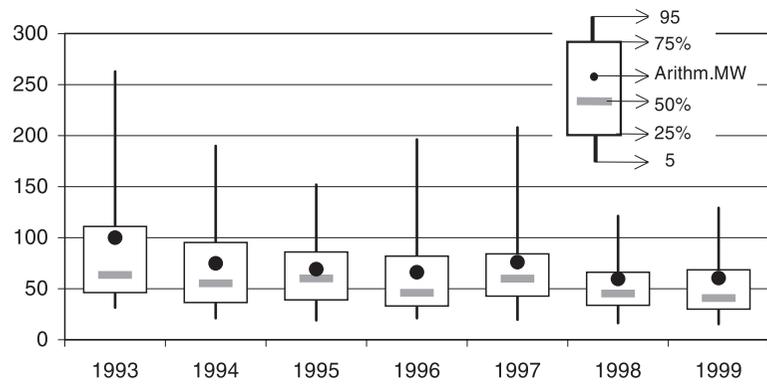


Abb. 4.22: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen aller Mangan-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) des Landes Brandenburg

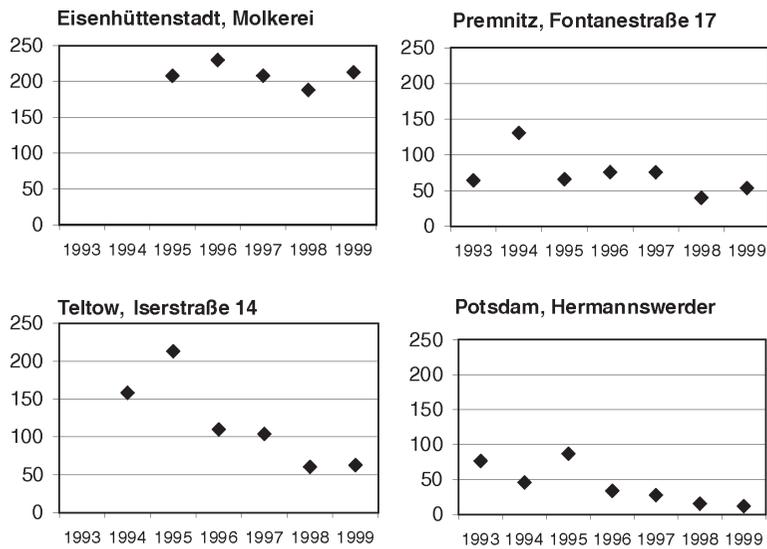


Abb. 4.23: Entwicklung der 11-Kenngrößen ausgewählter Mangan-Staubniederschlagsbefunde ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)

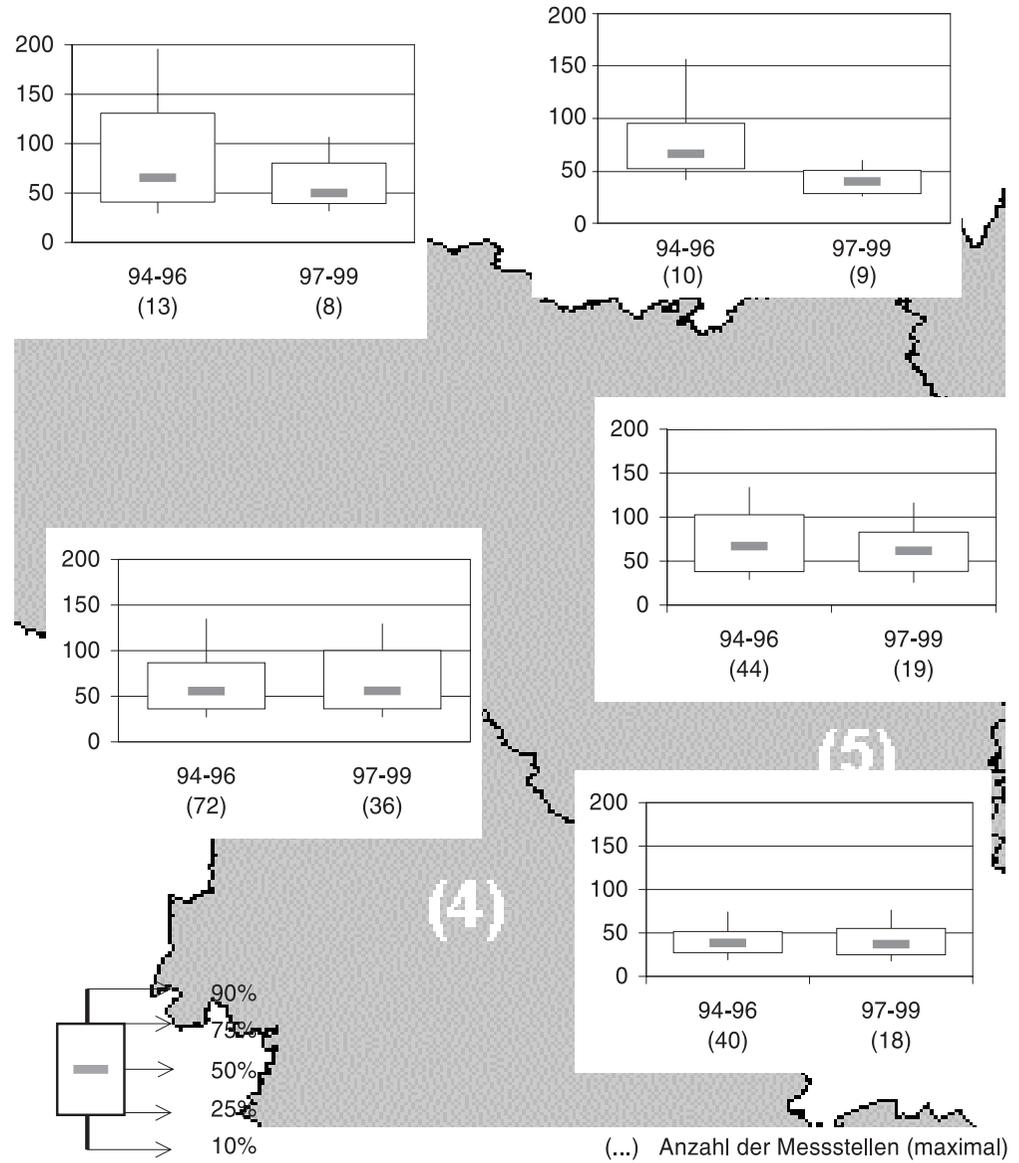


Abb. 4.24: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Mangan-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) in den Regionen des Landes Brandenburg

(...) Anzahl der Messstellen (maximal)

Der Anteil der Messstellen, an denen die I1-Kenngrößen den Beurteilungswert überschritten, ist landesweit von 52 % im Jahr 1993 auf 33 % im Jahr 1999 gesunken. Die großen Spannweiten gemäß Abbildung 4.22 verdeutlichen, in welchem beachtlichen Umfang trotzdem auch in den letzten Jahren die Spitzenwerte das landesweite Belastungsbild prägten. Spitzenbelastungen wurden vor allem in Kerngebieten der metallurgischen und metallverarbeitenden Industrie festgestellt, wobei offensichtlich auch hier – ähnlich den Gegebenheiten beim Chrom – Resuspensionen aus Altlasten eine gewisse Rolle spielten.

Mangan-Befunde sind nur von wenigen Bundesländern verfügbar (Anhang 2); daher ist ein belastbarer bundesweiter Vergleich nicht möglich.

Die regionale Verteilung der Manganbelastung zeigte zumindest in den letzten Jahren in den Regionen 2, 4 und 5 die höchsten Befunde (Abb. 4.24). Auch im Rahmen des Moosmonitorings [66] wurden in der Region 5 vereinzelt erhöhte Belastungen ermittelt. In den Regionen 2 und 4 wurde selbst 1999 noch an über 40 % aller Messstellen der Beurteilungswert überschritten, 1995 waren es mit den selben örtlichen Schwerpunkten in der Region 2 54 % und in der Region 4 69 %. Diese Überschreitungshäufungen beziehen sich auf die Messstellen in Eisenhüttenstadt, Brandenburg a.d.H., Falkensee und Zossen.

4.2.2.6 Nickel

Nach [15, 68] wird eine Begrenzung des Ni-Niederschlags auf $15 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ im Jahresmittel vorgeschlagen. Zur Umweltvorsorge für das Schutzgut Boden wird ein Depositionswert von $6 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ (I1) für Nickelverbindungen genannt [61].

1995 wurde an 30 % aller Messstellen die Begrenzung des I1-Wertes ($15 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) überschritten, 1999 nur noch an 4 %. Die maximalen Befunde reichten bis zum Dreifachen der Begrenzung. Der zeitliche Trend der Mediane lässt im Landesmittel ebenfalls eine Belastungsminderung erkennen (Abb. 4.25), wobei nicht alle Messstellen diesem Trend folgten und das Ausmaß der Minderung in den Städten ohne direkten industriellen Einfluss sehr unterschiedlich war (Abb. 4.26). Auffällig sind die großen Spannweiten aller I1-Kenngrößen und die große räumliche Streubreite der Befunde im Jahr 1995, die durch sehr hohe Nickelkonzentrationen in der Region 3 (nur in diesem Jahr) verursacht wurden, deren Ursache nicht aufgeklärt werden konnte [6].

Im bundesweiten Vergleich war die Belastung im Land Brandenburg relativ hoch; bis Mitte der 90er Jahre bewegte sie sich sogar im Niveau des Saarlandes, dessen Belastungssituation durch die Konzentration metallurgischer Industrie geprägt wurde.

Gemessen an der Hamburger Kategorisierung [49] waren die Belastungen in Brandenburg bis Mitte der 90er Jahre überwiegend mit städtisch (bis $12 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) bis industriell (bis $45 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) zu charakterisieren. Danach trug sie städtischen oder Vorortcharakter (bis $10 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$).

Relativ große regionale Unterschiede innerhalb Brandenburgs mit hohen Immissionen in der Region 3 wurden zu Beginn des Untersuchungszeitraumes festgestellt. Hier zeigte sich auch bis etwa 1997 eine Besonderheit in der Form, dass die Nickel-

konzentration im Staubbiederschlag höher war als im Schwebstaub. Dieses Phänomen trat weder bei anderen Spurenelementen noch in anderen Regionen auf [6]. Die Konzentration von Kraftwerken in der Region 3 kann die erhöhten Nickeldepositionen allein nicht erklären, da die Konzentrationen in den Emissionsstäuben (90 ppm nach [53]) im Allgemeinen unter den Konzentrationen im Staubbiederschlag lagen.

Grundmoränen sind zwar relativ reich an Nickel, erreichen aber nur Konzentrationen in einer Größenordnung um 5 ppm, während diese im Staubbiederschlag bei ca. 40 ppm lagen.

In den letzten Jahren wurden in der Region 1 etwas höhere anlagenbedingte Nickeldepositionen festgestellt. Die relativ großen Spannweiten deuten im gesamten Untersuchungszeitraum auch auf anlagenbedingte Emissionen hin.

4.2.2.7 Zink

Grenzwerte für den Zink-Niederschlag gibt es nicht. Die Hessische Landesanstalt für Umwelt hat einen „Immissionsvergleichswert“ (Jahresmittelwert) von $750 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ definiert [50]. In der Schweiz gibt es einen Grenzwert von $400 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ [54]. Zur Umweltvorsorge für das Schutzgut Boden wird in [61] für Zinkverbindungen ein Depositionswert von $35 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ (I1) genannt.

Den nachfolgenden Bewertungen wird ein eigener Beurteilungswert von $300 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ zugrunde gelegt. Dieser Beurteilungswert liegt im Bereich der zulässigen zusätzlichen Frachten nach Anhang 2 Ziffer 5 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung [8] und stellt nach [33] die Obergrenze städtischer Belastungen dar. 1995 wurde von 37 % aller Messstellen dieser Beurteilungswert überschritten, 1999 von 4 % aller Messstellen. Die maximalen Befunde lagen bis 1995 bis zu einer Größenordnung über dieser Begrenzung, nach 1995 wurden noch Spitzenbelastungen bis zum dreifachen der Begrenzung erreicht. Im Landesmittel sanken die Befunde im Zeitraum 1997 bis 1999 etwa auf die Hälfte (Abb. 4.28). Abbildung 4.29 belegt, dass an Messstellen im Einflussbereich metallurgischer Anlagen sehr große Belastungsreduzierungen zu verzeichnen waren. Daher gingen in den letzten Jahren die Spitzenbelastungen vor allem von Schrottplätzen oder Altlasten aus. Im Vergleich zu den Messergebnissen anderer Bundesländer (Anhang 2) waren die Immissionen in Brandenburg zumindest bis 1997 überhöht.

Während 1995 noch beachtenswerte regionale Belastungsunterschiede existierten (Mediane zwischen 170 und $300 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$), lagen die Mediane der Regionen im Jahre 1999 bei 80 bis $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. Die Mittelung über 3 Jahre in der Abbildung 4.30 maskiert diese Entwicklung insbesondere in den Regionen 4 und 5, da hier in den Jahresscheiben stärkere Schwankungen festgestellt wurden. Eine beachtenswerte Beeinflussung der Befunde durch aufgewirbeltes Bodenmaterial ist nicht gegeben, da selbst im Zn-reichen Grundmoränengebiet im Boden nur Zn-Konzentrationen von 20 bis 30 ppm erreicht werden [51], während sich die festgestellten Konzentrationen im Staubbiederschlag in der Größenordnung von 10^3 ppm bewegten.

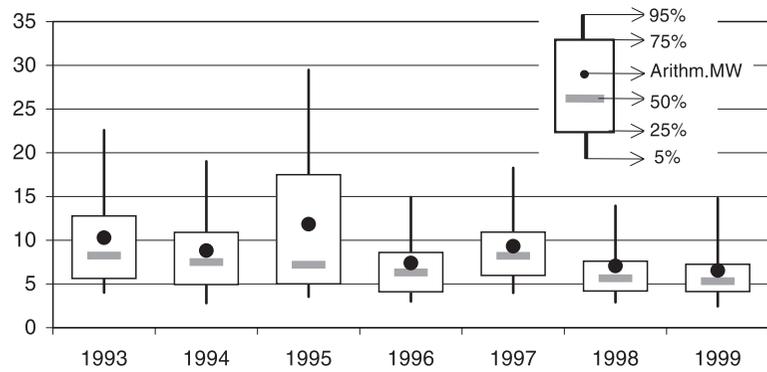


Abb. 4.25: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen aller Nickel-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) des Landes Brandenburg

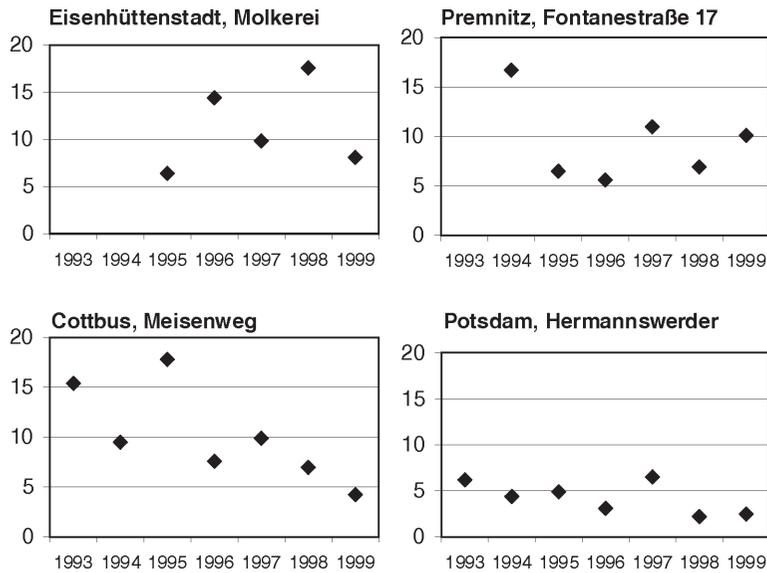


Abb. 4.26: Entwicklung der 11-Kenngrößen ausgewählter Nickel-Staubniederschlagsbefunde ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)

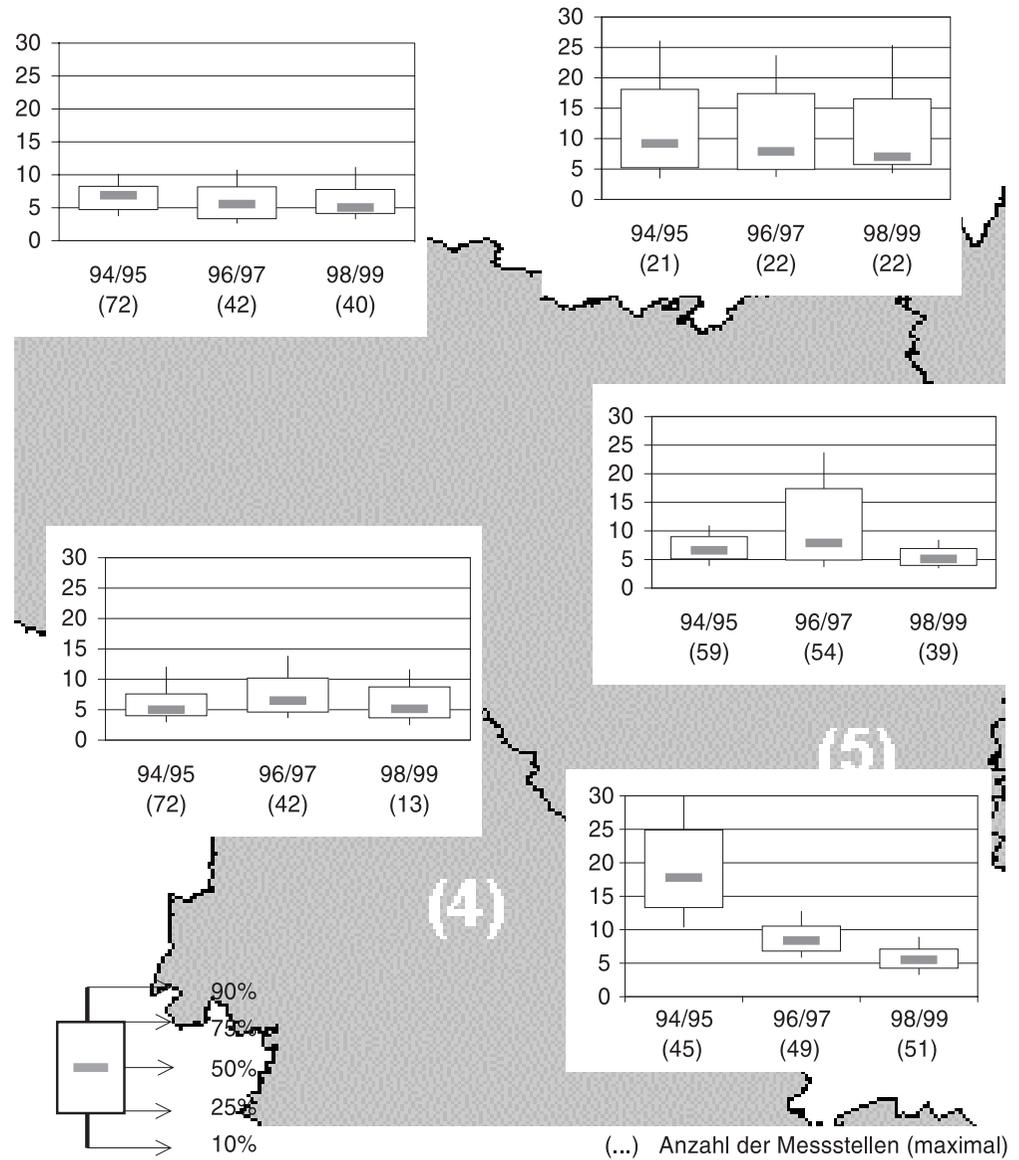


Abb. 4.27: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Nickel-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$) in den Regionen des Landes Brandenburg

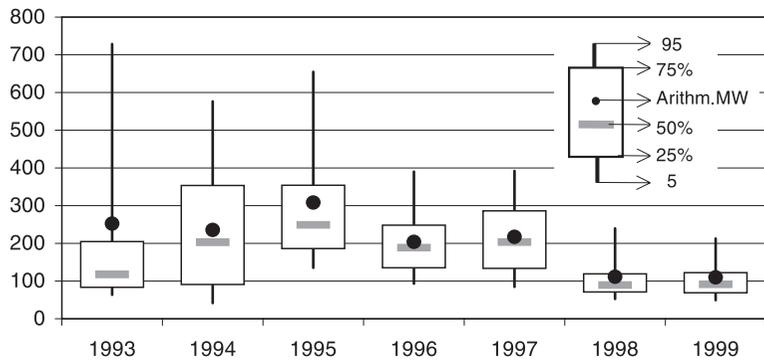


Abb. 4.28: Entwicklung der Summenhäufigkeit der I1-Kenngrößen aller Zink-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) des Landes Brandenburg

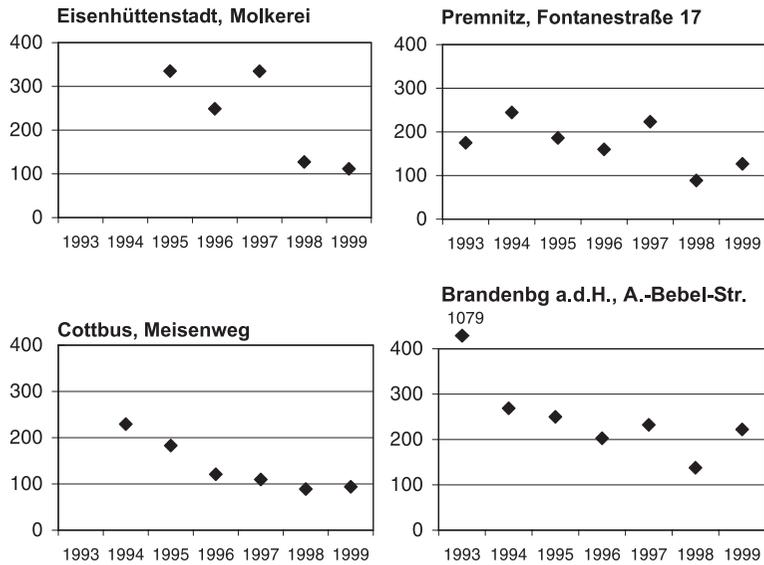


Abb. 4.29: Entwicklung der I1-Kenngrößen ausgewählter Zink-Staubniederschlagsbefunde ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)

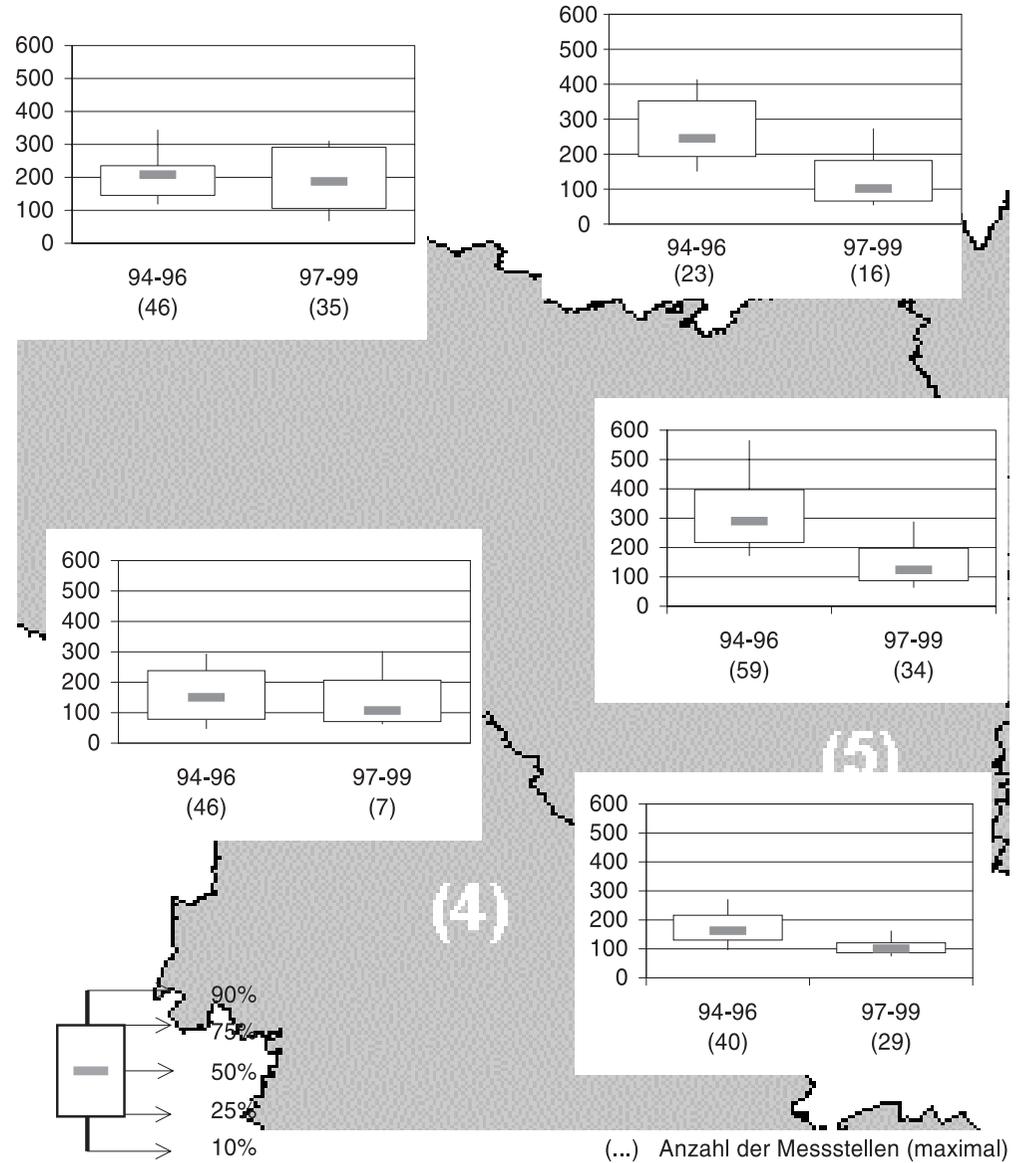


Abb. 4.30: Entwicklung der Summenhäufigkeit der I1-Kenngrößen der Zink-Staubniederschlagsmessstellen ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) in den Regionen des Landes Brandenburg

4.2.2.8 Cobalt, Eisen, Molybdän

Cobalt, Eisen, Molybdän und auch die darauf folgend vorgestellten Stoffe wurden lediglich einem Screening unterzogen.

Grenzwerte gibt es für Cobalt, Eisen und Molybdän nicht.

Für **Cobalt** ist aus der Literatur ein Beurteilungswert von 5 µg/(m²·d) bekannt [50]. Zur Umweltvorsorge für das Schutzgut Boden wird ein Depositionswert für Cobaltverbindungen (I1) von 16 µg/(m²·d) genannt [61]. In anderen Bundesländern wurden folgende Jahresmittelwerte ermittelt:

- Mecklenburg-Vorpommern 1994
2,0 (0,8–3,9) µg/(m²·d) [43]
1997
1,5 (0,5–2,6) µg/(m²·d) [46]
- Saarland [33]
1994/1995
(Gebietsmittelwerte)
(0,3–2,1) µg/(m²·d)
1996/1997
(0,5–2,6) µg/(m²·d)
1998/1999
(0,5–3,1) µg/(m²·d)
- Hessen [72] (Gebietsmittel) 1993
(0,6–1,1) µg/(m²·d).

Gemessen am Beurteilungswert und den Befunden anderer Bundesländer waren die Cobalt-Daten in Brandenburg unauffällig (Abb. 4.31). Es wurden keine bemerkenswerten regionalen Unterschiede festgestellt, was möglicherweise der Tatsache geschuldet ist, dass die Nachweisgrenze bei 0,08 µg/(m²·d) lag. Eine Beeinflussung der Befunde durch aufgewirbelten Boden ist wahrscheinlich, da die Co-Konzentration im Boden in der gleichen Größenordnung liegt wie sie im Staubbiederschlag festgestellt wurde. Auch hier liegen die Gehalte im Grundmoränenbereich etwas höher.

Im Raum Trier wurden **Eisen**-Befunde zwischen 1,4 und 10,2 mg/(m²·d) ermittelt, wobei sich Befunde über 3,3 mg/(m²·d) auf das Zentrum des Industriegebietes Trier-Hafen beschränkten [55]. Die Depositionen in Brandenburg bewegten sich in der gleichen Größenordnung (Abb. 4.31) und die regionalen Unterschiede waren unbedeutend. Jahresmittelwerte über 3 mg/(m²·d) wurden nicht nur im Einflussbereich metallurgischer Industrie festgestellt, sondern auch an Einzelmessstellen in industriefernen Gebieten (z.B. Burg). In Böden findet man 7.000 bis 42.000 ppm Fe [56]; bei den Staubbiederschlagsproben lag der Fe-Gehalt in der Größenordnung von 3·10³ bis 4·10⁴ ppm. Da die Brandenburger Böden relativ eisenreich sind, ist davon auszugehen, dass in einigen Bereichen der Boden eine beachtenswerte Quelle für Eisen im Staubbiederschlag darstellt.

Der **Molybdän**-Gehalt von Böden schwankt zwischen 0,2 und 5 ppm [56]; bei den Staubbiederschlagsproben Brandenburgs lag der Mo-Gehalt in der Größenordnung von 5 ppm. Die Mo-Befunde zeigten weder zeitlich noch regional erhebliche Unterschiede (Abb. 4.31 und 4.32).

4.2.2.9 Barium, Kupfer, Titan

Die **Barium**-Konzentration der Böden beträgt etwa 500 ppm [56]. In den Staubbiederschlagsproben aus Brandenburg lag der Ba-Gehalt bei 1 bis 10 ppm. Die Ba-Befunde zeigten weder zeitlich noch regional erhebliche Unterschiede (Abb. 4.33 und 4.34).

Nach Anhang 2 Ziffer 5 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung [8] beträgt die zulässige **Kupfer**-Fracht über alle Wirkungspfade rund 100 µg/(m²·d). Dieser Wert wurde in Brandenburg nach 1997 im Allgemeinen um etwa eine Größenordnung unterschritten (Abb. 4.33). In anderen Bundesländern wurden nachstehende Cu-Einträge durch den Staubbiederschlag ermittelt:

- Bayern 1994
23 (4–113) µg/(m²·d) [41]
1997
25 (4–180) µg/(m²·d) [27]
- Mecklenburg-Vorpommern 1994
28 (4– 59) µg/(m²·d) [43]
1997
25 (5– 50) µg/(m²·d) [46]
- Sachsen-Anhalt 1998
30 (4–609) µg/(m²·d) [47]
- Schleswig-Holstein 1998
11 (3– 42) µg/(m²·d) [31].

Auffällig ist die Halbierung der Befunde in Brandenburg zwischen 1997 und 1998. In der Region 3 wurde relativ wenig Cu festgestellt. Im Rahmen des Moosmonitorings wurden insbesondere in der Region 5 vergleichsweise hohe Cu-Konzentrationen ermittelt, deren Ursache wahrscheinlich Gülleausbringung, Cu-haltige Düngemittel und Pestizide sind [6,73]. Auch bei den Staubbiederschlagsuntersuchungen zeigten die Regionen 4 und 5 die höchsten Konzentrationen (Abbildung 4.34). Der Cu-Gehalt unkontaminierten Oberbodens liegt im Bereich 2 bis 10 ppm [51], die Gehalte im Staubbiederschlag befanden sich mindestens eine Größenordnung darüber.

Der Boden enthält 1.500 bis 5.000 ppm **Titan** [56]; im Staubbiederschlag Brandenburgs wurden 10² bis 10³ ppm gefunden. Auffällig ist wiederum die Reduzierung der Befunde zwischen 1997 und 1999 auf 1/3 (Abb. 4.33). Die Lausitzer Braunkohle ist zwar Ti-reich (250 ± 200 ppm), jedoch angesichts der niedrigen Staubemission aus Feuerungsanlagen in den letzten Jahren und wegen der gegenüber Ti wesentlich erhöhten Mangan-Konzentrationen im Staubbiederschlag (Abb. 4.22) kann der Einsatz von Braunkohle kaum die Ursache der Ti-Immission sein. Andere Ti-Quellen sind nicht bekannt.

4.2.2.10 Antimon, Selen, Zinn, Vanadium

Für Antimon, Selen, Zinn und Vanadium gibt es keine Grenzwerte. Für **Antimon** wird in der Literatur ein Beurteilungswert von 20 µg/(m²·d) für das Jahresmittel genannt [50, 58]. Zur Umweltvorsorge für das Schutzgut Boden wird ein Luftqualitätsstandard für Antimonverbindungen (I1) von 2 µg/(m²·d) angegeben [61]. Der Beurteilungswert wurde in Brandenburg um etwa eine Größenordnung unterschritten, der Luftqualitätsstandard weitgehend eingehalten (Abb. 4.35). In anderen Bundesländern wurden folgende I1-Kenngrößen ermittelt:

- Rhein-Main-Gebiet [58] 1986/1987
(1–9) µg/(m²·d)
- Schleswig-Holstein [31] 1998
0,8 (0,2–3,4) µg/(m²·d)
- Saarland [33] 1994/1995
(Gebietsmittel) 1996/1997
(0,2–1,2) µg/(m²·d)
1998/1999
(0,3–1,3) µg/(m²·d)
(0,3–1,2) µg/(m²·d).

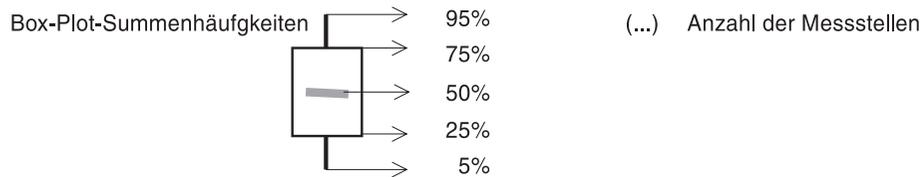
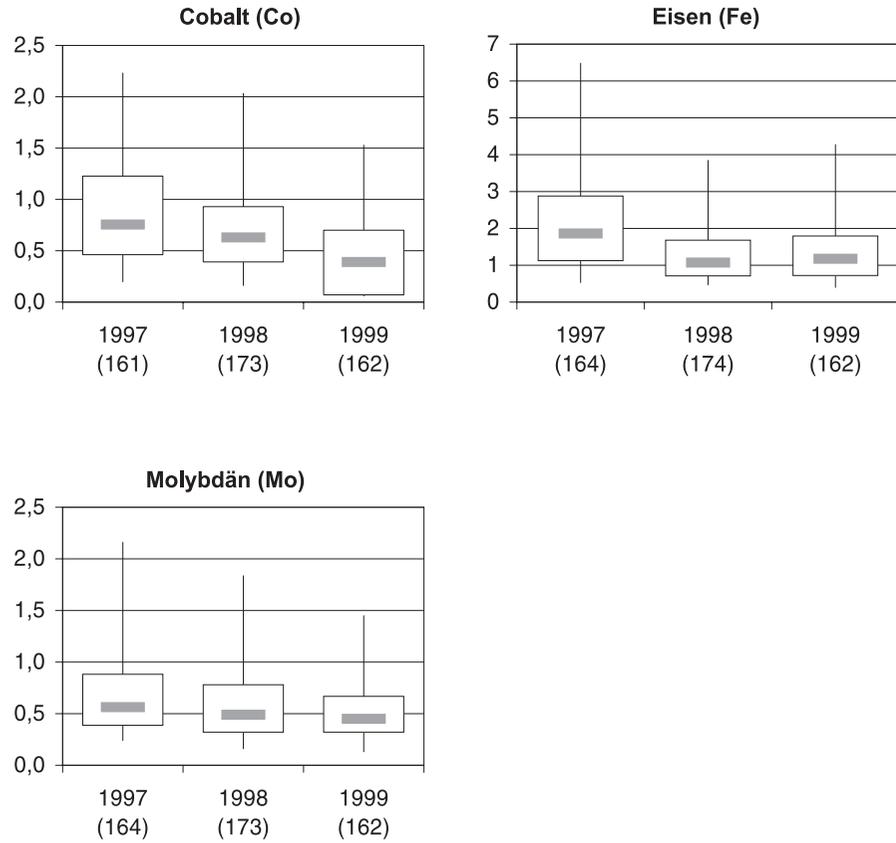


Abb. 4.31: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Spurenelemente Cobalt ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$), Eisen ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) und Molybdän ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) im Staubb-niederschlag des Landes Brandenburg

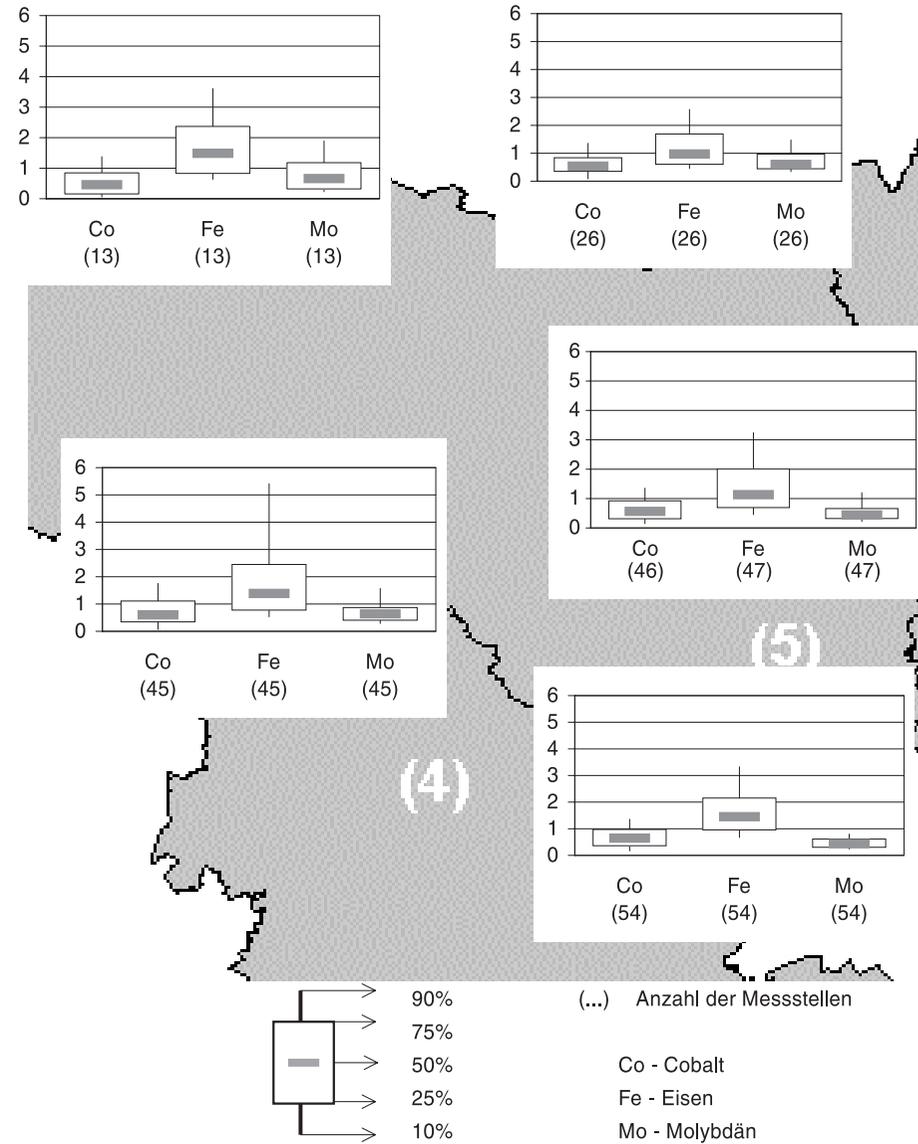


Abb. 4.32: Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Spurenelemente Cobalt ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$), Eisen ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) und Molybdän ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) im Staubb-niederschlag in den Regionen des Landes Brandenburg (1997–1999)

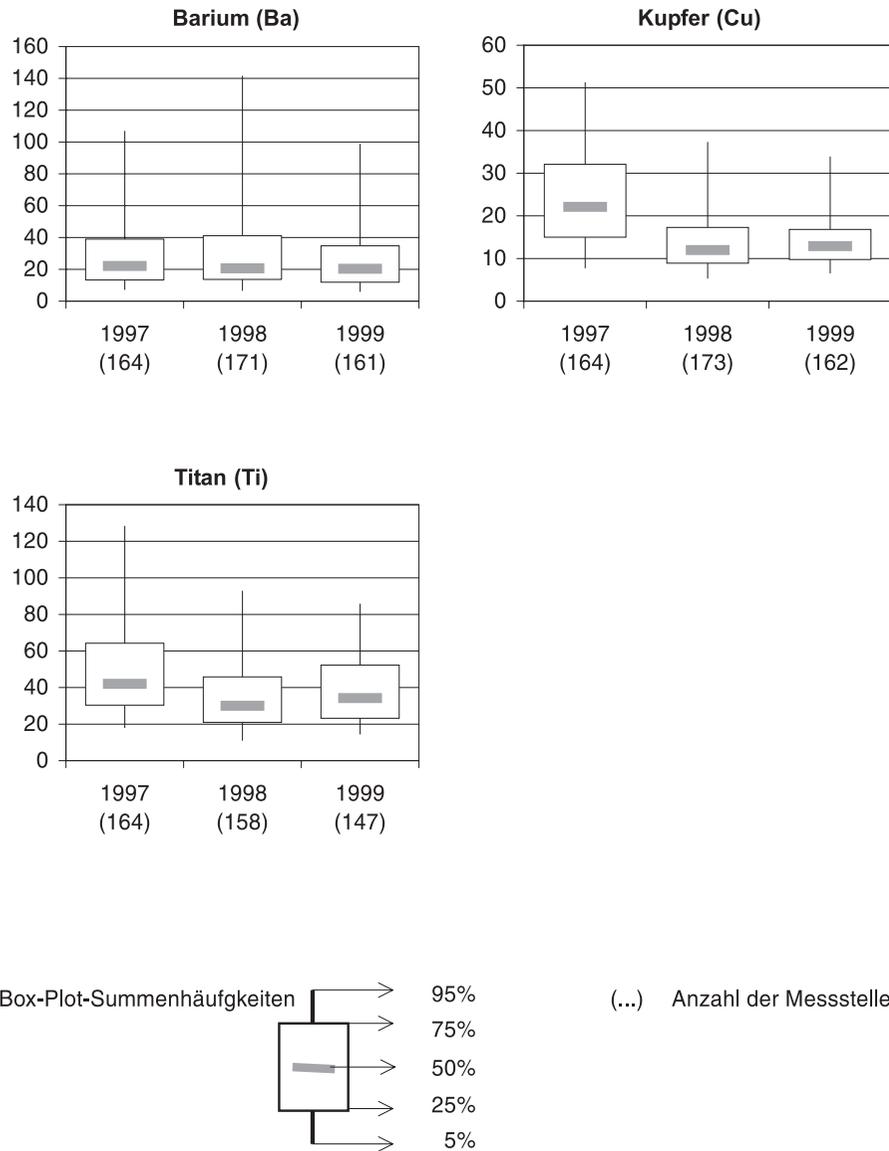


Abb. 4.33: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Spurenelemente Barium, Kupfer und Titan ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) im Staubbiederschlag des Landes Brandenburg

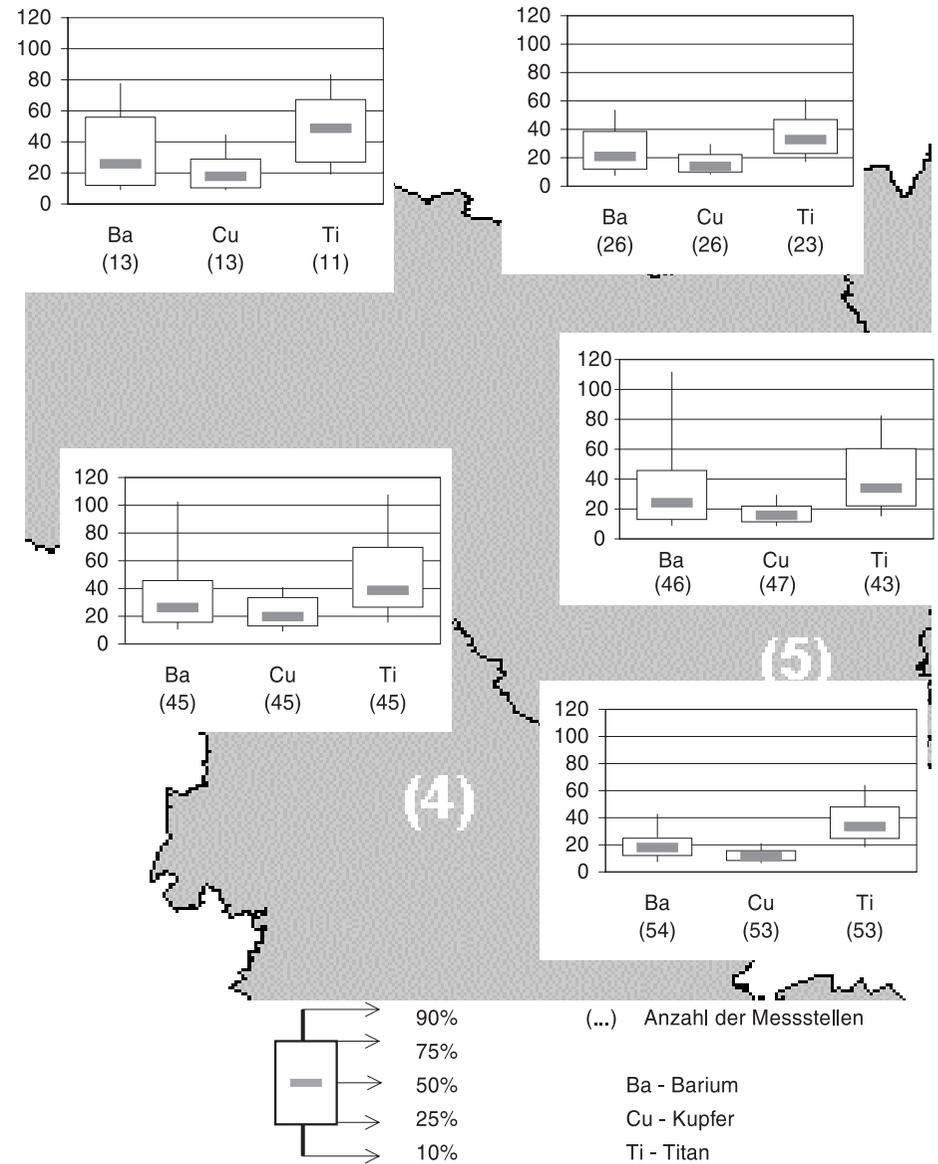


Abb. 4.34: Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Spurenelemente Barium, Kupfer und Titan ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) im Staubbiederschlag in den Regionen des Landes Brandenburg (1997–1999)

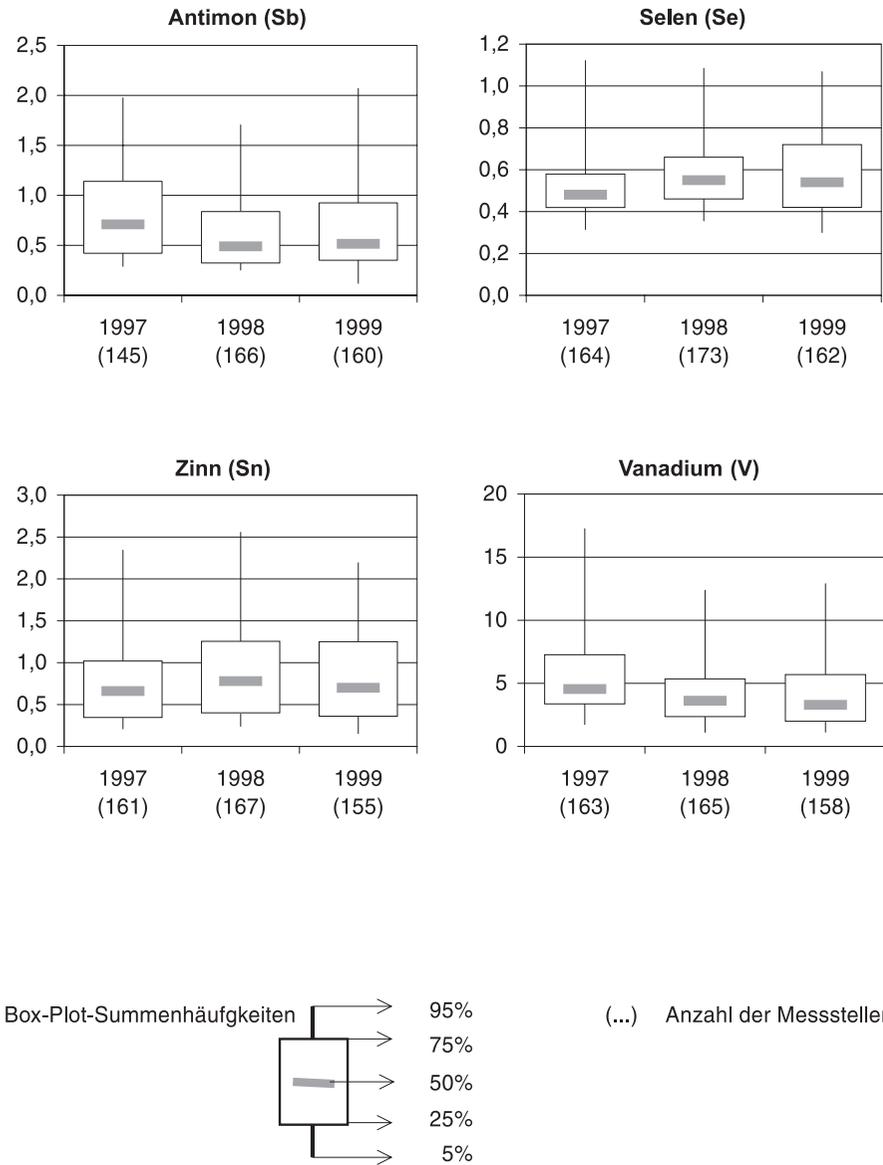


Abb. 4.35: Entwicklung der Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Spurenelemente Antimon, Selen, Zinn und Vanadium ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) im Staubniederschlag des Landes Brandenburg

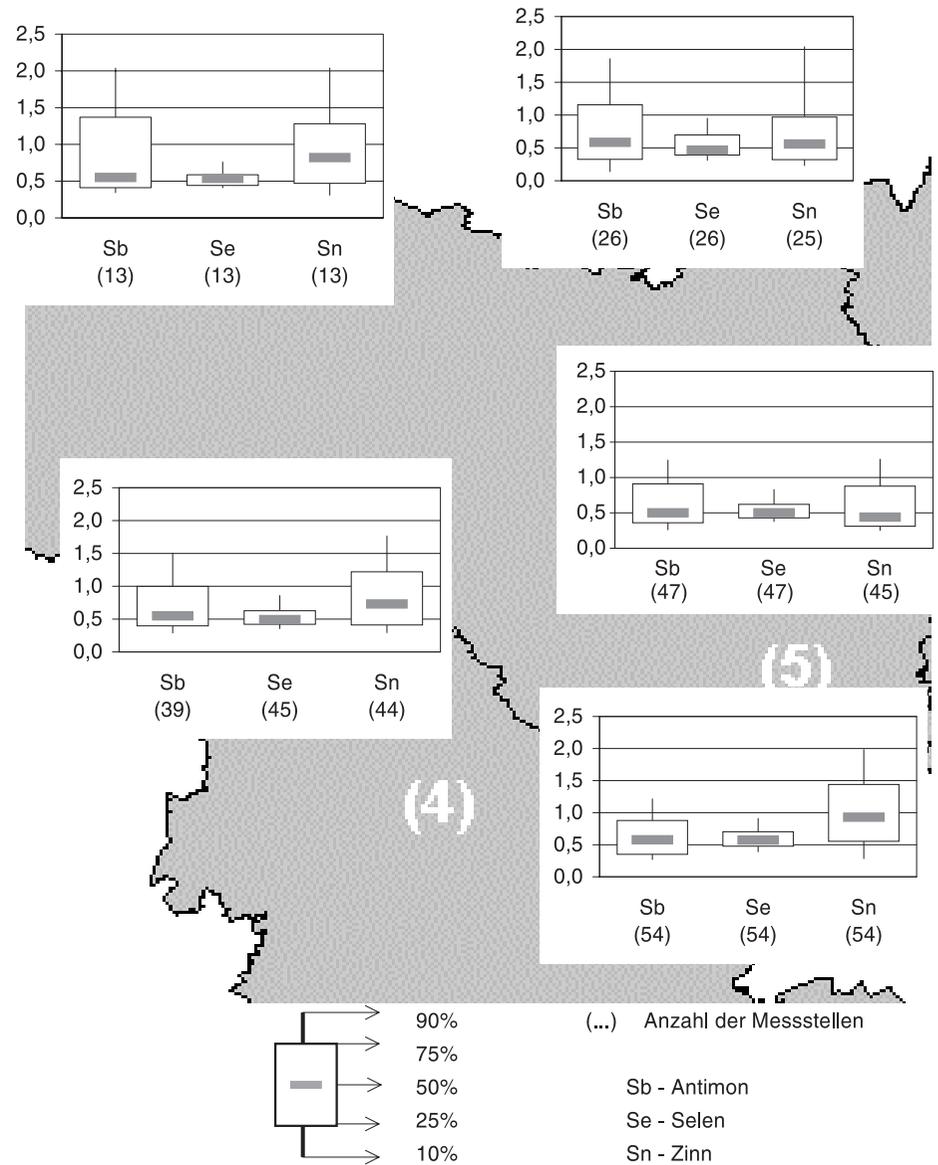


Abb. 4.36: Summenhäufigkeit der 11-Kenngrößen der Spurenelemente Antimon, Selen und Zinn ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) im Staubniederschlag in den Regionen des Landes Brandenburg (1997–1999)

Ogleich in der Region 3 Glasindustrie – als typischer Antimon-Emitter – angesiedelt ist, lagen die Befunde hier nur unbedeutend über denen der anderen Regionen; deren höhere Perzentile lagen zumeist sogar über denen der Region 3 (Abb. 4.36). Gemessen an der Hamburger Kategorisierung [49] tragen die Befunde im Land Brandenburg nur Vorortcharakter (bis $4 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$).

EIKMANN & KLOKE [57] nennen für **Selen** als Sanierungszielwert für den Boden von Spielplätzen 5 ppm [57]; das Konzentrationsniveau im Sedimentationsstaub Brandenburgs liegt in diesem Bereich. Zur Umweltvorsorge für das Schutzgut Boden wurde ein Luftqualitätsstandard (I1) von $0,2 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ für Selenverbindungen angegeben [61]. Dieser Wert wurde in Brandenburg überschritten. Für Mitte der 80er Jahre wurden für ländliche Gebiete in Deutschland Befunde im Bereich $0,03$ bis $1,2 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ und für städtische Gebiete von $1,0$ bis $1,3 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ angegeben [59]. Es wurden weder zeitlich noch regional nennenswerte Unterschiede festgestellt (Abb. 4.35 und 4.36).

Für **Zinn** wird als Sanierungsziel für den Boden von Spielplätzen eine Konzentration von 50 ppm angegeben [57]; im Sedimentationsstaub Brandenburgs wurden etwa 10 ppm festgestellt. Als Umweltvorsorge für das Schutzgut Boden wurde eine Depositionsbegrenzung (I1) von $15 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ für Zinnverbindungen genannt [61]; diese Begrenzung wurde in Brandenburg um ca. eine Größenordnung unterschritten. Die ermittelten zeitlichen und regionalen Unterschiede der Mediane der Zinn-Immission (Abb. 4.35 und 4.36) sind vermutlich in den großen Streubreiten der I1-Kenngrößen begründet. Für Mitte der 80er Jahre sind aus der Literatur für städtische Gebiete in Deutschland Immissionen von $13 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ bekannt [59].

Als Sanierungszielwert für die **Vanadium**-Kontamination des Bodens von Spielplätzen wird eine Konzentration von 50 ppm angegeben [57]; das Konzentrationsniveau im Sedimentationsstaub Brandenburgs lag in diesem Bereich. Für das Schutzgut Boden wurde ein Vorsorgewert (I1) für Vanadiumverbindungen von $7 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ genannt [61]. Die Belastung in Brandenburg bewegte sich in diesem Bereich (Abb. 4.35). In Sachsen-Anhalt wurden folgende Befunde ermittelt: 1997 $1,4 (0,4-5,3) \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ [60] und 1998 $0,8 (0,1-2,6) \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ [47].

Die Befunde Brandenburgs lagen über diesen Werten.

4.2.2.11 Strontium, Thallium

Strontium wurde in Brandenburg im Zeitraum 1997 bis 1999 in der großen Spannweite von etwa 5 bis $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ mit einem Median von reichlich $10 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ festgestellt.

Aufgrund der geringen Befundhäufigkeit oberhalb der Nachweisgrenze von etwa $0,5 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ wurde die **Thallium**-Analytik ab 1999 eingestellt. Es kann jedoch sicher eingeschätzt werden, dass der TI-Immissionswert der TA Luft von $10 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ erheblich unterschritten und auch die Grenze von $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ nach [15] nicht überschritten wird. Der Vorsorgewert für den Boden von $0,1 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ [61] wird aber mit großer Wahrscheinlichkeit nicht eingehalten.

4.2.3 Luftverunreinigungsindex für ausgewählte Spurenelemente

Um eine zusammenfassende Bewertung mehrerer Spurenelemente zu ermöglichen, wurden die Luftverunreinigungsindizes [3] für die Spurenelemente ermittelt, die landesweit mit relativ großen Stichprobenumfängen vorlagen (Abb. 4.37).

Von 1993 bis 1999 ist eine Verminderung des Luftverunreinigungsindex um 38 % eingetreten. Ohne den Anstieg der Arsen-Konzentration im Staub nach 1993 würde die Minderung bei 45 % liegen. Eine Erklärung gibt Abbildung 4.3, die zeigt, dass 1993 der Vorgang der landesweiten Reduzierung des Staubniederschlags bereits weitgehend abgeschlossen war. Zwischen 1993 und 1999 betrug die Immissionsreduzierung landesweit nur noch 37 %, während im Zeitraum 1991 bis 1993 52 % erreicht wurden. Legt man die Bonitierung nach [66] zugrunde, sind alle Luftverunreinigungsindizes der Jahre 1993 bis 1999 als mittlere Luftverunreinigung zu klassifizieren. Zur Demonstration unterschiedlicher Höhe und zeitlicher Entwicklung des Luftverunreinigungsindex wurde die Situation in den Städten Cottbus, Brandenburg a.d.H. und Eisenhüttenstadt (unter Einbeziehung aller Messstellen der jeweiligen Stadt) gesondert untersucht. Abbildung 4.38 zeigt die Entwicklung der Staubemission genehmigungsbedürftiger Anlagen (nach [1, 3]) in Säulenform sowie die Staubniederschlagsbelastung und die Luftverunreinigungsindizes auf der Basis der Stoffe, die in den 3 Städten analysiert wurden.

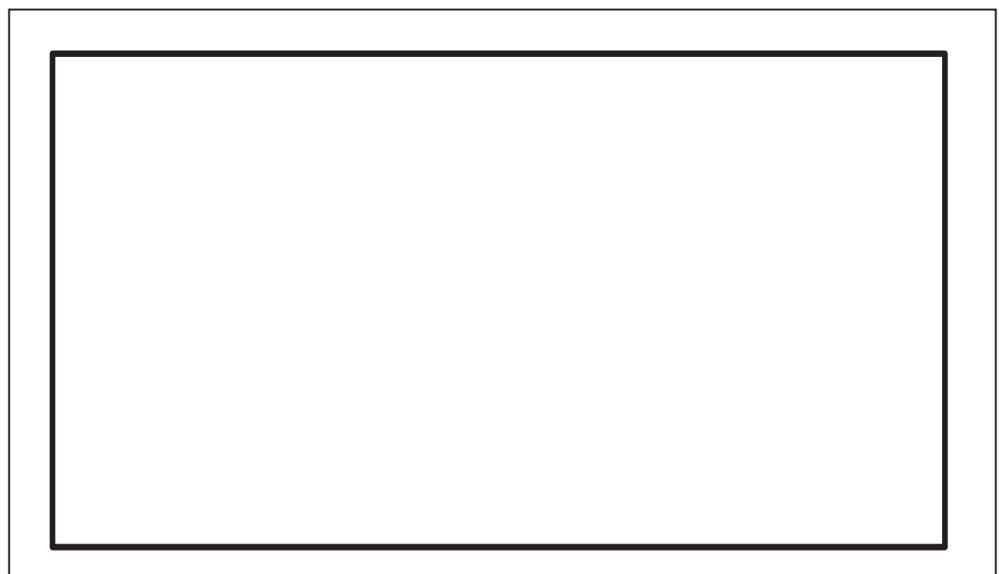


Abb. 4.37:
Entwicklung des Luftverunreinigungsindex für ausgewählte Spurenelemente aller Staubniederschlagsmessstellen des Landes Brandenburg

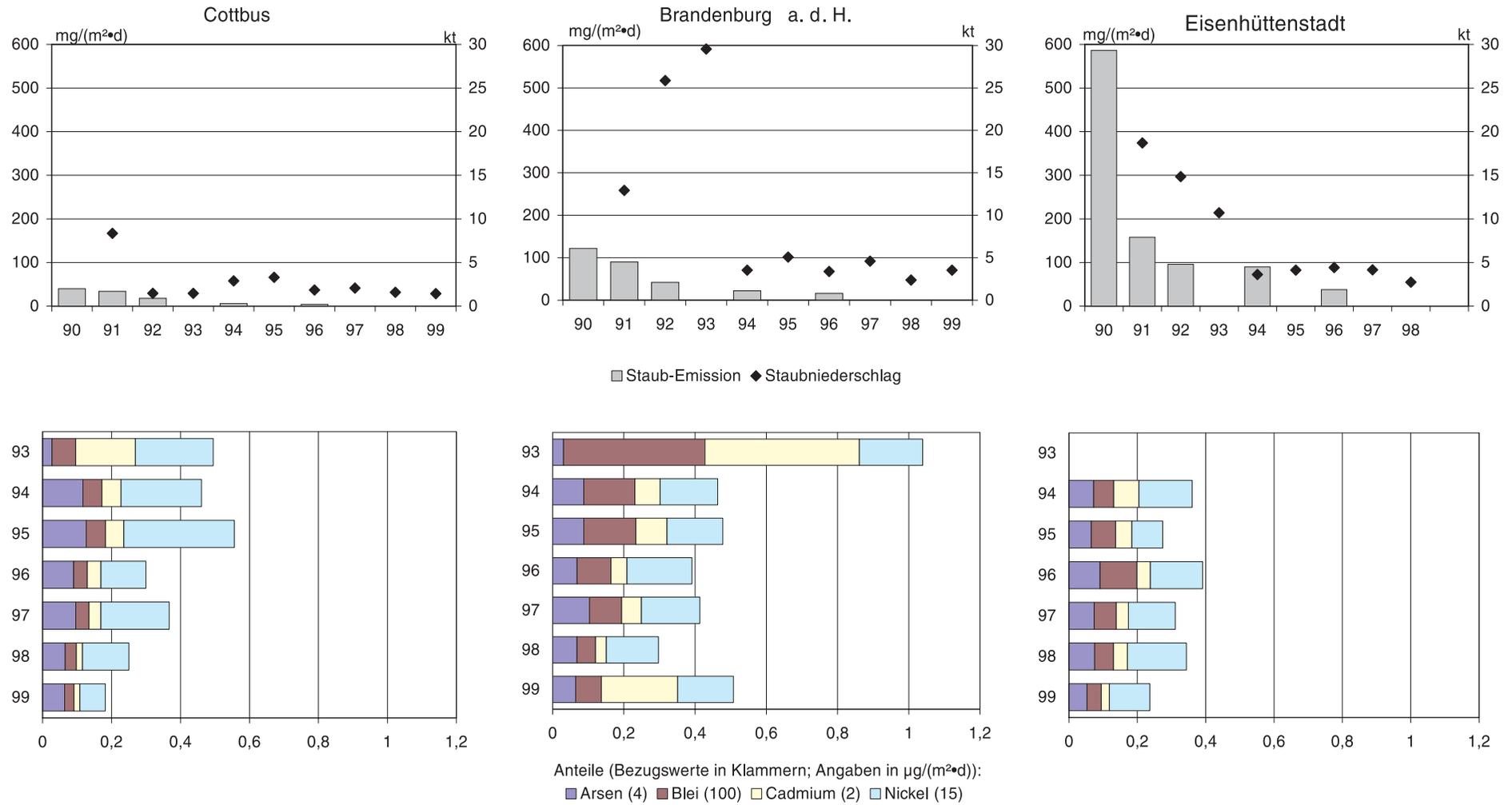


Abb. 4.38: Entwicklung der Staubemission genehmigungsbedürftiger Anlagen (kt/a), der Gesamt-Staubniederschlagsbelastung (mg/(m²·d)) und der Luftverunreinigungsindizes für ausgewählte Spurenelemente im Staubniederschlag ausgewählter Städte

In Brandenburg a.d.H. ist die abrupte Reduzierung der Gesamtstaubbelastung und der Spurenstoffimmission zwischen 1993 und 1994 offenkundig. Da die anlagenbedingten Emissionen (Metallurgie) bereits im Zeitraum 1990 bis 1993 in erheblichem Umfang reduziert wurden, muss mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass vor 1993 die Schwermetallbelastung noch deutlich höher lag. Die Staubbiederschlagsbelastung in Brandenburg a.d.H. muss für 1993 als deutlich überhöht interpretiert werden, in den Folgejahren als mittel. Selbst im Zeitraum 1994 bis 1999 war der Luftverunreinigungsindex in Brandenburg a.d.H. noch immer fast doppelt so hoch wie das Landesmittel (hinsichtlich der Elemente gemäß Abb. 4.38).

Auch für Eisenhüttenstadt sind im Zeitraum vor 1994 wahrscheinlich wesentlich höhere Schwermetallbelastungen aufgetreten, da Staubemission (genehmigungsbedürftiger Anlagen) und Staubbiederschlag wesentlich höher lagen. Hier wird durch den Luftverunreinigungsindex im Zeitraum von 1994 bis 1998 eine mittlere Luftverunreinigung ausgewiesen, 1999 eine niedrige Luftverunreinigung.

Es kann davon ausgegangen werden, dass sowohl in Brandenburg a.d.H. als auch in Eisenhüttenstadt im Oberboden deponierte Stäube einer begrenzten Resuspension unterliegen. Aufgrund der großen Partikel und der niedrigen effektiven Quellhöhe werden jedoch – von extremen Windgeschwindigkeiten abgesehen – nur Messstellen in Quellnähe von diesen Altlasten-Quellen beeinflusst. Da das natürliche Kornspektrum des Bodens und Verkittungsprozesse (durch Oxidation von Eisen und Mangan) den Prozess der Resuspension prägen [63], sind große örtliche Unterschiede der Staubbiederaufwirbelung wahrscheinlich.

Obleich die Stadt Cottbus weitgehend außerhalb des Einwirkungsbereiches großer anlagenbedingter Grobstaube-missionen lag, bewegte sich das Belastungsniveau – gemessen am Luftverunreinigungsindex – bis 1998 oberhalb des Landesdurchschnittes, was im Wesentlichen der Nickel- und Arsenkonzentration im Staubbiederschlag anzulasten ist. 1993 bis 1998 war die Luftverunreinigung als mittel zu charakterisieren, 1999 als niedrig.

5 Niederschlagsdeposition

5.1 Methodik der Probengewinnung und Analytik

5.1.1 Bulk-Sammler

Bulk-Sammler sind Sammelgeräte mit einer ständig offenen Auffangfläche. Im Unterschied hierzu ist bei Wet-only-Geräten (vgl. 5.1.2) die Auffangfläche nur während der Niederschlagsereignisse geöffnet (Ansprechempfindlichkeit 0,05 mm Niederschlag/h [98]). Die trocken-partikulären Bestandteile der Deposition werden mit dem Wet-only-Gerät weitestgehend nicht erfasst.

Die Bulk-Sammler bestehen aus einem Trichter und einer Sammelflasche (Trichter-Flasche-Sammler). Die Probengewinnung in sogenannten Topfsammlern, zu denen auch das BERGERHOFF-Gerät gehört (vgl. 4.1), ist für den Messnetzbetrieb unzuverlässig, weil hier das Probenmaterial raschen Veränderungen in Menge und Zusammensetzung unterworfen ist.

Darüber hinaus werden an Sammelgeräte zur Gewinnung von Niederschlagsproben höhere Anforderungen hinsichtlich einer im meteorologischen Sinne richtigen Erfassung der Niederschlagsmenge gestellt als dies mit dem BERGERHOFF-Gerät realisierbar ist.

Die Schwierigkeit, das „richtige“ Sammelgerät zu finden, wird unter anderem auch durch den Umstand verdeutlicht, dass eine diesbezügliche VDI-Richtlinie seit Juli 1985 nicht über das Entwurfsstadium hinaus gekommen ist [74]. Abhilfe wurde erst 1998 mit der LAWA-Richtlinie [12] geschaffen, in der Mindestanforderungen an Sammelgeräte aufgestellt sind und ein Sammlertyp vorgeschlagen wurde.

Altdaten der Messstelle Lauchhammer basieren auf folgenden Sammelgeräten:

- 1983 bis 1988
Regenmesser nach HELLMANN, 200 cm², Stahlblech lackiert

- 1988 bis 1992
Eigenentwicklung des Instituts für Wasserwirtschaft (IfW) Berlin: Der Ablauf eines quadratisch-pyramidalen Polyethylen-Trichters wurde mit einem PVC-Schlauch in einen Sammelkanister geleitet.

Die Probengewinnung in den Jahren 1988 bis 1992 muss rückblickend in zweierlei Hinsicht kritisch betrachtet werden: Zum einen wies der verhältnismäßig flache Trichter einen weitaus höheren Sammelfehler infolge von Spritzwasserverlusten auf als dies üblicherweise bei Niederschlagssammlern der Fall ist, zum anderen erwies sich die Anordnung als kontaminationsanfällig [75].

Das Depositionsmessnetz im Land Brandenburg wurde 1993 mit einheitlicher Sammeltechnik ausgestattet. Alle Messstellen wurden mit dem sogenannten „LWF-Sammler“ (Entwicklung der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft) ausgestattet (vgl. auch [12], S.17). Der LWF-Sammler ist aus Polypropylen gefertigt und wird zur Gewinnung von Probenmaterial für die Analytik der Hauptkomponenten verwendet. Die Sammler wurden mit Vogelabweisringen aus VA-Stahl nachgerüstet. Das zugehörige Feinsieb ist an den Freilandmessstellen entbehrlich. Der Haftwasserverlust dieser Siebe liegt im Bereich um 10 ml, kann jedoch in ungünstigen Fällen bis auf ca. 30 ml ansteigen; das entspricht einer Niederschlagshöhe von ca. 0,3 mm bzw. ca. 1 mm. Bei der Gewinnung von Probenmaterial an Bestandsmessstellen (Kronentraufe) sind diese Siebe jedoch zur Abtrennung der Nadelstreu unentbehrlich.

1995 wurden erste Versuche zur Gewinnung von Probenmaterial zur Analytik organischer Spurenstoffe durchgeführt. Zur Vermeidung von Wechselwirkungen zwischen Analyt und Sammelgerät wurden hierzu Bulk-Sammler aus Edelstahl eingesetzt, die in [76] ausführlich beschrieben sind. Diese Sammler haben Auffangflächen von 490 cm² oder 962 cm². Es handelt sich um Eigenbaugeräte, deren prinzipiellen Aufbau Abbildung 5.1 zeigt.

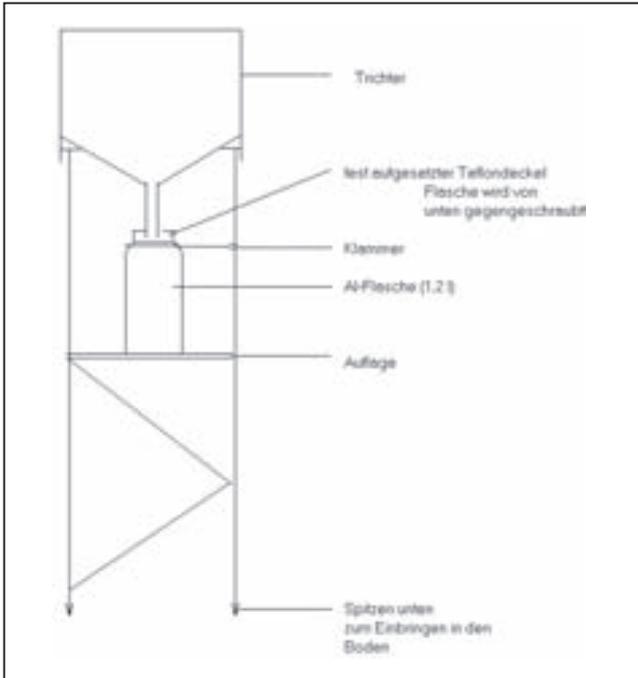


Abb. 5.1: Bulk-Sammler des LUA Brandenburg aus Edelstahl

Verschiedene Unzulänglichkeiten – insbesondere die fehlende Kühlung des Probenmaterials – waren Anlass für die völlige Neukonzipierung eines Sammelgerätes zur Gewinnung von Proben für die Analytik von leicht- bis mittelflüchtigen organischen Spurenstoffen [77]. Ein Prototyp ist seit Juli 1999 im Einsatz (Abb. 5.2). Das Gerät enthält ein Quarzglasauffanggefäß mit einer Auffangfläche von 450 cm² und eine Einrichtung zur Kühlung des Probenmaterials.



Abb. 5.2. Bulk-Sammler des LUA Brandenburg mit integrierter Kühlung

5.1.2 Wet-only-Sammler

Im Messnetz wurden zwei unterschiedliche Wet-only-Geräte eingesetzt. An einigen Messstellen kam noch das sogenannte ANTAS-Gerät (**A**utomatischer **N**ass-**T**rocken-**A**blagerungs-**S**ammler; Meteorologisches Observatorium Wahnsdorf) zum Einsatz. Hiervon wurde lediglich die Nass-Seite als Wet-only-Sammler benutzt. Das Gerät ist ausführlich in [75] beschrieben. Der Vorzug dieses Gerätes lag in der großen Auffangfläche von 2.330 cm²; hiermit stand auch nach gering ergebnissen Niederschlagsereignissen ausreichend Probenmaterial zur Verfügung. Einer längeren Verwendung des ANTAS-Gerätes standen apparative Nachteile entgegen. Die schlecht regulierbare Trichterheizung führte in Witterungsperioden mit Außentemperaturen zwischen 0 °C und 5 °C zu merklichen Verdunstungsverlusten. Der Trichterverschluss war nicht vollkommen staubdicht. Außerdem war das Trichtermaterial (PVC) ungeeignet, Proben zur Analytik organischer Spurenstoffe zu gewinnen. Dennoch ist das Datenmaterial aus diesem Gerät von Interesse. Zum einen können hiermit die Datenreihen aus dem Messnetz des damaligen Meteorologischen Dienstes der DDR ohne methodischen Bruch weiterverfolgt werden. Zum anderen wurde dieses Gerät auch in den Messnetzen der Freistaaten Sachsen und Thüringen bis zum Ende der neunziger Jahre verwendet, so dass hier die länderübergreifende Vergleichbarkeit gegeben ist. Die ANTAS-Geräte wurden Ende 1999 außer Betrieb genommen.

Parallel wurden seit 1995 Wet-only-Sammler der Firma Eigenbrodt (Typ NSA 181 KE) im Messnetz installiert. Dieser Sammler wird auch an den Messstellen des Umweltbundesamtes (UBA) verwendet. Um aus dem Probenmaterial sowohl Schwermetalle als auch organische Spurenstoffe analysieren zu können, wurden die handelsüblichen Polypropylen-Trichter durch Quarzglasrichter ersetzt.

5.1.3 Sonstige Messeinrichtungen

Alle Messstellen sind mit einem Niederschlagsmesser nach HELLMANN ausgestattet. Es hatte sich im Verlaufe der Zeit herausgestellt, dass die Geräte der Fa. SEBA Hydrometrie (Typ RG 50) zu merklichen Minderbefunden neigen. Ursache ist vor allem das Regelverhalten der Trichterheizung. Verhältnismäßig robuste Messungen gelingen dagegen mit den klassischen Modellen aus Zinkblech (ohne Heizung, ohne Kippwaage etc.). Die präzise Ermittlung der Niederschlagsmenge ist erforderlich, um zum einen die unterschiedlichen Geräte hinsichtlich ihrer Sammeleffizienz gegenüber einem Standardgerät zu validieren. Des weiteren werden die Befunde zur Plausibilitätskontrolle sowie zur Errechnung niederschlagsmengengewichteter Mittelwerte („gewogenes Mittel“) benötigt.

Neben dem BERGERHOFF-Verfahren [11] kommen zur Bestimmung der löslichkeitsverfügbaren Metalle und Halbmetalle die sogenannten „Dosensammler“ zum Einsatz. Das sind Polypropyldosen mit einer Auffangfläche von 95 cm², die im Übrigen wie die BERGERHOFF-Gläser exponiert werden.

5.1.4 Messnetz

Die Messung der Niederschlagsdeposition im Land Brandenburg wurde bereits von Anbeginn arbeitsteilig konzipiert. Die damalige Landesanstalt für Forstplanung (LaFOP), heute

Landesforstanstalt Eberswalde (LFE), führt im Rahmen der Level II-Beobachtung im Internationalen Kooperationsprogramm „ICP Forests“ unter anderem Depositionsmessungen in Forstbeständen durch. Das Landesumweltamt Brandenburg betreibt hingegen ausschließlich Freiland-Messstellen. Die Messstellen sind weitestgehend identisch ausgestattet. Es wurde zwischen beiden Einrichtungen eine Verwaltungsvereinbarung zum gemeinsamen Betrieb von Depositionsmessstellen geschlossen. Die fachliche Referenzfunktion für das gesamte Messverfahren „Depositionsmessungen“ liegt beim LUA.

Die Abbildung 4.2 zeigt die Lage aller Messstellen im Land Brandenburg. Detailangaben zur Lage und zur messtechnischen Ausstattung der Messstellen sind dem Anhang 1 zu entnehmen.

5.1.5 Probenahme und Analytik

5.1.5.1 Hauptinhaltsstoffe

Die Bewertung der Niederschlagsbeschaffenheitsdaten über einen längeren Zeitraum erfordert einen kritischen Blick auf die angewendeten Sammel- und Analyseverfahren, da im Unterschied zu den vorgestellten Staubbiederschlagsmessungen diese Verfahren deutlichen Änderungen unterlagen. Die hieraus resultierenden Abweichungen können rückblickend teilweise nur qualitativ abgeschätzt werden. Betroffen sind hier von die Daten der Messstelle Lauchhammer von 1983 bis 1992. Die mangelhafte Ausrüstung der Labore mit leistungsfähiger Analysetechnik zog die Anwendung teilweise ungeeigneter Messverfahren nach sich. Ein Beispiel hierfür ist die Sulfatanalytik, wobei das Sulfat teilweise sogar gravimetrisch als Bariumsulfat bestimmt wurde. Ferner musste aufgrund von Kapazitätsengpässen das Probenmaterial arbeitsteilig in verschiedenen Einrichtungen untersucht werden. Letztlich ist hiermit eine auf den einzelnen Analysenwert bezogene Zuordnung nicht mehr möglich. Seit 1992 stand dem Landesumweltamt Brandenburg in vollem Umfang die erforderliche Analysetechnik zur Verfügung, so dass die Datenentstehung ab diesem Zeitpunkt zweifelsfrei nachvollziehbar ist.

Rückblickend auf den Zeitraum 1983 bis Anfang 1992 lassen sich folgende Analysenbedingungen rekonstruieren:

- **Probenahme:** Es wurden die unter 5.1.1 beschriebenen Bulk-Sammler verwendet. Die Proben wurden arbeitstäglich entnommen, filtriert (50 µm) und zur Monatsmischprobe vereinigt, die tiefgekühlt gelagert wurde. Die Arbeitsweise selbst bietet keinen Anlass zum Zweifel; allerdings müssen bei den Stickstoffspezies aufgrund der Algenproblematik probenahmebedingte Unsicherheiten in Kauf genommen werden.
- **pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit:** Messung potentiometrisch mittels Glaselektrode bzw. conductometrisch mittels Platinelektrode nach den auch heute üblichen Verfahren. Die Werte sind zuverlässig.
- **Sulfat:** Bestimmung gravimetrisch als Bariumsulfat, danach mit einem trübungs-kolorimetrischen Verfahren auf dem ADM 300-System (luftsegmentierte flow-stream-Analysenautomaten mit fotometrischer Detektion); ab 1990 ionenchromatographisch an der TU Dresden, Sektion Wasserwesen. Obwohl in den achtziger Jahren in den Niederschlägen hohe Sulfatkonzentrationen messbar waren,

müssen das gravimetrische Verfahren und mit Einschränkungen auch das Trübungsverfahren als potenziell unsicher gekennzeichnet werden.

- **Chlorid:** argentometrische Titration; ein verhältnismäßig sicheres Verfahren.
- **Natrium, Kalium:** flammenphotometrisch mit dem Gerät Flapho 4 (Carl-Zeiss-Jena); Verfahren und Gerät sind zuverlässig.
- **Nitrat, Nitrit, Ammonium:** Alle anorganischen Stickstoffspezies wurden mit den ADM 300 (luftsegmentierte flow-stream-Analysenautomaten mit photometrischer Detektion) untersucht. Die Analysen wurden über den gesamten Zeitraum im selben Labor ausgeführt. Die Messverfahren gelten als robust.
- **Calcium, Magnesium:** Vor 1986 durch Simultantitration mit Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA); ein diffiziles und fehleranfälliges Verfahren; danach Calcium flammenphotometrisch am Flapho 4 und Magnesium im Labor des IfW, wahrscheinlich mittels Atomabsorptionsspektroskopie (AAS).
- **Phosphat (gelöst):** Nach dem Molybdatverfahren auf dem ADM 300; sehr robuste Methode.
- **Organisch gebundener Stickstoff:** Bestimmung als Nitrat nach oxidativem Nassaufschluss; das Analyseverfahren gilt zwar als hinreichend sicher, allerdings muss angenommen werden, dass die Werte erheblich durch Probenahmeinflüsse (Algenproblem) verfälscht wurden.
- Die Analysen wurden bis einschließlich 1993 mit Monatsmischproben durchgeführt, was vor allem der verfügbaren Analysenkapazität geschuldet war. Hierbei ist der Einfluss einer Kontamination (z.B. Vogelkot) auf das Datenkollektiv erheblich. Die Berechnung von arithmetischen Mittelwerten ist bei derartig geringen Stichprobenumfängen bereits kritisch. Wenn zu Vergleichszwecken im Folgenden dennoch mit Mittelwerten hantiert wird, so muss dieser statistische Artefakt berücksichtigt werden.

Ab Herbst 1992 konnte mit der Einführung der Ionenchromatographie die gesamte Analytik auf eine solide Grundlage gestellt werden. Es wurde das gesamte Messverfahren neu konzipiert und einheitlichen Kriterien zur Probenbehandlung und Qualitätssicherung unterworfen. Nach der Umstellung auf die Analyse von Wochenproben mit Beginn des Messjahres 1994 erfolgten keine wesentlichen Veränderungen mehr. Insofern können die Datensätze ab 1994 als homogen angesehen werden.

5.1.5.2 Spurenelemente

Zur Analyse der Metalle und Halbmetalle erfolgte bei der Bulk-Probenahme der Probenwechsel monatlich, bei Wet-only wöchentlich.

- Die Analyse der löslichkeitsverfügbaren Schwermetalle erfolgte mittels Totalreflektierender Röntgenfluoreszenzanalyse (TXRF) unter Verwendung von Yttrium als internem Standard. Dazu wurde der Inhalt der Sammelgefäße mit 65 %iger HNO₃ auf eine Konzentration von 0,6 % HNO₃ gebracht, 1 h geschüttelt. Die Bulk-Proben wurden danach über eine 0,2 µm-Membran gefiltert. Cadmium wurde im Bedarfsfall mit Hilfe der Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) gemessen.

5.1.5.3 Organica

Sammelintervalle

Tabelle 5.1 gibt einen Überblick der Sammelintervalle und Probenstabilisierung.

Die Wochenproben aus den Edelstahl-Bulk-Sammlern wurden 1997 bis 1998 jeweils zu einer 4-Wochen-Mischprobe vereinigt. Die Mischprobe wurde für nachfolgende Analysemethoden gedrittelt:

- Phenole
- PAK
- PCB/Chlorpestizide/Phthalate

- Das Mindestprobenvolumen betrug 100 ml je Methode. Intervalle mit einer Niederschlagshöhe < 13 mm ergaben daher kein ausreichendes Probenmaterial für alle Analysemethoden.

- Die Flaschen an den Sammlern wurden grundsätzlich einmal pro Woche unabhängig vom Niederschlagsereignis gewechselt, der Sammler mit Reinstwasser gereinigt und mit einer frischen Flasche versehen. Für leichtflüchtige Stoffe erfolgte die Probenteilung bereits vor Ort.
- Auch für die Bestimmung organischer Spurenstoffe in Monatsmischproben wurden die Probenflaschen wochenweise entnommen. Für die Einzelmessverfahren standen 100–500 ml Probenvolumen zur Verfügung. Diese Verfahrensweise wurde gegenüber einer 4-wöchigen Sammelzeit vor Ort bevorzugt gewählt, um
 - Probenverluste durch Überlaufen der Sammlerflaschen zu vermeiden,
 - Kontamination der gesammelten Probe vor Ort zu vermeiden,
 - Verdunstungsverluste in den Sommermonaten gering zu halten,
 - chemische und biologische Umsetzungen zu minimieren.
- Ab 1999 wurde das Analyseintervall auf Wochenproben vereinheitlicht.

Tab. 5.1: Probengewinnung

Sammeltechnik	Expositionsintervall	Probengefäß	Stabilisierung und Lagerung	Zu bestimmende Stoffgruppen und Mindestprobenvolumina	Analyseintervall 1997/98
Wet-only [470 cm ³]	7 d	1,0 l Polyethylenflasche	(keine) Tiefrieren -18 °C	10 ml LHKW 10 ml Carbonsäuren 30 ml BTEX	1 Woche
				10 ml PAK je 100 ml Chlorpestizide, Phenole, Chlorierte Essigsäuren, Phthalate, Polychlorierte Biphenyle (PCB)	1 Monat
Bulk-Sammler org. Analytik 1 [490 cm ³]	7 d	1,2 l Aluminium-Flasche	(keine) Lagerung bei 4 bis -8 °C	10 ml LHKW 10 ml PAK (ab 1999) 10 ml Carbonsäuren 100 ml Chlorierte Essigsäuren 30 ml BTEX	1 Woche
Bulk-Sammler org. Analytik 2 [960 cm ³]	7 d	2,0 l Aluminium-Flasche	50 mg Na ₂ S ₂ O ₃ Tiefrieren -18 °C	100 ml Phenole 100 ml Chlorpestizide/Phthalate/PCB 100 ml PAK (bis 1998)	1 Monat, ab 1999 1 Woche

Analytik

Die zu untersuchenden Parameter variierten von Jahr zu Jahr. Stoffe mit häufigen Befunden „kleiner als die Nachweisgrenze“, wie beispielsweise die PCB, sind mittlerweile aus der Stoffliste gestrichen.

LHKW

Die zu bestimmenden Halogenkohlenwasserstoffe wurden mit Hilfe der statischen Gas-Flüssig-Extraktion (Head-Space-Technik) aus dem Dampfraum über der wässrigen Phase auf eine unpolare Kapillarsäule überführt. Durch die Verwendung einer 2 ml-Proben-schleife und eines Elektroneneinfangdetektors (ECD) wurden Nachweisgrenzen von ca. 1–10 ng/l pro Einzelstoff erreicht. Die Peakidentifizierung und Quantifizierung erfolgte mit Hilfe von Reinsubstanzen. Zur Herstellung der wässrigen Kalibrierlösungen wurden 10 ml blindwertfreies Wasser in ein Head-Space-Glas gefüllt und mit einer methanolischen Lösung der Reinsubstanzen in verschiedenen Konzentrationen dotiert. Vor jeder Probencharge wurden die Retentionsdaten und die Kalibrierung überprüft.

BTX

Die Bestimmung der Aromaten erfolgte mit Hilfe der dynamischen Gas-Flüssig-Extraktion. Der Vorteil gegenüber der statischen Methode besteht darin, dass die im Probenmaterial enthaltenen Stoffe mit Hilfe eines Extraktionsgases (Purgegas) fast vollständig ausgetrieben und auf einem Adsorptionsmaterial (Trap) angereichert werden. Als Trapmaterial wurde Tenax verwendet. Die auf der Trap angereicherten Stoffe wurden thermisch auf eine unpolare Kapillarsäule desorbiert und mit Hilfe eines Flammenionisationsdetektors (FID) bestimmt. Die Kalibrierung erfolgte über das Gesamtverfahren mit Hilfe wässriger Kalibrierlösungen, denen eine methanolische Lösung der Aromaten in verschiedenen Konzentrationen zugesetzt war. Vor jeder Probencharge wurden die Retentionsdaten mit Hilfe einer wässrigen Kalibrierlösung geprüft und im Anschluss daran das Purge and Trap-System auf Blindwertfreiheit geprüft. Die Nachweisgrenzen wurden mit 8 - 20 ng/l ermittelt. Tabelle 5.2 gibt einen Überblick über die detaillierten Messbedingungen.

Tab. 5.2: Messbedingungen zur Bestimmung der leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe

Stoffgruppe	Haloforme	Aromaten
Methode	Head-Space	Purge and Trap
Probenvolumen	10 ml	25 ml
Extraktionsbedingungen	1h, 80 °C	14 min, 10 psi N ₂
Desorptionsbedingungen	-	200 °C, 4 min.
Kapillarsäule	DB1, 60 m, 1,5 µm Film 0,53 mm ID	HP1, 50 m, 1,0 µm Film 0,32 mm ID
Trägergas	N ₂ - 5.0, ECD-Qualität	N ₂ - 5.0
Detektor	ECD, 300 °C	FID, 250 °C
Nachweisgrenzen	1 - 10 ng/l	8 - 20 ng/l

Carbonsäuren

Für die Bestimmung der kurzkettigen Carbonsäuren direkt in der Wasserprobe erwies sich die HPLC mit UV-Detektion aufgrund der zu erwartenden Konzentrationen von < 1 mg/l als nicht nachweisstark genug. Zur Bestimmung der Trichloressigsäure ist in [141] die Dekarboxylierung im Head-Space-Glas zu Trichlormethan und Kohlendioxid beschrieben. Von LEVSEN u.a. [142] wurde die Derivatisierung der niederen Carbonsäuren, insbesondere Ameisensäure und Essigsäure, mit p-Bromphenacylbromid und anschließender UV-Detektion bzw. mit 4-Brommethyl-7-methoxycumarin und anschließender Fluoreszenzdetektion beschrieben. Mit diesem Messverfahren wurden Nachweisgrenzen im unteren ng/l-Bereich erreicht, jedoch sind beide Methoden sehr aufwendig und für eine Routinemessung daher eher ungeeignet.

KNAPP [143] beschreibt eine ganze Reihe Derivatisierungsmöglichkeiten von Carbonsäuren, die deren Bestimmung über Gaschromatographie (GC) oder Hochdruck-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) ermöglichen. Die klassische Methode der Derivatisierung ist die Methylierung direkt in Methanol mit Hilfe verschiedener Katalysatoren wie Salzsäure, Bortrifluorid oder Kupferacetat. Kurzkettige Säuren bilden allerdings sehr flüchtige Methylester, so dass die Handhabung dieser Reaktion sehr schwierig ist. Zur Realisierung dieses Messprogramms wurde die Veresterung daher mit Hilfe des Head-Space-Probegebers realisiert. Die Veresterung wurde direkt im verschlossenen Head-Space-Glas bei 80 °C durchgeführt. Im Einzelnen wurde wie folgt vorgegangen:

Die Regenwasserprobe (100 ml) wurde auf einen pH = 1 eingestellt und mit 2 x 10 ml Diethylether im Scheidetrichter 10 Minuten extrahiert. Der abgenommene Extrakt wurde im Rotationsverdampfer bei Zimmertemperatur auf 10 ml eingengt und über Natriumsulfat getrocknet. Der Extrakt wurde danach in ein Head-Space-Glas gefüllt und vorsichtig mit Stickstoff bis zur Trockene abgeblasen.

In das Head-Space-Glas wurden 2 ml einer 14 %-igen Lösung von Bortrifluorid in Methanol gegeben und dieses sofort dicht verschlossen. Nach einer entsprechenden Temperierzeit wurden 2 ml des Gasvolumens aus dem Head-Space-Glas auf eine unpolare Säule (DB1) injiziert und mittels ECD die Mono-, Di- und Trichloressigsäureester bestimmt. Die Nachweisgrenzen lagen im Bereich von 40 - 100 ng/l.

Die unsubstituierten Carbonsäuren wurden ionenchromatographisch mittels large-volume-injection auf eine hochkapazitive Trennphase analysiert. Die Trennung erfolgte mit einem

KOH-Gradienten 10 bis 100 mmol/l. Die Detektion erfolgte conductometrisch nach elektrochemischer Supression.

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Die sechs PAK nach Trinkwasserverordnung (TrinkV) [144] wurden in Anlehnung an die DIN 38407-8 [145] durch HPLC mit Fluoreszenzdetektion bestimmt. Die Anreicherung erfolgte durch Festphasenextraktion an einer 15 cm C₁₈-Phase. Der Transfer der angereicherten Wasserphase auf der C₁₈-Säule erfolgte durch Säulenschaltung auf die analytische HPLC-Säule. Durch diese Vorgehensweise ließen sich Nachweisgrenzen von 1...4 ng/l pro Einzelkomponente verwirklichen. Die Peakidentifizierung und Quantifizierung erfolgte mit Hilfe von Standardmischungen der PAK. Die Kalibrierung erfolgte arbeits-tätlich über das Gesamtverfahren.

Ab 1999 erfolgte die Bestimmung aus 10 ml der in einem Head-Space-Röhrchen bereitgestellten Teilprobe nach Zugabe von 2 ml Tetrahydrofuran und Ultraschallbehandlung. Abweichend von anderen HPLC-Verfahren wird bei Verwendung einer 150x4 mm Trennsäule ein Probenvolumen von 1.000 µl dosiert, um ohne weitere Anreicherungs-schritte die Bestimmung der PAK zu ermöglichen. Die Anreicherung der PAK aus dem Wasser erfolgt auf dem Kolonnenkopf. Das Analyseverfahren ist über das Gesamtverfahren kalibriert und durch Teilnahme an einem Ringversuch konnte der Nachweis erbracht werden, dass diese Methode bezüglich der Richtigkeit den anderen verwendeten Methoden ebenbürtig ist.

Kritisch anzumerken ist die Tatsache, dass Deposition nicht nur aus Regenwasser besteht, sondern feste Partikel als Schwebstaub eine gravierende Rolle für die Richtigkeit der experimentell ermittelten Depositionsbefunde spielen. PAK sind wegen ihrer chemischen Struktur relativ gering wasserlöslich und neigen z.B. aufgrund möglicher P-P-Wechselwirkungen eher zur Anreicherung an Schwebstoffe im Regenwasser und zur Adsorption an den Wänden der Sammeleinrichtungen. Es ist daher nahezu ausgeschlossen, aus einer Sammelprobe ein für die PAK-Analytik richtiges Aliquot abzunehmen. Aus diesen Erwägungen ist eine anreichernde Probenahme, die sowohl die in Wasser gelösten PAK als auch die mit dem Niederschlag eingetragenen Partikel sammelt, hinsichtlich der Richtigkeit des Niveaus der PAK-Deposition der derzeit praktizierten Methode vorzuziehen [146]. Eine derartige Umstellung in der Sammeltechnik, die naturgemäß auch eine Neuorientierung im PAK-Bestimmungsverfahren erfordert, wird ab 2001 durchgeführt. Hierbei wird auch auf die Erweiterung der derzeit bestimmten 6 PAK nach [144] auf die 16 PAK der Environmental Protection Agency (EPA), auf die die BBodSchV [8] abstellt, orientiert. Es wird durch diese Umstellung davon ausgegangen, dass die Messergebnisse in der Summe der PAK-Deposition mindestens um den Faktor 10 ansteigen werden.

Phenole

Die Phenole wurden mittels extraktiver Derivatisierung entsprechend der Norm DIN EN 126 73 [147] aus der Wasserphase extrahiert. Dazu wurden 100 ml der sauren Regenwasserprobe mit Natriumhydrogencarbonat-Lösung auf einen pH-Wert von 7-8 eingestellt. Nach Zugabe von 150 µl Acetanhydrid und 10 ml n-Pentan wurde kräftig geschüttelt. Die Pentanphase wurde abgenommen, getrocknet und auf 100 µl Endvolumen eingengt. Die Bestimmung erfolgte mittels gekoppelter Gaschromatographie/Massenspektrometrie (GC-MS). Die Quantifizierung erfolgte durch Bezug auf 2,6-Dibromphenol als internem Standard. Die Nachweisgrenzen wurden mit 50-100 ng/l ermittelt.

5.2 Niederschlagsdepositionsbefunde

5.2.1 Hauptinhaltsstoffe

5.2.1.1 Bulk-Niederschlagsdepositionsbefunde der Messstelle Lauchhammer (1983 bis 1999)

In Anbetracht der methodischen Brüche, insbesondere aber wegen der Unzulänglichkeiten der chemischen Analytik ist für eine gemeinsame Bewertung des Gesamtzeitraumes die Prüfung und Plausibilisierung des Datenmaterials unumgänglich. Hierbei wurde wie folgt vorgegangen: Zunächst wurden alle unvollständigen Datensätze gekennzeichnet und von der anschließenden Berechnung ausgeschlossen. Danach wurden nach den in [12] beschriebenen Algorithmen die Ionenbilanz und die Leitfähigkeitsbilanz der Datensätze berechnet.

Diese Verfahrensweise war für die Daten bis 1985 nicht anwendbar, da hier in allen Fällen die Kationenanalysen unvollständig waren. Die Resultate sind in der Abbildung 5.3 dargestellt. Auf der Abszisse sind die Fälle und auf der Ordinate die prozentualen Abweichungen dargestellt. Die Diagramme sind

synchron. Es ist erkennbar, dass bei den Analysen im Zeitraum 1986 bis 1990 häufig erhebliche Anionenüberschüsse (negative Ionenbilanzabweichungen) bei gleichzeitig negativer Leitfähigkeitsbilanz auftraten. Hierfür kommen folgende Ursachen in Betracht:

- Unsicherheiten bei der Calcium- und Magnesiumbestimmung,
- Unsicherheiten bei der Sulfatbestimmung (Mehrfunde),
- Probenkontaminationen (vor allem überhöhte Nitratwerte).

Vereinzelte traten in der zweiten Hälfte der neunziger Jahre höhere Ionenbilanzabweichungen auf, ohne dass hier die Leitfähigkeitsbilanz auffällig war (Abb. 5.4). Dieser Umstand wird mit der inzwischen drastisch zurückgegangenen Gesamtmineralisation der Niederschlagswässer verständlich. Die beobachteten Abweichungen traten gehäuft bei Proben mit geringer Leitfähigkeit auf; hier ist der Einfluss eines einzelnen Analysenfehlers in der Relation zur gesamten Probe höher.

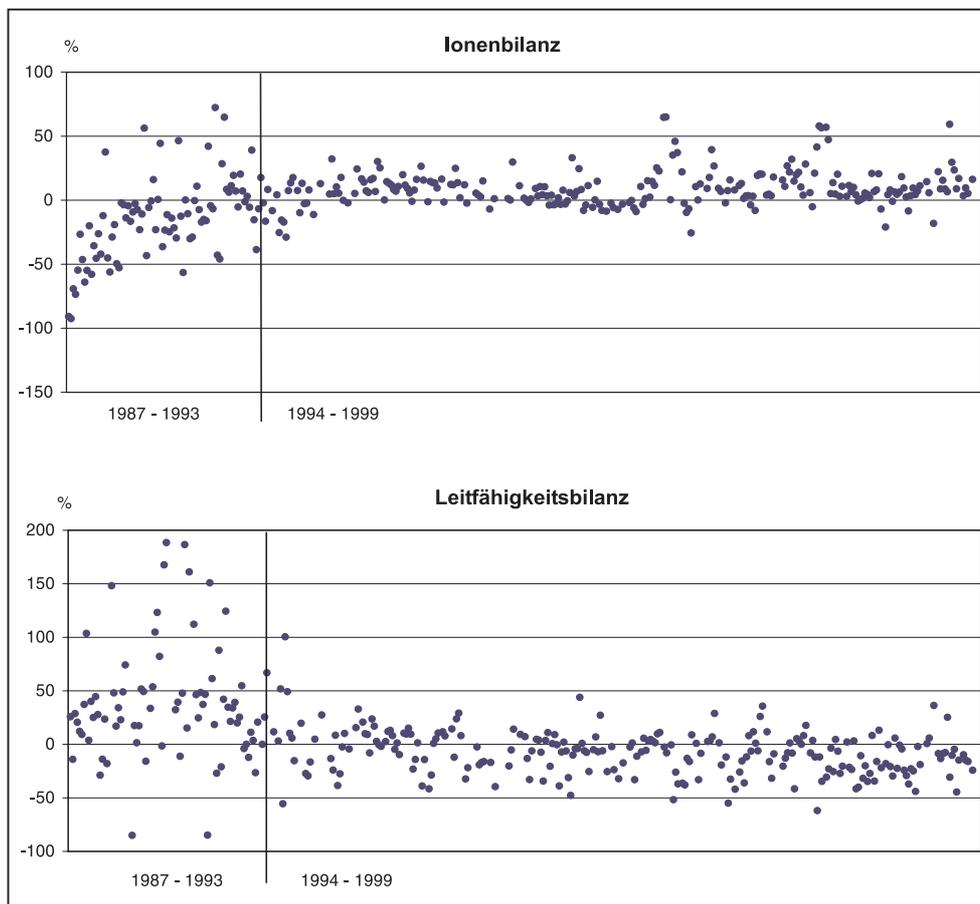
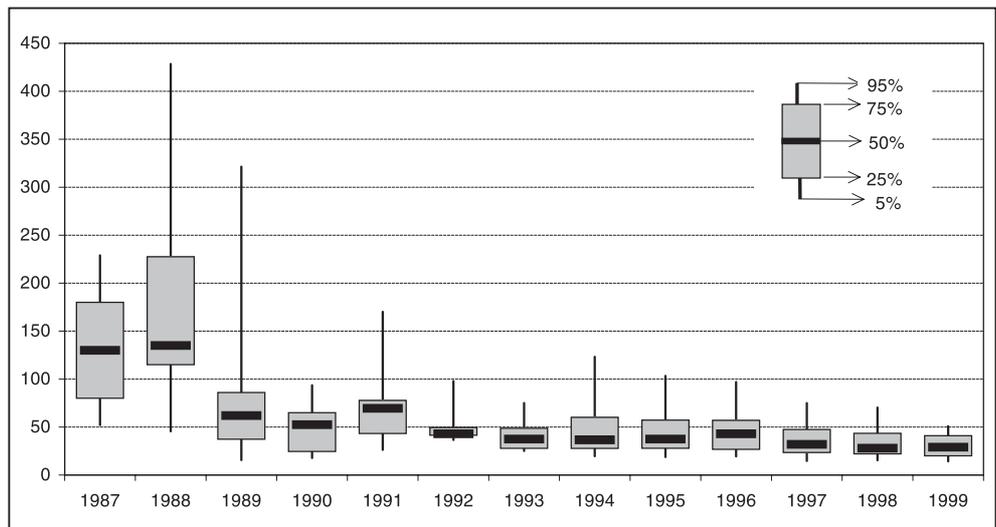


Abb. 5.3:
Entwicklung der Ionenbilanz und der Leitfähigkeitsbilanz aller vollständigen Analysensätze an der Messstelle Lauchhammer (Abweichung in %)

Abb. 5.4:
Entwicklung der elektrischen Leitfähigkeit an der Bulk-Messstelle Lauchhammer (Angaben in $\mu\text{S}/\text{cm}$)



Für die Bewertung der Befunde ergeben sich folgende Feststellungen:

- Berechnungen, die einen vollständigen Datensatz erfordern (z.B. aktuelle und potenzielle Acidität nach STUMM & MORGAN [78]), werden ebenfalls mit einem gewissen Fehler behaftet sein.
- Die Abweichungen sind im Rahmen der unter 5.1.5 beschriebenen Unsicherheiten plausibel.
- Die beobachteten Abweichungen lassen sich nicht auf eine einzelne Ursache zurückführen. Die auffälligen Datensätze können somit nicht einer zielgerichteten Korrektur einzelner Werte unterzogen werden.
- Der Vergleich unserer Daten mit denen aus dem Messnetz des Meteorologischen Dienstes der DDR [79, 80, 81] und anderen Veröffentlichungen [82, 83] ergab keine belastbaren Hinweise auf die Korrekturbedürftigkeit unserer Daten. Es wurden auch hier verhältnismäßig stark streuende Werte auf ähnlichem Konzentrationsniveau dokumentiert. Insoweit würde die Streichung formal auffälliger Werte, die aber nicht zweifelsfrei als Ausreißer identifizierbar sind, zu keiner wesentlichen "Homogenisierung" der Daten führen.

Das Datenmaterial ab 1992 wurde in jahresbezogener Betrachtung einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Hierbei wurden auffällig hohe Werte mit Bezug zum Witterungsverlauf bewertet. Nach einer Trockenperiode wurden erhöhte Werte als plausibel angesehen. Probenkontaminationen als Ursache für einen erhöhten Befund waren gegenüber einzelnen Analysefehlern daran erkennbar, dass hier stets auch weitere Parameter im selben Datensatz (z.B. Summe des organisch gebundenen Kohlenstoffs (TOC), Chlorid, Fluorid) Erhöhungen aufwiesen. Offensichtliche Fehler wurden eliminiert, im Übrigen wurden Streichungen in den Datensätzen jedoch nur mit äußerster Zurückhaltung vorgenommen.

Die Veränderung der Niederschlagsbeschaffenheit war eng mit der Veränderung der Emittentenstruktur verbunden. Während der achtziger Jahre wurde eine sowohl räumlich als auch zeitlich stark variable Niederschlagsbeschaffenheit registriert [84]. Des Weiteren bestand eine erhebliche Abhängigkeit der Ionenkonzentrationen von der Herkunft der jeweiligen Niederschläge. So wurden z.B. für die Station Wiesenburg 1989 sektorenabhängige Konzentrationsunterschiede für Sulfat um den Fak-

tor 2 und für Calcium sogar um den Faktor 5 ausgewiesen [83]. Diese Beobachtungen sind ein direkter Hinweis auf den Einfluss von großen Emittenten im großräumigen Maßstab. Im Verlaufe der neunziger Jahre haben sich sowohl die räumlichen Inhomogenitäten als auch die zeitlichen Schwankungen reduziert. Eine Abhängigkeit der Niederschlagsbeschaffenheit von der Herkunft der Niederschlagsereignisse blieb dennoch teilweise nachweisbar (vgl. 5.2.1.3).

Es wird nachfolgend nur die Bulk-Deposition in Lauchhammer betrachtet. Das Datenmaterial des Messzeitraumes 1983 bis 1985 erwies sich in den meisten Fällen als zu inhomogen und zudem unvollständig, so dass auf die Darstellung dieser Daten teilweise verzichtet wurde. Das Jahr 1986 wies eine größere Messlücke auf. Für einige Regeninhaltsstoffe wurde im folgenden Abschnitt eine saisonale Darstellung gewählt. Hierbei wurde das hydrologische Jahr zugrundegelegt. Das Winterhalbjahr beinhaltet die Daten der Monate November und Dezember des vorherigen Kalenderjahres bis April des laufenden Jahres. Das Sommerhalbjahr umfasst die Werte von Mai bis einschließlich Oktober.

Sulfat

Die Sulfatgehalte im Niederschlag spiegeln die drastische Veränderung der Luftqualität in den letzten zehn Jahren wider.

In Abbildung 5.5 sind die Medianwerte der saisonalen Sulfatkonzentrationen im Niederschlag dargestellt. Der Rückgang verlief exponentiell. Es sind deutliche Unterschiede zwischen den Sommer- und Winterhalbjahren erkennbar, die auch noch am Ende der neunziger Jahre nachweisbar sind. Somit war die Frage naheliegend, ob sich hier ein enger Zusammenhang zu dem SO_2 -Gehalt der Luft nachweisen lässt.

In Abbildung 5.6 sind die saisonalen Mittelwerte der SO_2 -Immission an 4 verschiedenen Messstellen im Land Brandenburg dargestellt. An den Messstellen Spremberg-Süd und Cottbus-Süd wurden die höchsten Werte, zugleich aber in der ersten Hälfte der neunziger Jahre relativ geringe saisonale Unterschiede beobachtet, was in einer gewisse Dominanz der Großfeuerungsanlagen begründet ist. Die Messstelle Burg ist als Beispiel einer Hintergrundmessstelle aufgeführt, die bis Mitte 1996 industriell beeinflusst war, danach eher rurale Verhältnisse repräsentierte. Eine deutschlandweit beobachtete meteorologisch bedingte Konzentrationsspitze im Winterhalbjahr

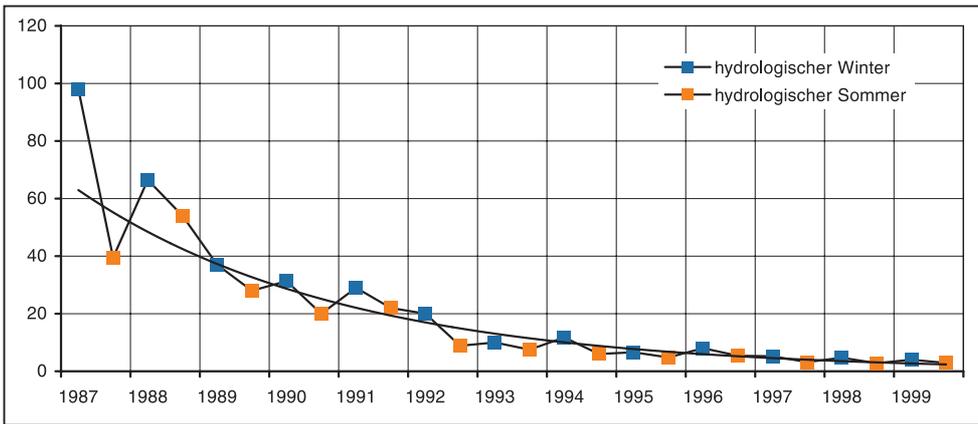


Abb. 5.5:
Entwicklung der saisonalen Sulfatkonzentrationen (Median) im Bulk-Niederschlag an der Messstelle Lauchhammer (Angaben in mg/l)

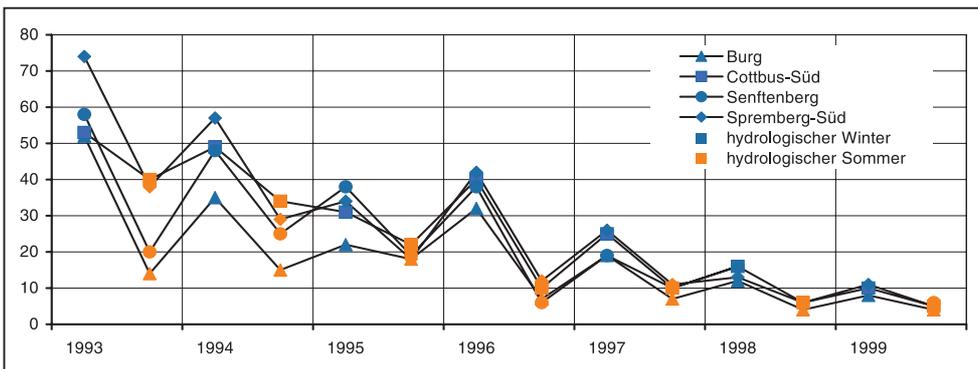


Abb. 5.6:
Entwicklung der saisonalen SO₂-Immission (arithmetischer Mittelwert in µg/m³) an ausgewählten Messstellen Brandenburgs

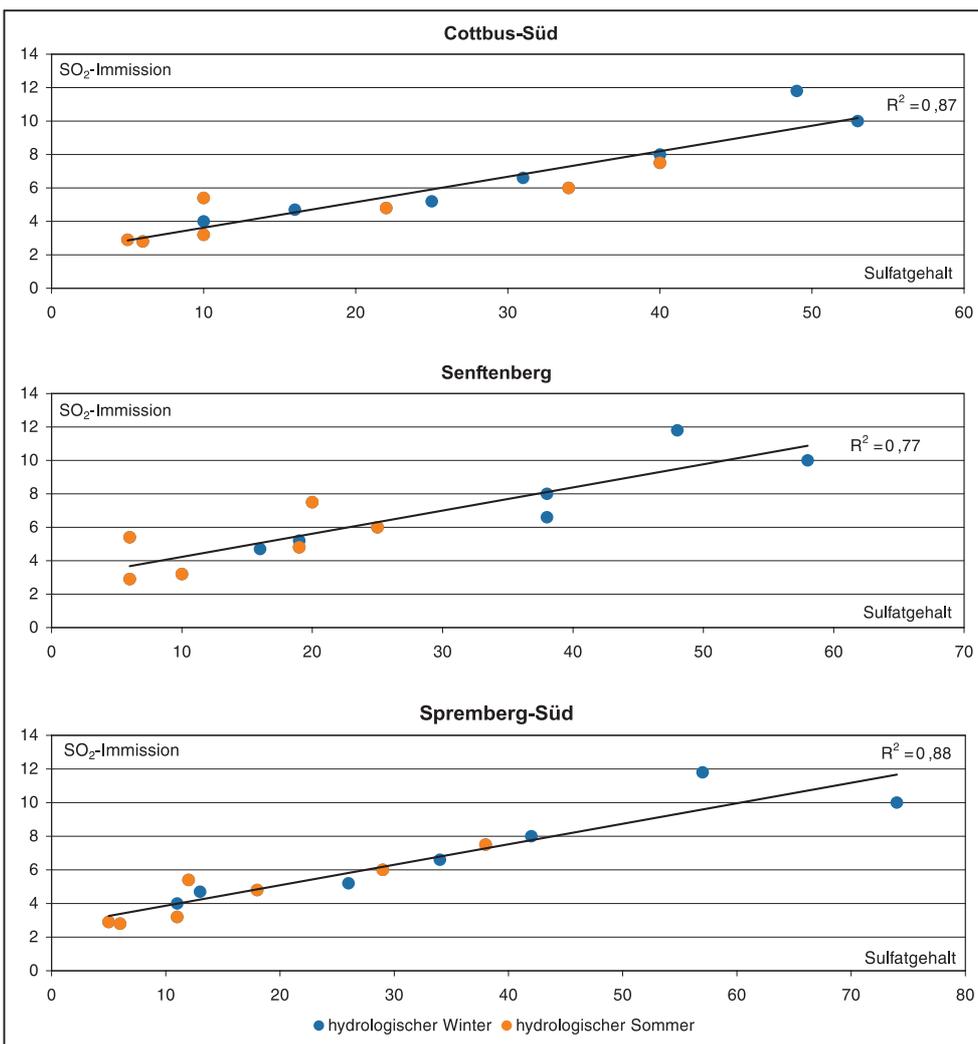


Abb. 5.7:
Zusammenhang zwischen der SO₂-Immission (µg/m³) ausgewählter Messstellen und dem Sulfatgehalt im Niederschlag (mg/l) an der Messstelle Lauchhammer (saisonale Mittelwerte 1993–1999)

1996 wurde auch hier registriert. Die Messstellen Senftenberg und Spremberg-Süd sind im Hinblick auf ihre räumliche Nähe zu Lauchhammer für den Vergleich mit dortigen Depositionsbefunden besonders geeignet.

In Abbildung 5.7 wurden saisonal aggregierte SO_2 -Immissionswerte dem Sulfatgehalt im Niederschlag gegenübergestellt. Es ergab sich eine hohe Korrelation beider Messgrößen, was die Schlussfolgerung nahelegt, dass die Beschaffenheitsmuster der Niederschläge durch die Immissionssituation in der Umgebung der Messstelle nochmals merklich überprägt wurden. Aus thermodynamischer Sicht (z.B. Lage der Gas-Flüssig-Gleichgewichte) kann diese These jedoch nur bedingt gestützt werden. Eine räumliche Abgrenzbarkeit und Zuordnung der Effekte (Genese der Niederschlagsgebiete versus Überprägung entlang der Trajektorien) ist nicht gegeben, da es sich um kontinuierliche Prozesse in größeren raum-zeitlichen Maßstäben handelt.

Calcium

Den Calciumkonzentrationen im Niederschlag wurde in der Vergangenheit eine Indikatorfunktion für Flugaschen zugeschrieben.

Der Transport in der Atmosphäre erfolgt im Gegensatz zum SO_2 in partikulärer Form. Daher kann hier in stärkerem Maße eine Abhängigkeit der Befunde von der Distanz zwischen Messstelle und maßgeblichen Emittenten beobachtet werden.

Die Flugaschen waren in der Vergangenheit die hauptsächliche Quelle für basische Atmosphärenverunreinigungen und wirkten im Prinzip als Puffersubstanz. Daher sind trotz der hohen Sulfatgehalte nur selten extrem niedrige pH-Werte im Niederschlag beobachtet worden. Die mitunter geringeren Distanzen der Calciumverfrachtung können als wesentliche Ursache für die räumlich stark differierende Acidität der Niederschläge betrachtet werden, die in [84] und [85] beschrieben worden sind.

Die Abbildung 5.8 zeigt die zeitliche Entwicklung der Calciumkonzentrationen in Lauchhammer wiederum in saisonaler Aggregation. Der verhältnismäßig starke Rückgang im Jahr 1993 ist mit der Stilllegung, Leistungseinschränkung oder Sanierung von Kraftwerken im südbrandenburgischen und angrenzenden sächsischen Raum plausibel begründbar.

Die Stilllegung von Industrieanlagen ohne Entstaubung und Rauchgasreinigung war im Wesentlichen Mitte der neunziger Jahre abgeschlossen. Danach haben sich die Calcium- und Sulfatkonzentrationen nur noch wenig verringert (Abb. 5.9).

Abb. 5.8:
Entwicklung der saisonalen Calciumkonzentrationen (Medianwerte) im Niederschlag an der Messstelle Lauchhammer (Angaben in mg/l)

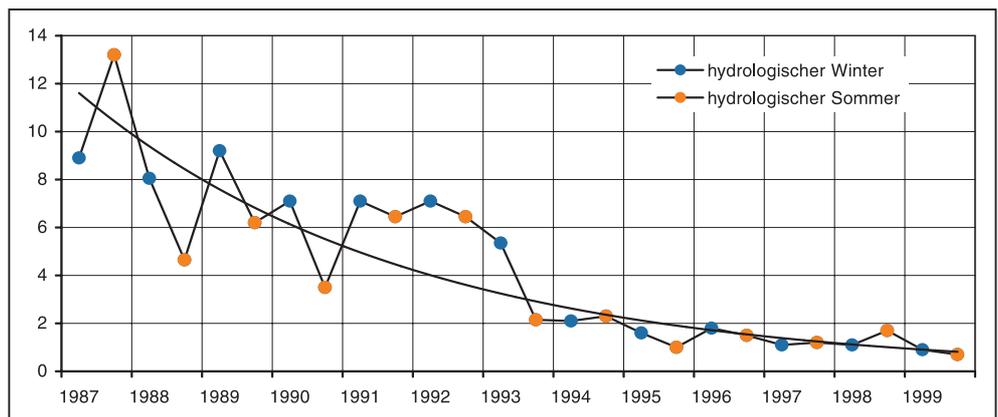
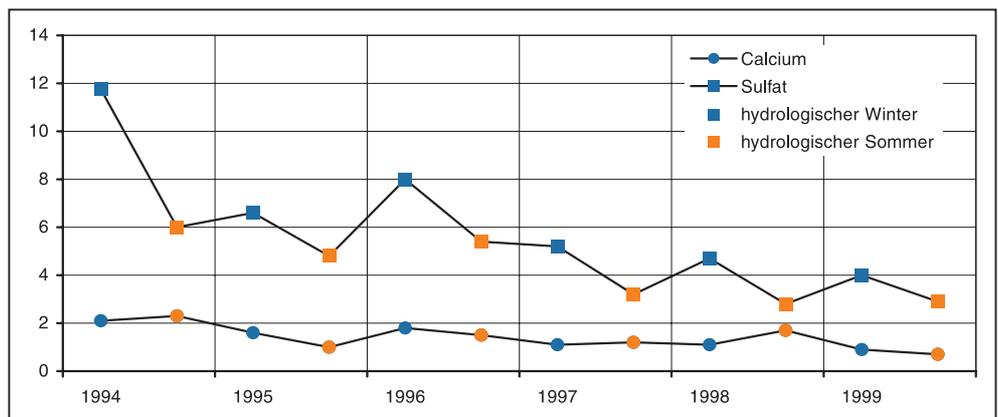


Abb. 5.9:
Vergleich der saisonalen Calcium- und Sulfat-Konzentrationen (Medianwerte) im Bulk-Niederschlag an der Messstelle Lauchhammer (Angaben in mg/l)



Stickstoff (Nitrat und Ammonium)

Stickstoff kann sowohl in seiner oxidierten Form als Nitration als auch in reduzierter Form als Ammoniak bzw. Ammoniumkation vorliegen. Quelle für Nitrat sind im Wesentlichen Verbrennungsprozesse; das Ammonium stammt überwiegend aus landwirtschaftlichen Quellen, im Zeitraum vor 1992 aber auch aus der thermischen Kohleveredlung. Mit Einführung der Katalysatortechnik ist auch der Kraftfahrzeugverkehr zu einer nicht vernachlässigbaren Ammoniakquelle geworden [86]. Die Bewertung der Stickstoffeinträge ist sowohl hinsichtlich der Eutrophierung als auch der versauernden Wirkung von Bedeutung. Der Fragenkomplex Eutrophierung richtet sich auf die Wirkung von Stickstoffverbindungen als Pflanzennährstoff. Die saure Wirkung des Nitrationions (Anion der Salpetersäure) ist trivial. Ammoniak hingegen ist eine Base, die in der Atmosphäre in schneller Reaktion hydratisiert und mit sauren Luftverunreinigungen unter Salzbildung fixiert wird. Ammoniak bzw. Ammoniumionen werden in der Atmosphäre praktisch nicht oxidiert, hingegen kann in Böden auf dem Wege der Nitrifikation eine Protonenfreisetzung erfolgen, womit dem Ammonium auch eine potentiell versauernde Wirkung zukommt. Stickstoff in organischen Bindungsformen (N_{org}) wurde dafür in [84] ein beträchtlicher Bilanzanteil zugeschrieben. Diese Feststellung konnten wir in unseren Messungen nicht bestätigen, in denen bezogen auf die Summe Gesamtstickstoff der Anteil von organisch gebundenem Stickstoff in der Regel weniger als 10 % der jährlichen Fracht ausmachte. Vielmehr deutet sich an, dass der organisch gebundene Stickstoff durch mikrobielle Umsetzungen im Sammler entsteht. Es ist auch nicht auszuschließen, dass das alte Messverfahren (nasschemischer Aufschluss) ungeeignet war.

In den Abbildungen 5.10 und 5.11 ist die Entwicklung der Ammonium- bzw. Nitratkonzentrationen auf Basis der saisonalen Medianwerte dargestellt. In beiden Fällen ist nur ein schwach abnehmender Trend feststellbar. Ab 1994 bildete sich ein jahreszeitlicher Unterschied aus, der davor von anderen Effekten überlagert war.

Der Rückgang der Ammoniumkonzentrationen im Zeitraum 1989 bis 1991 ist mit dem zeitweiligen Einbruch in der Viehhaltung Ostdeutschlands nicht hinreichend begründbar. Es wurden zwar in den Sommerhalbjahren 1996 und 1997 wieder leicht erhöhte Werte gefunden, es wäre jedoch eine dauerhafte Einstellung eines höheren Niveaus zu erwarten gewesen. Offenbar sind die hohen Ammoniumeinträge in den 80er Jahren vor allem den hohen Emissionen der Kokereien in Lauchhammer und Schwarze Pumpe zuzuschreiben, deren Betrieb 1991/1992 eingestellt worden ist. Die Nitratkonzentrationen wiesen im Zeitraum 1985 bis 1990 einen leicht steigenden Trend auf. Trendbetrachtungen zu den Nitrateinträgen sind in der Vergangenheit widersprüchlich diskutiert worden. Einige Autoren dokumentierten ebenfalls einen Anstieg für den Zeitraum bis etwa 1995 [83, 87], während z.B. in [88] für den Zeitraum 1991 bis 1994 eine gegenteilige Schlussfolgerung gezogen wurde. Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass die annualen Schwankungen größer als die ausgewiesenen Trends sind, werden die Probleme bei der Deutung verhältnismäßig kurzer Zeitreihen verständlich.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass sich das Konzentrationsverhältnis zwischen Nitrat- und Ammoniumionen über den gesamten Betrachtungszeitraum kaum verändert hat. Abbildung 5.12 zeigt die Wertepaare aller Einzelbestimmungen zwischen 1987 und 1999 ($n = 330$), während in Abbildung

5.13 der Medianwert der Quotienten $x = c(\text{NO}_3)/c(\text{NH}_4)$ als saisonale Zeitreihe dargestellt ist. Der mittlere Quotient von Nitrat- und Ammoniumkonzentration beträgt 2,5, was einem Verhältnis von Ammonium- zu Nitratstickstoff von 1,25:1 entspricht. Für das Land Niedersachsen wurde das Verhältnis von Ammonium- zu Nitratstickstoff im Niederschlag als Indikator für den Einfluss der Viehintensivhaltung in den benachbarten Niederlanden gewählt [89]. Als gering beeinflusst galten Regionen mit Verhältniszahlen kleiner als 1,5. Als Belastungsindikator wurden Werte größer als 2 angesehen, die in den südwestlichen Landesteilen registriert wurden.

Aus Abbildung 5.13 lassen sich keine weitergehenden Trendaussagen ableiten. Der Augenschein täuscht an dieser Stelle; bei Betrachtung der Einzelwerte ergibt sich ab 1991 eine de facto waagerechte Punktwolke.

Die Interpretation der Stickstoffeinträge ist verglichen mit den Schwefeleinträgen auch deswegen komplizierter, weil hier wenigstens drei Ursachenkomplexe in Frage kommen: die landwirtschaftliche Produktion, industrielle Quellen und der Kraftfahrzeugverkehr. Es bleibt zu konstatieren, dass sich die Konzentrationen von Stickstoffverbindungen bei einem nur leicht abnehmenden Trend auf hohem Niveau befinden. Die hieraus resultierenden Frachten liegen vielfach über den für einen nachhaltigen Schutz unterschiedlicher Ökosysteme formulierten Critical Loads [90].

Säure-Base-Zustand

Aussagen zum Säure-Base-Verhalten werden üblicherweise anhand des pH-Wertes abgeleitet. Der pH-Wert als **Intensitätsgröße** ist geeignet das Ausmaß des „Ungleichgewichts“ bezogen auf den Neutralpunkt wiederzugeben. In vereinfachter Betrachtung werden die pH-Werte häufig auf das BRÖNSTED'sche Protonenkonzept reduziert, obwohl in diesen Wert eigentlich die Aktivitätskoeffizienten aller ionischen Inhaltsstoffe eingehen. Die aus der Entlogarithmierung des pH-Wertes errechneten Protonenkonzentrationen sind lediglich Näherungswerte.

Zur Beschreibung des tatsächlichen Versauerungspotenzials der Niederschläge wird hingegen eine **Kapazitätsgröße** benötigt, die das Säure-Base-Gleichgewicht über das Protonenkonzept hinausgehend charakterisiert. Es ist beispielsweise möglich den tatsächlichen Protonenüberschuss analytisch als Basenkapazität gegenüber einem Ziel-pH-Wert zu ermitteln. Ferner ist die Berechnung der aktuellen bzw. potenziellen Acidität nach dem Säure-Base-Konzept von STUMM & MORGAN [78] möglich. Hierbei werden die Stoffmengen aller sauren und basischen Komponenten gegeneinander bilanziert. Dieser Ansatz ist insbesondere im Bereich der Bodenkunde verbreitet. Die potenzielle Acidität unterscheidet sich von der aktuellen Acidität lediglich durch die unterschiedliche Berücksichtigung des Ammoniumions. Bei der aktuellen Acidität wird das Ammonium als Base bilanziert, während bei der potenziellen Acidität dessen Versauerungspotenzial eingerechnet wird. Dieses Konzept setzt vollständige und richtige Analysendaten voraus, weswegen es bei älteren Datensätzen nicht angewendet werden kann.

Abbildung 5.14 zeigt die Verteilung der pH-Werte in den jährlichen Datenkollektiven. Der Sprung zwischen den Jahren 1991 und 1992 ist auffällig; in diesem kurzen Zeitraum haben gravierende Veränderungen der Emittentenstruktur Ostdeutschlands stattgefunden. Der pH-Wert ist nach SIGG [91] die „master-Variable“, die von den Protolysegleichgewichten al-

Abb. 5.10:
Entwicklung der saisonalen Ammoniumkonzentrationen (Medianwerte in mg/l) im Bulk-Niederschlag an der Messstelle Lauchhammer

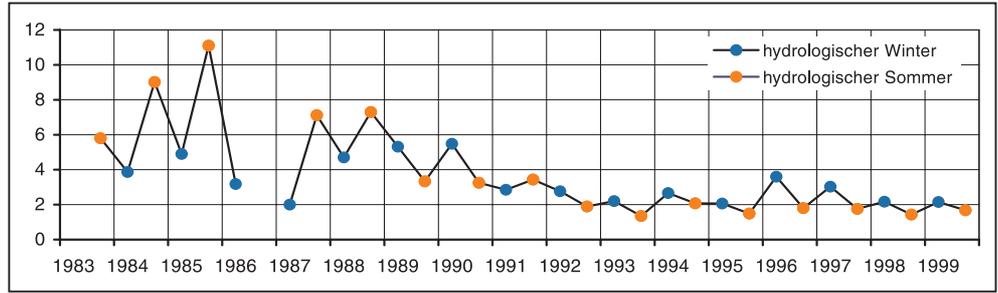


Abb. 5.11:
Entwicklung der saisonalen Nitratkonzentrationen (Medianwerte in mg/l) im Bulk-Niederschlag an der Messstelle Lauchhammer

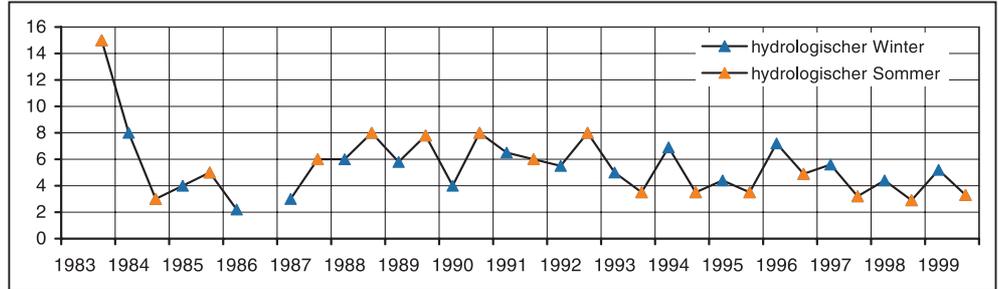


Abb. 5.12:
Ammonium- und Nitratkonzentrationen im Bulk-Niederschlag an der Messstelle Lauchhammer (Befunde 1987-1999)

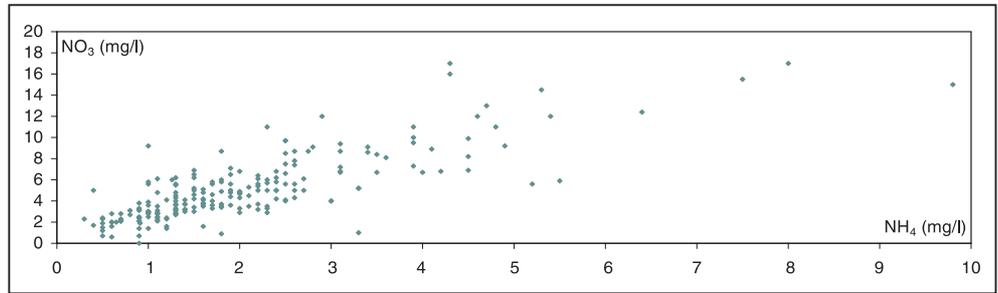


Abb. 5.13:
Quotient aus saisonalen Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen im Bulk-Niederschlag an der Messstelle Lauchhammer

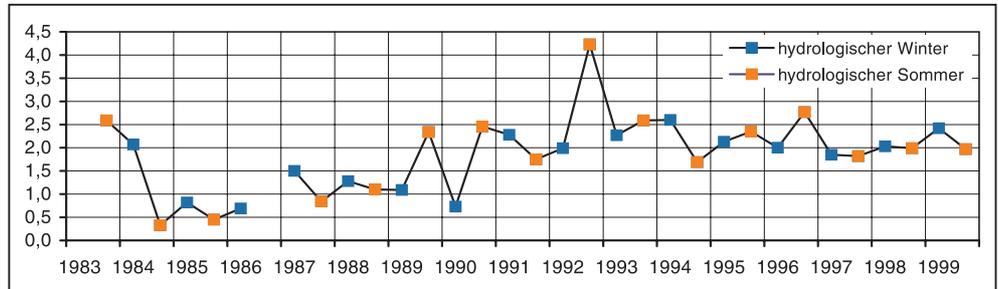
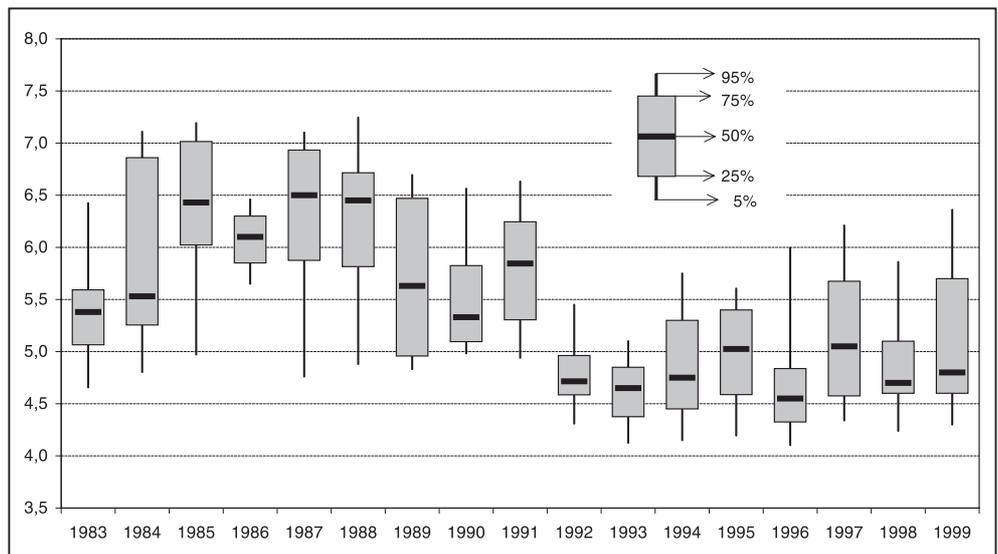


Abb. 5.14:
Entwicklung der pH-Werte im Niederschlag (Summenhäufigkeit) an der Bulk-Messstelle Lauchhammer



ler Inhaltsstoffe beeinflusst wird. Im Umkehrschluss wird der Versuch, den pH-Wert anhand der Veränderungen einzelner Gleichgewichtskomponenten (Staub, SO_2 , NH_3 , NO_x etc.) zu deuten, nicht zum Ziel führen. Die beobachteten pH-Werte sind vielmehr als Quintessenz der einzelnen Veränderungen zu verstehen, die zum Teil gleichsinnig verliefen, sich in anderen Fällen aber gegenseitig kompensierten.

In der Abbildung 5.15 sind hingegen die auf analytischem Wege ermittelten Protonenüberschüsse (bezogen auf die Ziel-pH-Werte 5,65 bzw. 7,00) sowie die aktuelle und die potenzielle Acidität der Niederschläge dargestellt, die aus der Bilanzierung saurer und basischer Regeninhaltsstoffe errechnet worden sind. Die Kenngrößen sind hier auf Basis der Jahresfracht angegeben.

Die Rekonstruktion älterer Angaben zur Versauerungskapazität (in [84] nur qualitative Angaben) wäre in Hinblick auf die Bewertung des gesamten Betrachtungszeitraumes wünschenswert, ist jedoch vor dem Hintergrund unvollständiger bzw. zweifelhafter Analysenwerte ein kritisches Unterfangen. Unter Verwendung einer verkürzten Berechnungsformel, die einheit-

lich nur die Hauptkomponenten Natrium, Calcium, Ammonium, Chlorid, Sulfat und Nitrat berücksichtigt (dies auch bei den vollständigen Datensätzen), erhält man den in Abbildung 5.16 dargestellten Verlauf. Für das Jahr 1987 wurde ein Wert von 7,3 keq/(ha·a) errechnet. Zum Vergleich wurden die Ergebnisse der aktuellen Acidität mit vollständiger Berechnungsgrundlage in Abbildung 5.16 nochmals angegeben. Es zeigt sich, dass auch mit der verkürzten Berechnungsmethode hinreichend genaue Ergebnisse erzielt werden, anhand derer sich der Aciditätsverlauf der letzten 10 Jahre abschätzen lässt.

Zusammenfassend lässt sich somit für die langjährige Entwicklung an der Bulk-Messstelle Lauchhammer seit 1983 feststellen:

- Die Niederschläge sind saurer geworden.
- Der effektive Protonenüberschuss ist zurückgegangen.
- Das Versauerungspotenzial der Niederschläge ist zurückgegangen.
- Die Säureinträge bewegen sich immer noch im Bereich der Critical Loads [92], was insbesondere hinsichtlich der bereits eingetretenen Versauerungserscheinungen in Waldböden problematisch ist.

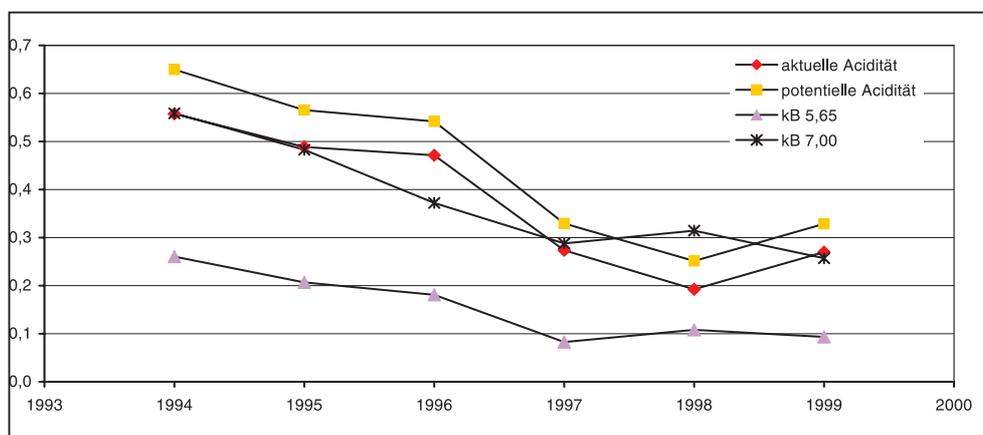


Abb. 5.15: Versauerungskapazität der Niederschläge an der Bulk-Messstelle Lauchhammer anhand berechneter Aciditätswerte sowie gemessener Protonenüberschüsse für unterschiedliche Ziel-pH-Werte (Angaben in keq/(ha·a))

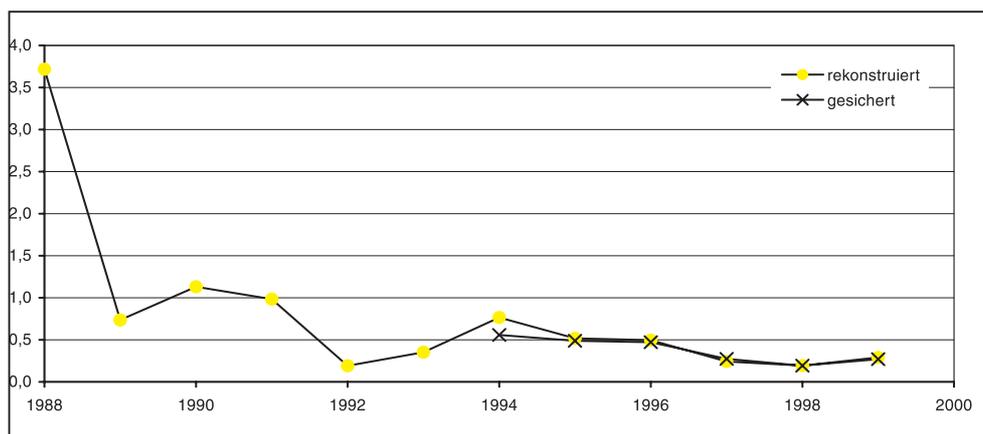


Abb. 5.16: Hochrechnung der aktuellen Acidität mittels einer verkürzten Berechnungsmethode (Angaben in keq/(ha·a))

5.2.1.2 Frachten der Niederschlagsdeposition im Zeitraum 1996 bis 1999 an Messstellen des Landes Brandenburg

Auf der Basis der Befunde der Messstellen des Landes Brandenburg aus dem Zeitraum 1996 bis 1999 sollen nachfolgend Details der Niederschlagsdepositionssituation vorgestellt werden. Der Zeitraum 1996 bis 1999 ist repräsentativ für die gegenwärtige Situation. Derartige Untersuchungen sollten möglichst mittels der Befunde nur einer Messinstitution erfolgen,

da analytische Unterschiede die Aussagen verfälschen könnten.

In die Berechnung der niederschlagsbürtigen Stofffrachten gehen neben der gemessenen Stoffkonzentration die Niederschlagsmenge bzw. das Probenvolumen (variabel) sowie die Auffangfläche der Sammelgeräte (konstant) ein. Somit sind im Gegensatz zu der konzentrationsbezogenen Auswertung der Niederschlagsbeschaffenheit die frachtbezogenen Darstellungen stets von dem zufälligen Witterungsverlauf des jeweiligen

Messjahres überlagert. Bei der selben Konzentration eines Stoffes resultieren in niederschlagsreichen Jahren zwangsläufig höhere Frachten als in vergleichsweise trockenen Jahren. Aus der Berechnung der Frachten wurden nach Einzelfallprüfung die unplausibel hohen Stoffkonzentrationen einzelner Beprobungsintervalle ausgeschlossen, während bei der konzentrationsbezogene Darstellung diese Werte in der Regel berücksichtigt wurden. Letztlich gehen in die berechneten Stofffrachten auch die systematischen Fehler der Niederschlagsmengenmessung [93] sowie die Minderbefunde infolge von Spritzwasser- und Haftwasserverlusten an den Sammelgeräten ein.

Der Begriff „Fracht“ darf nicht mit dem Gesamteintrag des jeweiligen Stoffes aus der Atmosphäre in angrenzende Kompartimente gleich gesetzt werden. Bedingt durch die Messmethodik (vgl. 5.1.) wird der akzeptorabhängige Anteil der trockenen Deposition von Spurengasen und Aerosolen nur in (hinsichtlich der tatsächlichen Deposition nicht quantifizierbaren) Anteilen erfasst. Diese Einschränkung gilt in deutlich abgeschwächter Form auch für Depositionsmessungen in Wäldern und hier vor allem für die Depositionen, die durch gasförmige Immissionen bedingt sind (Nitrat, Sulfat und Ammonium). Während die trockene Deposition an der Oberfläche der Vegetation naturgemäß unterschätzt wird, kann die nasse Deposition, der sogenannte Kronendurchlass, mit den üblichen Messverfahren verhältnismäßig gut bestimmt werden. Die hier bestimmten Frachten sind gegenüber denjenigen an Freilandmessstellen in erheblichem Maße durch die Akzeptorwirkung der Bäume geprägt. Es treten zusätzliche Effekte (z.B. Interzeptionsverluste) auf, die per Konvention nicht weiter betrachtet werden. Trotz aller hier aufgeführten Einschränkungen sind die Frachtangaben zur Abschätzung der Wirkungen auf die angrenzenden Kompartimente sowie zur vergleichenden Interpretation der Stoffeinträge im Landesmaßstab geeignet.

Der Anhang 3 enthält für den Zeitraum 1996 bis 1999 die Befunde aller Messstellen des Landes für die anorganischen Hauptinhaltsstoffe und TOC. Es werden die Konzentrationen in Form der gewogenen Jahresmittelwerte (niederschlagsmengen-gewichtet) und die Frachten angegeben.

Die graphische Darstellung der Frachten erfolgt räumlich strukturiert nach den fünf Regionalplanungsräumen (vgl. 2.5). Diese Art der Regionalisierung von Messdaten für die Niederschlagsdeposition ist nicht optimal, wird jedoch im Interesse einer einheitlichen Darstellungsweise im Bericht beibehalten. Die einzelnen Regionalplanungsräume werden durch folgende Messstellen charakterisiert:

Region 1	<i>Kienhorst</i>
Region 2	<i>Lebus, Schwenow</i>
Region 3	<i>Lauchhammer, Jerischke, Neusorgefeld</i>
Region 4	<i>Weizgrund, Buckow</i>
Region 5	<i>Cumlosen, Beerenbusch, Natteheide</i>

(kursiv: Messstellen, von denen zusätzlich Wet-only-Daten zur Verfügung stehen)

Die Darstellung der Werte (Abb. 5.17 bis 5.21) erfolgt in Form von Spannweitendiagrammen, die sich aus den Jahressummen der jeweiligen Fracht im Beobachtungszeitraum 1996 bis 1999 ergeben. Die getrennte Darstellung der Regeninhaltsstoffe in den Diagrammen erfolgt lediglich aus Lesbarkeitsgründen (Skalenbereiche). Da die Frachten bisher noch nicht aggregiert

veröffentlicht wurden, werden sie entgegen der Darstellungsformen im Kapitel 4 in den Graphiken zusätzlich numerisch angegeben. Es sei daran erinnert, dass die gravierenden Immissionsveränderungen auch in den neuen Bundesländern in der Mitte der neunziger Jahre im Wesentlichen abgeschlossen waren.

Sulfat

Die Sulfateinträge lagen im Beobachtungszeitraum im Bereich zwischen 10 und 20 kg/(ha·a) in der Bulk-Deposition (Abb. 5.17). Obwohl in der ersten Hälfte der 90er Jahre die Sulfatkonzentrationen im Niederschlag auf ein Niveau von kleiner 10 % gegenüber Mitte der 80er Jahre zurückgegangen sind, lagen die Sulfatfrachten immer noch in einem Bereich, der für die meisten Ökosysteme als kritisch eingeschätzt wird (vgl. 2.4). Für einige landwirtschaftliche Kulturen mit hohem Schwefelbedarf (z.B. Winterraps) wird in der Zwischenzeit hingegen ein Nährstoffmangel diskutiert [94].

Die Wet-only-Frachten (Abb. 5.20) lagen im Bereich zwischen 70 und 80 % der Bulk-Frachten. Der mittlere Korrekturfaktor nach DRAAIJERS von 0,86 zwischen der Bulk- und Wet-only-Deposition [95] wurde systematisch unterschritten. Als Ursache hierfür kommen klimatische Besonderheiten im Land Brandenburg (z.B. langanhaltende Trockenperioden, geringe Niederschlagshöhen) in Betracht, die zu einem vergleichsweise höheren Anteil trockenpartikulärer Depositionen führen könnten.

Bei landesweiter Betrachtung ergab sich eine Zunahme der Sulfatfrachten von Nord nach Süd. Dieser Trend setzte sich im Freistaat Sachsen fort [96]. Allerdings sind die räumlichen Differenzierungen, die im Zeitraum 1991 bis 1993 noch beobachtet worden waren [95], weitgehend zurückgegangen. Bemerkenswert ist der Umstand, dass bundesweit im Jahr 1998 gegenüber dem Trendverlauf im Zeitraum 1995 bis 2000 erhöhte Sulfateinträge beobachtet worden sind [97, 98], die sich nicht allein aus den vergleichsweise höheren Niederschlagssummen in diesem Messjahr erklären lassen. Dieses Phänomen wurde im Land Brandenburg ebenfalls festgestellt.

Stickstoffverbindungen

Die Stickstofffracht der nassen Deposition setzte sich im Wesentlichen aus den Frachtanteilen der Ammonium- und Nitrationen zusammen. Der Frachtanteil der Nitrationen spielte de facto keine Rolle. Der Frachtanteil des organisch gebundenen Stickstoffs war nicht unerheblich und variierte in Abhängigkeit von Probenahmemethodik sowie standortspezifischen Faktoren. Ferner müssen hier Artefaktbildungen (mikrobielle Umwandlung anorganischer Bestandteile in organische Bindungsformen) berücksichtigt werden.

Die **Nitratfrachten** lagen im Bereich zwischen 10 und 20 kg/(ha·a) und wiesen im Landesmaßstab keinerlei standörtliche Differenzierung auf, was gleichermaßen für die Bulk- und Wet-only-Befunde gilt (Abb. 5.17 und 5.20). Die Nitratfrachten aus der Wet-only-Probe folgten im Wesentlichen den bekannten Korrekturfaktoren [94] und lagen im Mittel bei 83 % bezüglich der Bulk-Proben.

Die **Ammoniumfrachten** bewegten sich im Bereich zwischen 3 und 7 kg/(ha·a). Hier ist das Paradox zu beobachten, dass die Wet-only-Befunde häufig höher sind als diejenigen aus der Bulk-Messung (Abb. 5.18 und 5.21). Dies ist darin begründet, dass die Niederschlagsprobe im Wet-only-Sammler dunkel und kühl gelagert wird, während in den Bulk-Sammlern der Einfluss

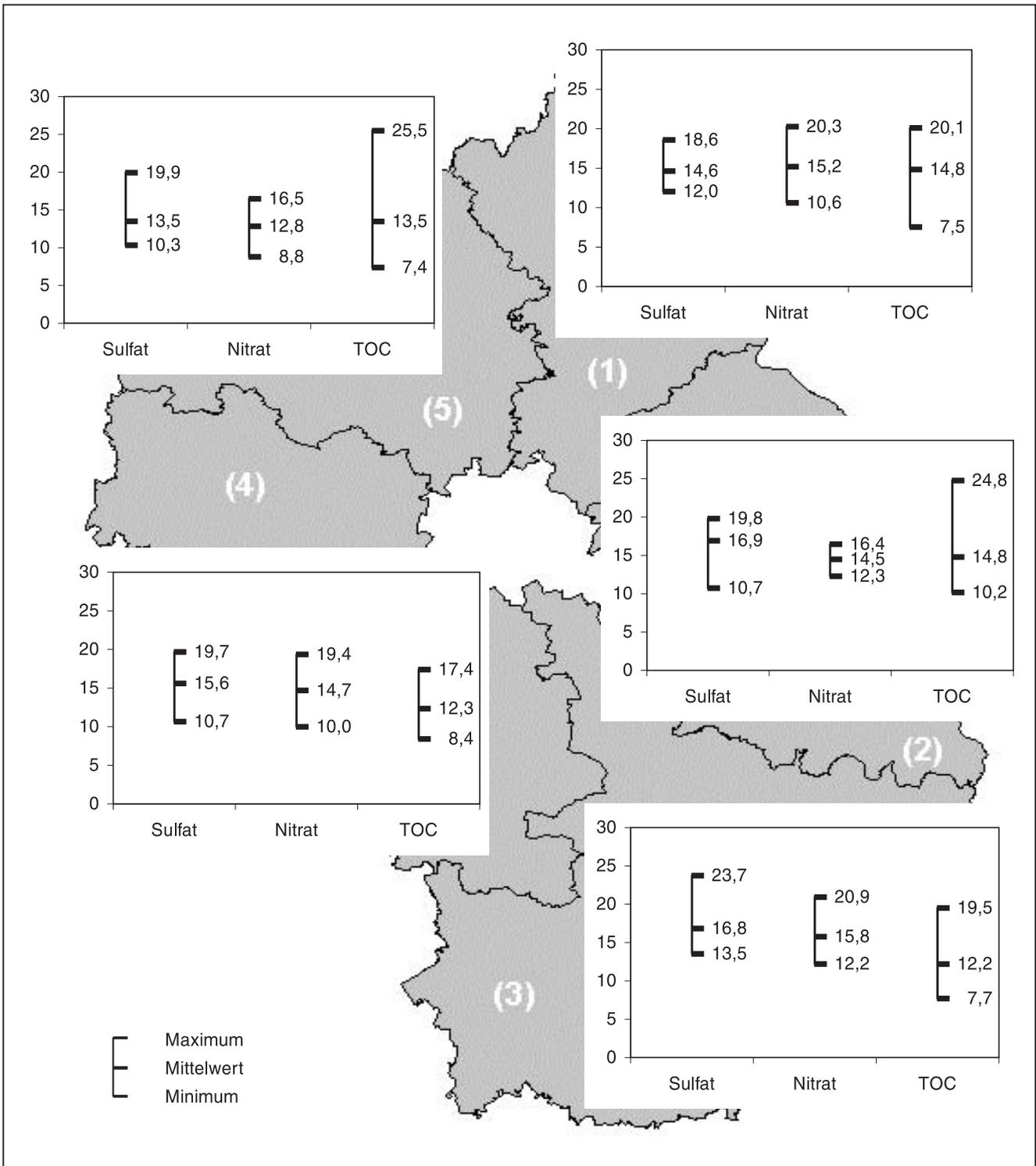


Abb. 5.17: Spannweite der jährlichen Frachten 1996–1999 (Bulk-Deposition, Angaben in kg/(ha·a) – Sulfat, Nitrat, TOC –

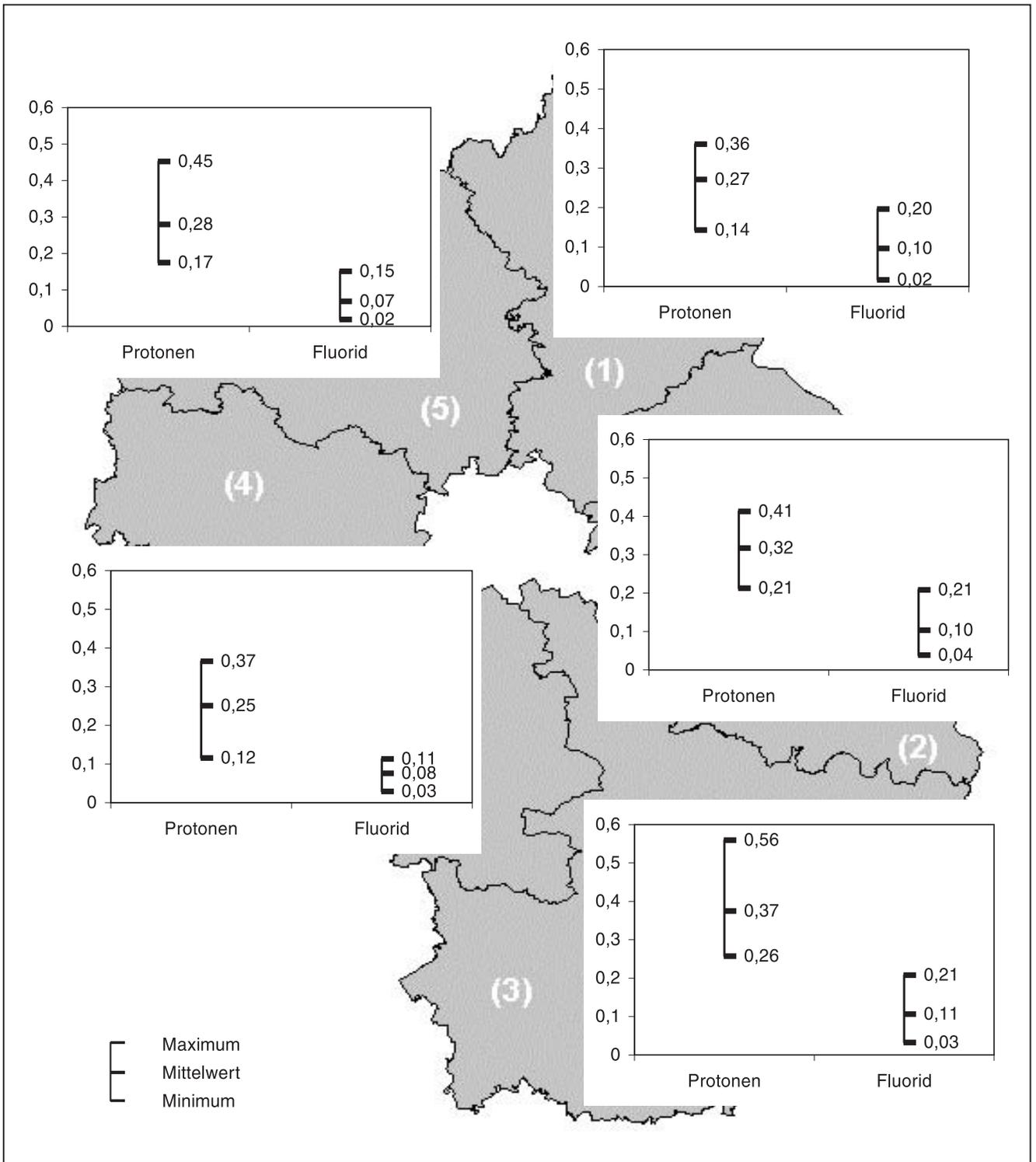


Abb. 5.18: Spannweite der jährlichen Frachten 1996–1999 (Bulk-Deposition, Angaben in kg/(ha·a)) – Protonen, Fluorid –

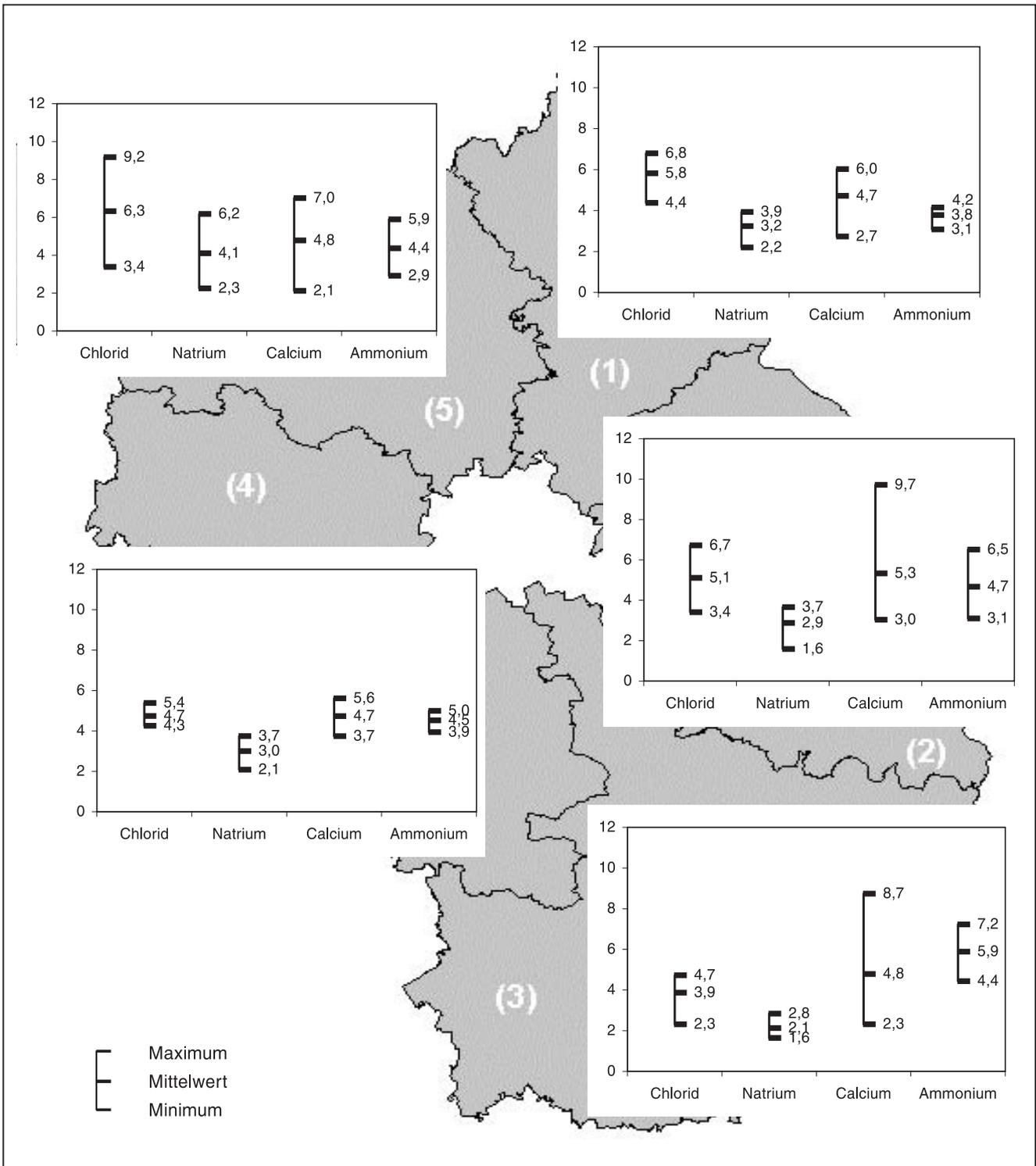


Abb. 5.19: Spannweite der jährlichen Frachten 1996–1999 (Bulk-Deposition, Angaben in kg/(ha·a)) – Chlorid, Natrium, Calcium, Ammonium –

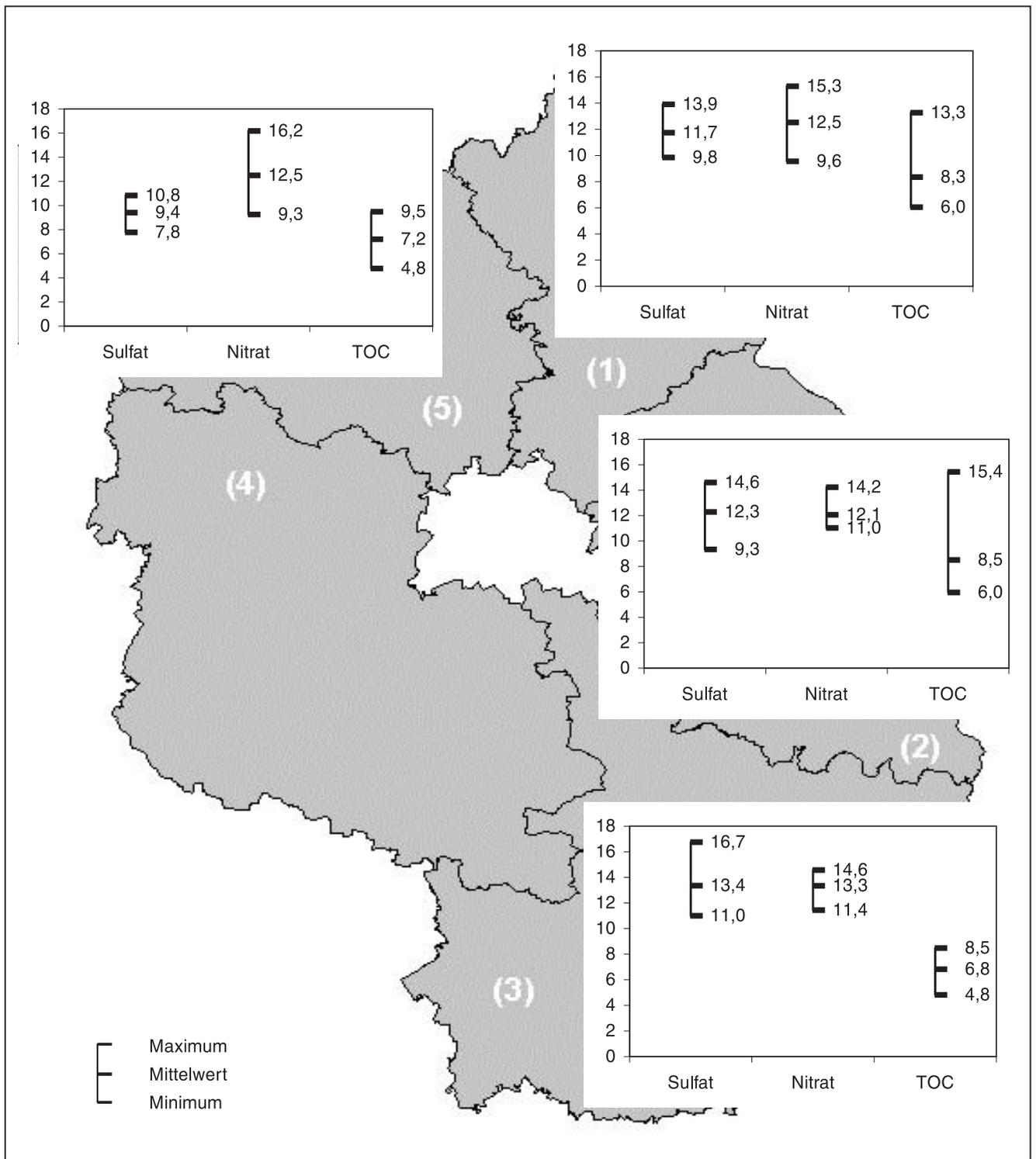


Abb. 5.20: Spannweite der jährlichen Frachten 1996–1999 (Wet-only-Deposition, Angaben in kg/(ha·a)) – Sulfat, Nitrat, TOC –

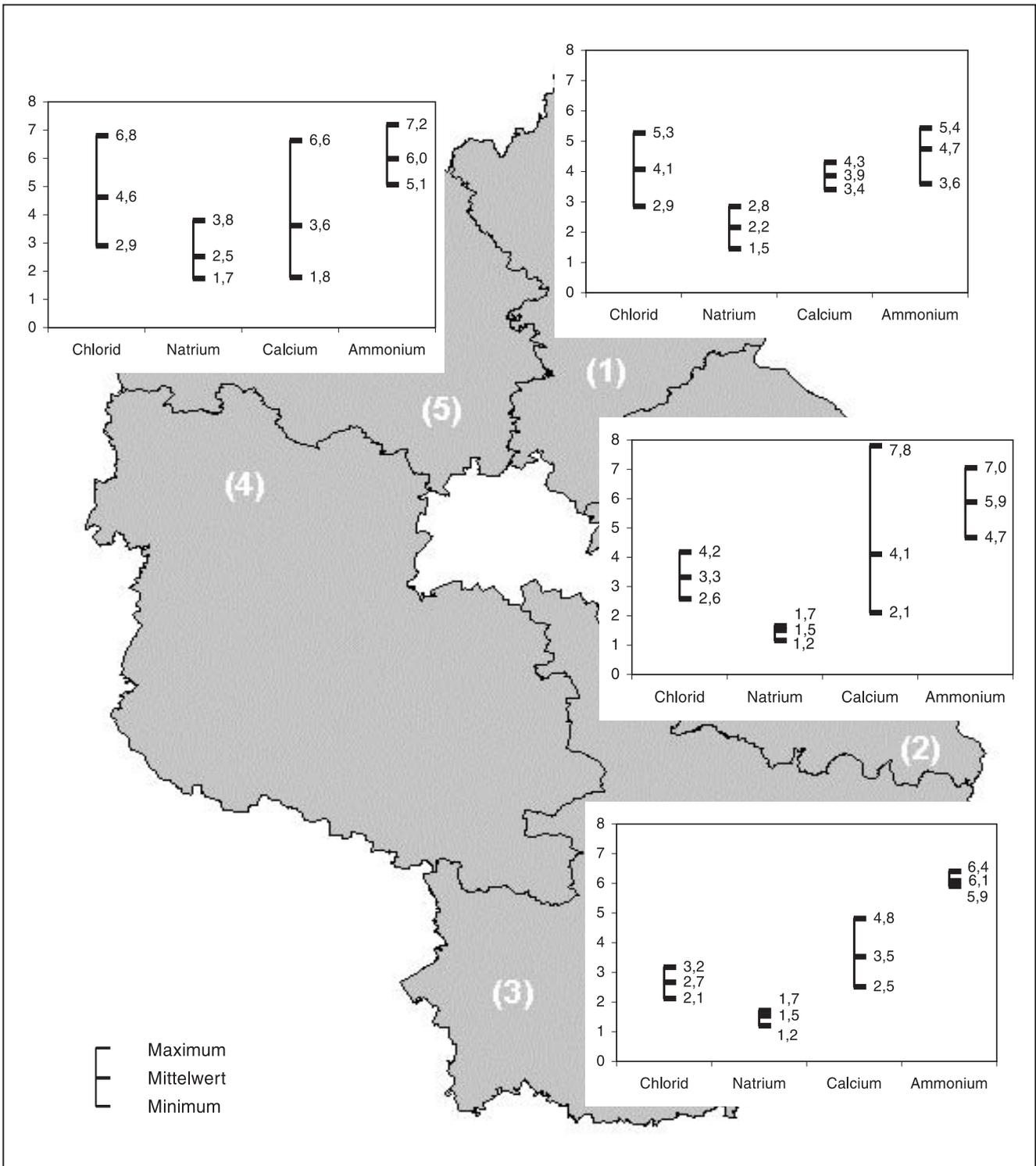


Abb. 5.21: Spannweite der jährlichen Frachten 1996–1999 (Wet-only-Deposition, Angaben in kg/(ha·a)) – Chlorid, Natrium, Calcium, Ammonium –

von Licht und Wärme nicht vermeidbar ist. Dieser Effekt korrespondiert mit den Befunden der Messstelle Lauchhammer, wo im Unterschied zu allen anderen Messstellen die Bulk-Probe täglich entnommen wird und die Bulk-Deposition erwartungsgemäß höher ist als die Wet-only-Deposition.

Für die Ammoniumfrachten ist im Landesmaßstab eine leichte Zunahme von Nord nach Süd zu beobachten, die sich anhand der Messdaten des Freistaates Sachsen bestätigt [96].

Die Bilanzanteile organisch gebundenen Stickstoffs bezüglich der Summe aller gebundenen Stickstoffspezies $[x = N_{\text{organisch}} \cdot 100 / (N_{\text{organisch}} + N_{\text{anorganisch}})]$ lagen bei der Wet-only-Probenahme im Bereich zwischen 3 und 6 %. Bei der Bulk-Probenahme wurden hingegen 10 bis 15 % registriert. Es ist anzunehmen, dass diese Frachtanteile im Wesentlichen aus den vorstehend erwähnten Ammoniumverlusten stammen. Als standörtlicher Einfluss tritt die unmittelbare Nähe zu Forstbeständen hinzu, wo in vermehrtem Maße Pollen und sonstige Pflanzenpartikel oder auch kleine Insekten in die Probe gelangen. So werden an Freilandmessstellen in direkter Nachbarschaft zu Wäldern 10 bis 25 % organisch gebundene Stickstoffverbindungen gefunden; in der Bestandesdeposition (Kronentraufe) liegt der Anteil sogar bei 20 bis 35 %. Die Bilanzierungsfehler infolge von Probenahmeartefakten und biogenen Emissionen im Nahbereich der Messstelle sind nicht voneinander separierbar. Die absoluten Bilanzanteile organisch gebundener Stickstoffverbindungen liegen bei

- der Wet-only-Probenahme im Bereich zwischen 0,2 und 0,5 kg N/(ha·a)
- der Bulk-Probenahme im Bereich zwischen 0,8 und 1,4 kg N/(ha·a)
- der Bulk-Probenahme in Waldnähe zwischen 1 und 2,5 kg N/(ha·a)
- der Bulk-Probenahme im Bestand zwischen 3 und 6 kg N/(ha·a).

Unter Berücksichtigung aller Bindungsformen lagen die Stickstofffrachten der nassen Deposition an Freilandmessstellen im Bereich zwischen 6 und 10 kg N/(ha·a).

Bezogen auf das Datenmaterial der Wet-only-Probenahme resultierten 55 bis 60 % der Stickstoffbilanz aus Ammoniumstickstoff. Unter der Annahme einer vollständigen Nitrifizierung der gesamten Ammoniumfracht und ohne Betrachtung des Protonenverbrauchs bei der Nitrifikation (worst-case-Szenario) käme den NH_4 -Einträgen ein bodeninternes Versauerungspotenzial von 400 bis 800 eq/(ha·a) zu. Die gemessene Protonendeposition lag im Bereich zwischen 200 und 300 eq/(ha·a). Dies verdeutlicht, dass die Stickstoffeinträge neben der eutrophierenden Wirkung ein erhebliches Versauerungspotenzial haben.

Die rechnerische Abschätzung der Stickstoff-Gesamtdosition an Freilandstandorten, bei der davon ausgegangen wird, dass Ammonium zu etwa 90 % und Nitrat zu etwa 50 % in der nassen Deposition erfasst werden [99], ergab Eintragsraten zwischen 9 und 13 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr. Hiermit werden die Critical Loads für die klassifizierten Kompartimente weitgehend überschritten. Insbesondere für Wälder, in denen die jährlichen Frachten noch beträchtlich höher lagen, resultierte hieraus eine erhebliche Stickstoff-Übersorgung. Der laufende jährliche Biomassezuwachs führte zu einer Festlegung von lediglich 3 bis 5 kg N/(ha·a) [100].

Aufgrund der spezifischen Ausbreitungsdynamik von Ammoniak, aber auch wegen Modellierungsproblemen bei der Ermittlung der Ammoniak- bzw. Ammoniumgesamtdeposition [99] muss davon ausgegangen werden, dass insbesondere in Emittentennähe die Stickstofffrachten noch merklich über diesen Werten liegen können.

Protoneneintrag

Der Eintrag von Protonen wird in erster Linie zur Beurteilung der Versauerungswirkung der Niederschläge herangezogen. Es muss an dieser Stelle jedoch klar darauf verwiesen werden, dass die alleinige Betrachtung der Protonenfracht zu einer erheblichen Unterbewertung der potentiellen Wirkungen führt. Als potentieller Säureeintrag der Nassdeposition sind die Äquivalentkonzentrationen von Sulfat, Nitrat und Ammonium zu berücksichtigen. Wird der Anteil der Trockendeposition ebenfalls einbezogen, so sind außerdem die akzeptorabhängigen Einträge von SO_2 , NO_x und NH_3 aus der Gasphase bzw. Aerosolen hinzuzuziehen, die allerdings mit den hier verwendeten Probenahmetechniken nicht erfasst werden [101]. Letztlich gibt es inzwischen eine Reihe unterschiedlicher Bilanzierungsmethoden, die naturgemäß zu unterschiedlichen Resultaten führen.

Die Protonenfrachten im Land Brandenburg liegen in der Bulk-Deposition an Freilandmessstellen im Mittel zwischen 0,25 und 0,35 keq/(ha·a). Der Gesamtprotoneneintrag (siehe oben) übersteigt systematisch die Critical Loads. Im Landesmaßstab ist eine tendenzielle Zunahme von Nord nach Süd feststellbar. Ein fundierter Vergleich von Bulk- und Wet-only-Proben ist aufgrund der Datenlage nicht möglich. Um Probenmaterial für die Analytik organischer Stoffe verfügbar zu haben, wurde ab 1997 die Direktbestimmung des Protonenüberschusses aus der Wet-only-Probe eingestellt. Weitere Angaben zum Protoneneintrag sind in diesem Bericht im Abschnitt 5.2.1.1 (Säure-Base-Zustand) zu finden.

TOC (Total Organic Carbon)

Die Frachten organisch gebundenen Kohlenstoffs (TOC) in der nassen Deposition standen bislang nicht im Mittelpunkt der Betrachtungen, so dass sich hierzu in der Fachliteratur auch nur wenige Anhaltspunkte finden. Zum einen bietet dieser Summenparameter keine (schad-) stoffspezifischen Informationen, zum anderen sind den Einträgen organisch gebundenen Kohlenstoffs keine umwelt- oder humantoxikologisch relevanten Wirkungen zuzuordnen. Letztlich spielt auch der Aspekt der ungenügenden Abgrenzbarkeit zwischen biogenen und anthropogenen Ursachen der TOC-Frachten eine Rolle.

Bei der Beurteilung der in den letzten Jahren eingetretenen Verbesserung der Luftqualität und der damit einher gegangenen Veränderung der Beschaffenheitsmuster von Niederschlägen ergibt sich allerdings ein bemerkenswerter Aspekt. Im Zeitraum zwischen 1994 und 2000 haben sich die jährlichen Frachten von Sulfat-Schwefel und Kohlenstoff (als TOC) auf ca. 33 % und von anorganisch gebundenen Stickstoffverbindungen auf 58 % des Ausgangsniveaus mit jeweils exponentiellem Verlauf reduziert. Abbildung 5.22 zeigt exemplarisch die Elementverhältnisse zwischen Kohlenstoff, Schwefel und Stickstoff am Beispiel der Bulk-Deposition an der Messstelle Lauchhammer. Zur Vermeidung fehlerhafter Trendaussagen infolge zu kurzer Datenreihen wurde hier abweichend vom sonstigen Vorgehen auf das gesamte verfügbare Datenmaterial zurückgegriffen.

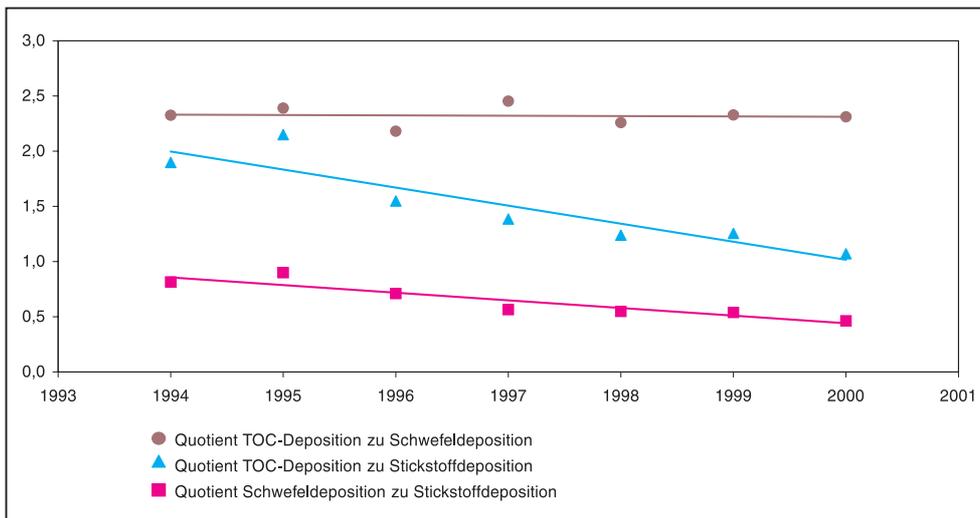


Abb. 5.22: Entwicklung der Elementverhältnisse der Bulk-Deposition an der Messstelle Lauchhammer

Die Kohlenstoffrückgänge verliefen in den gleichen Raten wie die Schwefelreduzierungen, was an dem über den gesamten Zeitraum konstanten Elementverhältnis sichtbar ist. Bei Betrachtung der gewogenen Mittelwerte der TOC-Konzentrationen in saisonaler Aggregation ist keine offenkundige und durchgehende jahreszeitliche Differenzierung zwischen den Sommer- und Winterhalbjahren nachweisbar. Hieraus deuten sich folgende Schlussfolgerungen an:

- Da die Rückgänge der Schwefeldeposition vor allem dem Rückgang von Emissionen der Braunkohlenfeuerung zugeschrieben werden, könnte der organisch gebundene Kohlenstoff im Niederschlag in maßgeblichen Anteilen den Emissionen aus dem Hausbrand mit Braunkohlenfeuerung entstammen. Bei Großkesselanlagen war und ist der Ausbrand so gut, dass organisch gebundener Kohlenstoff im Regelbetrieb nicht emittiert wird. Im Untersuchungszeitraum waren in Lauchhammer keine Großkesselanlagen im Betrieb.
- Da sich die Konzentrationen der analytisch nachgewiesenen Einzelstoffe (vgl. 5.2.3) in der Regel im Mikrogramm-Bereich bewegen, die TOC-Konzentrationen jedoch im Bereich zwischen 2 bis 4 Milligramm pro Liter (Jahresmittel), dürfte der Hauptanteil organischen Kohlenstoffs Substanzen mit hohem Molgewicht sowie kohlenstoffhaltigen Partikeln (Bulk-Befunde wesentlich höher als Wet-only-Befunde) entstammen.
- Biogene Emissionen, die heute im Land Brandenburg einen Anteil von etwa 30 % der VOC-Emissionen ausmachen, sollten mit Ausnahme von Partikeln (z.B. Pollen) in atmosphärenchemischen Reaktionen verhältnismäßig rasch zu kleineren, polaren Molekülen umgesetzt werden. Sie spielen bei den als TOC gemessenen Kohlenstofffrachten im Niederschlag zumindest an Freilandmessstellen keine dominante Rolle. Aus den Messergebnissen kann jedoch kein Umkehrschluss dahingehend gezogen werden, dass biogene Emissionen keine ökologischen Folgewirkungen aufweisen würden.

Im Landesmaßstab wiesen die TOC-Frachten an vergleichbaren Messstellen keine räumliche Differenzierung auf. Die Spannweitendiagramme lassen einen leichten Trend zu niedrigeren Werten von Nord nach Süd vermuten, der sich anhand der Einzeldaten allerdings nicht klar bestätigt. Es wurde hinge-

gen, wie bei den Stickstoffverbindungen auch, eine deutliche Abhängigkeit der Befunde vom näheren Messstellenumfeld sowie der Sammeltechnik gefunden. Gegenwärtig liegen die Frachten der Bulk-Deposition in unmittelbarer Waldnähe im Bereich zwischen 12 und 16 kg/(ha·a) und an reinen Freilandmessstellen zwischen 8 und 10 kg/(ha·a). Bei Wet-only-Messungen werden 6 bis 8 kg/(ha·a) festgestellt.

Natrium und Chlorid

Den Natrium- und Chlorideinträgen wird im Allgemeinen maritime Herkunft zugesprochen [95]. Das molare Verhältnis zwischen Chlorid und Natrium zum Zweck der Seesalzkorrektur wird mit 1,164 eq Chlorid zu 1 eq Natrium angegeben [102], was 54 mol % (Anteil in % bezüglich der Stoffmenge NaCl) Chlorid bzw. 46 mol % Natrium entspricht. Im Gegensatz zu diesen Werten wurden an küstennahen Messstellen im Land Schleswig-Holstein Werte um 52 mol % Chlorid gefunden [103]. Da abgesehen von lokalen Effekten im Binnenland keine maßgeblichen Natriumemittenten zu erwarten sind, können Abweichungen von diesen Elementverhältnissen als Indikator für zusätzliche anthropogene Einflüsse, insbesondere im Hinblick auf Chlorid, herangezogen werden.

Im Land Brandenburg wurden auf Basis der gewogenen Mittel der Messjahre 1996 bis 1999 folgende Chloridanteile gefunden:

Region / Messstelle	Bulk-Deposition	Wet-only-Deposition
1	54,3 mol %	55,4 mol %
2	54,3 mol %	59,0 mol %
3	54,4 mol %	53,0 mol %
4 (ohne Buckow)	53,1 mol %	
5	50,5 mol %	54,5 mol %
Zepernick bei Berlin	59,9 mol %	

Es wird in der Bulk-Deposition in Region 5 (Nordwesten des Landes Brandenburg) gegenüber allen anderen Regionen wenig Chlorid bzw. viel Natrium gefunden. Eine plausible Erklärung für diese Auffälligkeit konnte nicht gefunden werden. Eindeutig hingegen ist der erhöhte Chloridanteil an der Messstelle Zepernick (nordöstlicher Stadtrand von Berlin), der möglicherweise anthropogen bedingt ist. Bei der Wet-only-Deposition wird in der Region 2 (Messstelle Lebus) eine signifikante Erhöhung des Chloridanteils beobachtet. Hier könnte auch davon ausgegangen werden, dass der „maritime background“ von anthropogen bedingten Chloridanteilen überlagert ist.

Die jährlichen Frachten wiesen sowohl in der Bulk- als auch der Wet-only-Deposition von Nord nach Süd eine deutlich abnehmende Tendenz auf, was sich mit dem zurückgehenden Einfluss maritimer Aerosole begründet. Sowohl die Natrium- als auch die Chloridfrachten halbieren sich im Vergleich der nordwestlich gelegenen Messstellen mit denen im Süden des Landes. In Hinblick auf die Versauerung angrenzender Kompartimente sind die NaCl-Einträge bedeutungslos, da es sich hier um ein Neutralsalz ohne Einfluss auf den Säure-Base-Haushalt handelt.

Fluorid

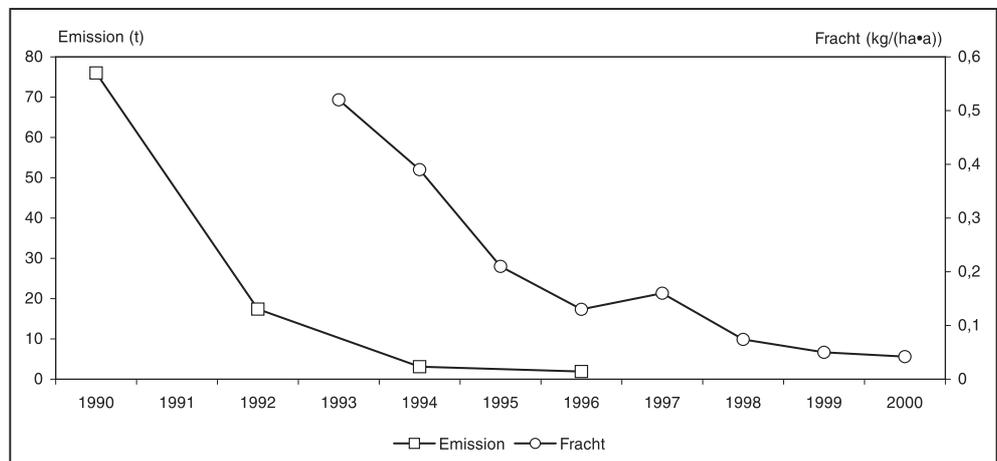
Über die Deposition von Fluorid wurde in der Vergangenheit kaum berichtet. Ursache hierfür könnte sein, dass die Fluoridanalytik in relevanten Konzentrationsbereichen bis etwa Mitte der neunziger Jahre durchaus nicht trivial war und somit hiervon Abstand genommen wurde. Die vegetationsschädigende Wirkung von Fluorwasserstoff selbst in geringen Konzentrationen ist bekannt und es existieren konsequenterweise entsprechende Immissionsgrenzwerte. Der Deposition von Fluoridionen wurde ein Beitrag am Entstehen der sogenannten "neuartigen

Waldschäden" zugesprochen [104]; es ist jedoch anzunehmen, dass dieser Aspekt aufgrund der eher geringen Datenlage nicht weiter verfolgt worden ist. Im Rahmen jüngerer Untersuchungen im Dreiländereck Deutschland – Polen – Tschechien wurde nachgewiesen, dass insbesondere bei Episoden mit vorherrschenden Windrichtungen um Ost bis Südost ein enger Zusammenhang zwischen SO_2 - und HF-Immission bestand [105]. Episoden mit auffällig hohen Fluoridfrachten wurden auch im Land Brandenburg mehrfach beobachtet.

Im Verlauf der Messjahre 1993 bis 2000 fand ein Rückgang der Fluoridfrachten statt, der qualitativ dem anderer Luftschadstoffe ähnlich ist (z.B. Sulfatfracht im Niederschlag, Staubb-niederschlag, (s. Abb. 5.23).

Im Unterschied zur Abnahme der Sulfatdeposition wurde bei den Fluoridfrachten ein wesentlich rascherer Rückgang beobachtet, was die Tabelle 5.3 veranschaulicht. Das Bezugsjahr 1993 war das erste Messjahr mit einer vollständigen Datenreihe, während das Bezugsjahr 1996 auf den Betrachtungszeitraum dieses Kapitels abstellt.

Abb. 5.23:
Entwicklung der Fluoridemission der Glasindustrie Südbrandenburgs und der Fluoridfracht der Bulk-Deposition an der Messstelle Lauchhammer



Tab. 5.3:
Relative Entwicklung der Fluorid- und Sulfatfrachten der Bulk-Deposition an der Messstelle Lauchhammer

Messjahr	Bezugsjahr 1993		Bezugsjahr 1996	
	Fluoridfracht [%]	Sulfatfracht [%]	Fluoridfracht [%]	Sulfatfracht [%]
1993	100	100		
1994	75,9	76,6		
1995	40,9	63,1		
1996	24,2	44,4	100	100
1997	30,8	31,5	127,3	71,0
1998	14,4	32,2	59,4	72,5
1999	9,4	28,2	39,0	63,5
2000	8,2	26,2	33,8	59,0

kursiv: Ausreißer

Es wird deutlich, dass - obwohl ein Zusammenhang zwischen Sulfat- und Fluoridimmissionen nachgewiesen wurde – kein monokausaler Zusammenhang der beobachteten Fluoridreduktion mit den Sulfatminderungen besteht.

Im Land Brandenburg weisen die Fluoridfrachten von Süd nach Nord eine abnehmende Tendenz auf, was sich mit der These deckt, dass Großfeuerungsanlagen im „Schwarzen Dreieck“ und dem Böhmisches Becken heute zu den maßgeblichen Emittenten zählen. Daneben sind die ehemaligen Industriestandorte (Glashütten, Aluminiumverhüttung, Braunkohlekraftwerke) in Südbrandenburg und angrenzenden Gebieten des Freistaates

Sachsen beachtenswert, wo im Zuge von Anlagenstilllegung und -sanierung ein rascher Rückgang der Emissionen vonstatten ging. Abbildung 5.23 zeigt einen zeitlichen Versatz zwischen den Emissionsrückgängen der Glasindustrie und der Abnahme der Fluoridfrachten. Das Verhältnis zwischen Bulk- und Wet-only-Deposition weist im Süden des Landes Brandenburg eine Auffälligkeit auf. Hier macht die Wet-only-Deposition nur etwa 50 % der Bulk-Deposition aus, während an den übrigen Messstellen 70 bis 80 % gefunden wurden. Die Ursache hierfür dürfte in der Resuspension fluoridhaltiger Partikel liegen, die in der Wet-only-Probe im Allgemeinen nicht erfasst werden. Das resuspendierte Material ist mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Relikt der hohen Fluoridemissionen vor 1994.

5.2.1.3 Untersuchungen zu den Herkunftsräumen ausgewählter Frachten

Es wurde der Versuch unternommen, für die Jahre 1998 und 1999 die Frachten (Bulk und Wet-only) ausgewählter Hauptinhaltsstoffe der repräsentativen Messstellen Kienhorst (Nordbrandenburg, ländliche Messstelle) und Lauchhammer (Südbrandenburg, urban und industriell beeinflusste Messstelle)

hinsichtlich ihrer großräumigen Herkunft zu analysieren. Es wurden 4 verschiedene Einzugssektoren definiert:

Sektor A: Richtung Nordost (330°–120°), Sektorbreite 150°
 Sektor B: Richtung Süd (120°–220°), Sektorbreite 100°
 Sektor C: Richtung Südwest (220°–270°), Sektorbreite 50°
 Sektor D: Richtung Nordwest (270°–330°), Sektorbreite 60°

Hinsichtlich möglicher Schadstoffeinträge über die Niederschläge sind diese 4 Sektoren wie folgt zu charakterisieren:

	Messstelle Kienhorst	Messstelle Lauchhammer
Allgemeine Charakteristik	Lage: inmitten eines großen zusammenhängenden Forstgebietes auf einer allseits waldumschlossenen Fläche. Keine Emittenten im Umkreis bis 5 km	Lage: außerhalb der geschlossenen Siedlungsbebauung im offenen ebenen Gelände; das unmittelbare Umfeld ist Ackerland.
Einzugssektor A	Rurales Umland; nächstgelegene größere Gemeinde (7 km): Joachimsthal (6.000 EW); Autobahn A 11 in ca. 10 km Entfernung; Mecklenburg-Vorpommern; Industrieraum Schwedl/O.; Ostsee; Polen	Urbanes Umland ab 250 m Entfernung; Lauchhammer, Schwarzheide, Ruhland (gesamt 39.500 EW); Industrie in 1 bis 10 km Entfernung; Autobahn A 13/stark frequentierte B 169 in Entfernung ab 8/1 km; Sanierungsbergbau; Großkraftwerke Schwarze Pumpe, Jänschwalde; Polen; Großraum Berlin
Einzugssektor B	Rurales Umland; nächstgelegene größere Gemeinde (17 km): Eberswalde (50.000 EW); Autobahn A 11, B 109, B 167, B 198 in Entfernung ab 10 km; Großraum Berlin; Industrierräume Rüdersdorf, Südbrandenburg; Sachsen; Sachsen-Anhalt; Thüringen; Polen; Tschechien	Rurales Umland, A 13/B 169 in Entfernung ab 8/1 km; nächst gelegene größere Gemeinde (10 km): Ortrand (7.600 EW); in Entfernung unter 1 km bis 10 km Tierhaltungsanlagen mit insgesamt über 10.000 Schweinen und 2.000 Rindern; Sachsen; Bayern; Baden-Württemberg; Tschechien
Einzugssektor C	Rurales Umland; nächstgelegene größere Gemeinde (20 km): Zehdenick; B 104 in Entfernung ab 4 km; Sachsen-Anhalt; Niedersachsen	Rurales Umland; nächstgelegene größere Gemeinde (14 km): Elstenwerda (11.000 EW); in 8 bis 13 km Entfernung Schweinemastanlagen mit über 21.000 Tieren; Sachsen; Sachsen-Anhalt; Thüringen
Einzugssektor D	Rurales Umland; nächstgelegene größere Gemeinde (17 km): Templin; Niedersachsen; Schleswig-Holstein; Mecklenburg-Vorpommern; Nord- und Ostsee	Rurales Umland; nächstgelegene größere Gemeinde (20 km): Bad Liebenwerda; Sachsen-Anhalt; Niedersachsen; Schleswig-Holstein; Mecklenburg-Vorpommern; Nord- und Ostsee

Die Zuordnung der Trajektorien der wöchentlichen Niederschlagsereignisse zu den 4 Einzugssektoren konnte nur approximativ erfolgen: Es wurden nur Wochenproben in die Untersuchungen einbezogen, in denen die Niederschlagshöhe 1 mm überstieg. Für die jeweilige Messwoche wurde aus Daten des Deutschen Wetterdienstes der Tag des "maximalen" Niederschlages und für diesen Tag die vorherrschende Windrichtung in 1,5 km Höhe ermittelt. Zusätzlich zur Mindestniederschlagshöhe war die Bedingung zu erfüllen, dass der „maximale“ Tagesniederschlag aus der nächstgelegenen Station des Deutschen Wetterdienstes mindestens 50 % des Wochenniederschlages an der Depositionsmessstelle umfassen musste, damit die für diesen Tag ermittelte Höhenwindrichtung als die Herkunftsrichtung für die Wochenfracht gewertet werden konnte. Diese Vorgehensweise berechtigt zu der Annahme, dass die so ermittelten „Trajektorien“ für eine erste Einschätzung der Herkunftsbereiche der Frachten nutzbar sind. Der aus dieser Methodik resultierende Stichprobenumfang in einzelnen Sektoren ist meist klein, so dass die Validität der Aussagen statistisch deutlich eingeschränkt ist.

Abgesehen von den methodischen Unzulänglichkeiten ist darauf hinzuweisen, dass die Zuordnung von Depositionen zu den Quellen grundsätzlich mit größeren Unsicherheiten behaftet ist. „Durch die Zeitspanne zwischen Emission und Deposition wird ein emittiertes Abgasvolumen u.U. weit von den Quellregionen durch Ausbreitung weggetragen und in seinen ursprünglichen Umrissen verwischt. Außerdem unterliegen die Luftverunreinigungen einer je nach Komponente verschiedenen chemischen Umwandlung. Eine genaue Zuordnung der abgelagerten Mengen zum Verursacher ist daher nicht mehr möglich“ [106]. Die nachfolgenden Aussagen können daher

nur eine erste grobe Einschätzung der Quellräume für die Niederschlagsdeposition sein.

Da die Höhe des Niederschlages für die Höhe der Frachten von großer Bedeutung ist, zeigt Abbildung 5.24 die in den einzelnen Sektoren – nach den vorstehenden Kriterien – berücksichtigungsfähigen und damit bewertbaren Niederschlagshöhen der Messstellen. Die Abbildung verdeutlicht, dass sowohl zwischen den Jahresscheiben als auch zwischen den Messstellen erhebliche Unterschiede der Niederschlagshöhe aus den einzelnen Sektoren zu verzeichnen waren.

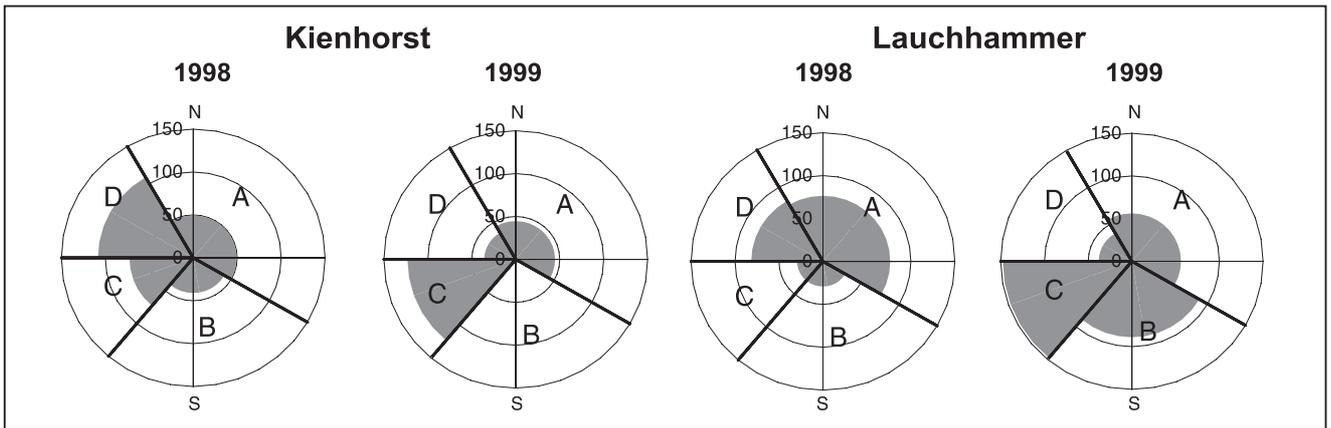


Abb. 5.24: Bewertbare sektorale Niederschlagssummen in Kienhorst und Lauchhammer 1998/99 (Angaben in mm)

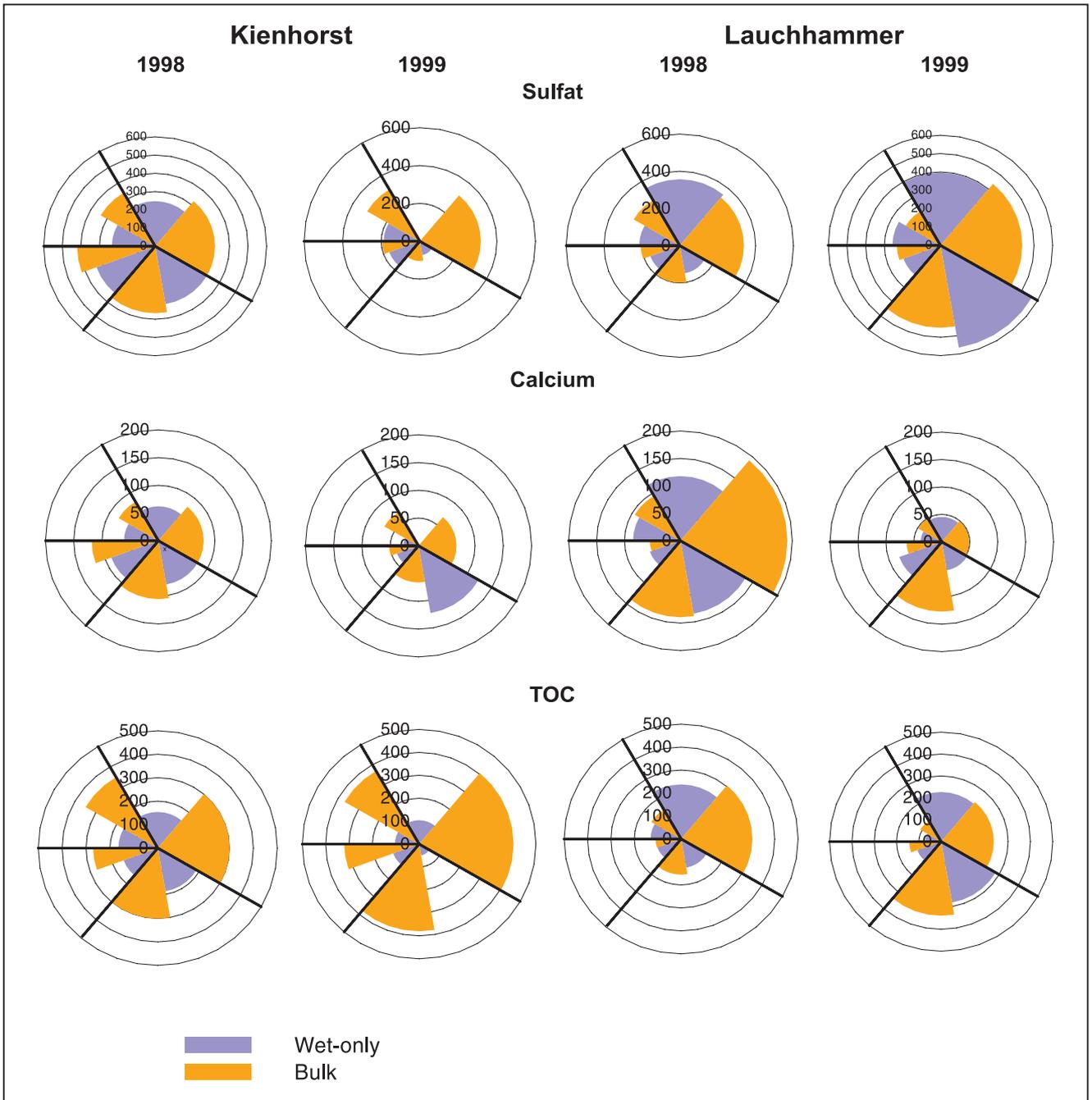


Abb. 5.25.1: Sektorale Verteilung der Niederschlagsfrachten in Kienhorst und Lauchhammer 1998/99 (Angaben in g/ha)

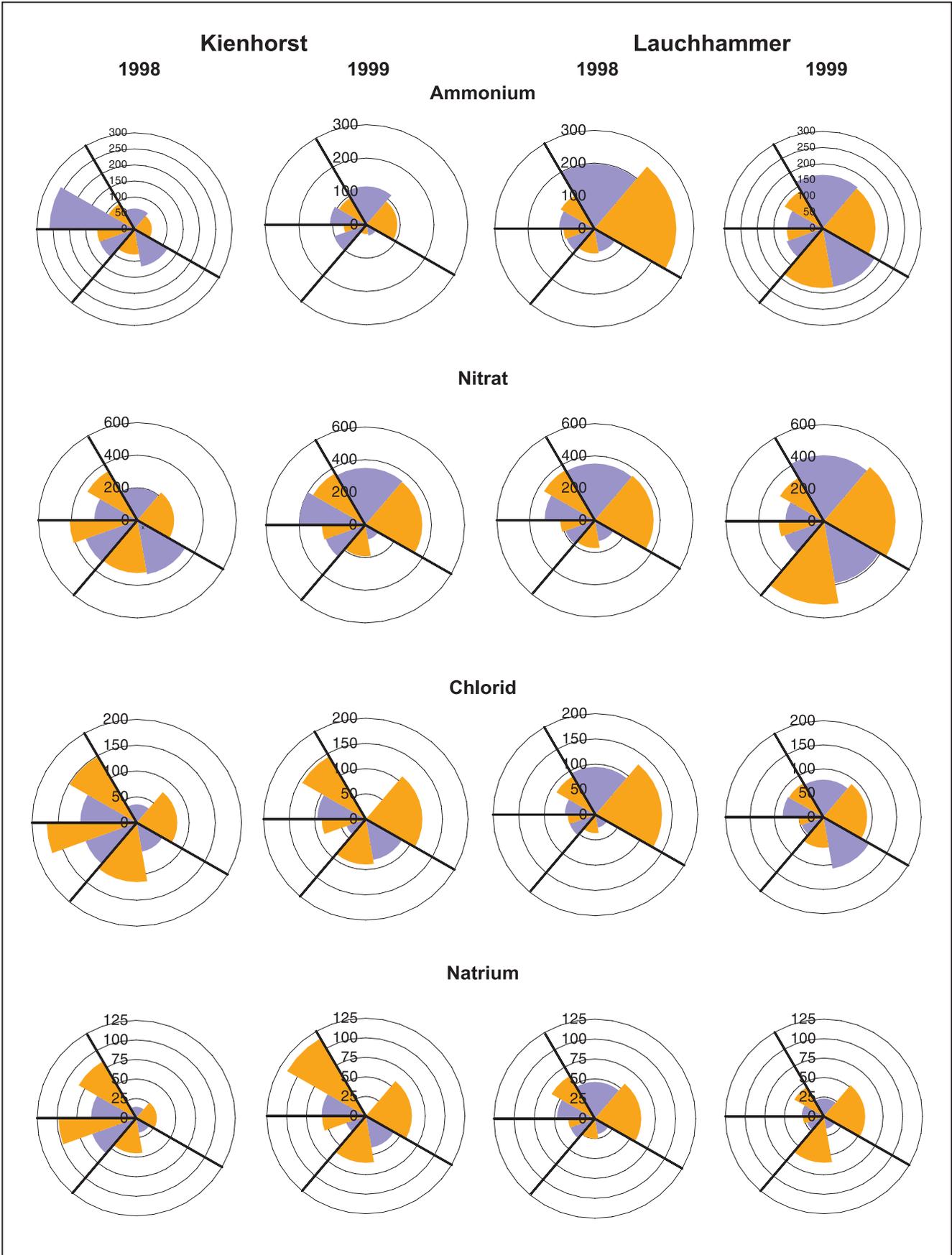


Abb. 5.25.2: Sektorale Verteilung der Niederschlagsfrachten in Kienhorst und Lauchhammer 1998/99 (Angaben in g/ha)

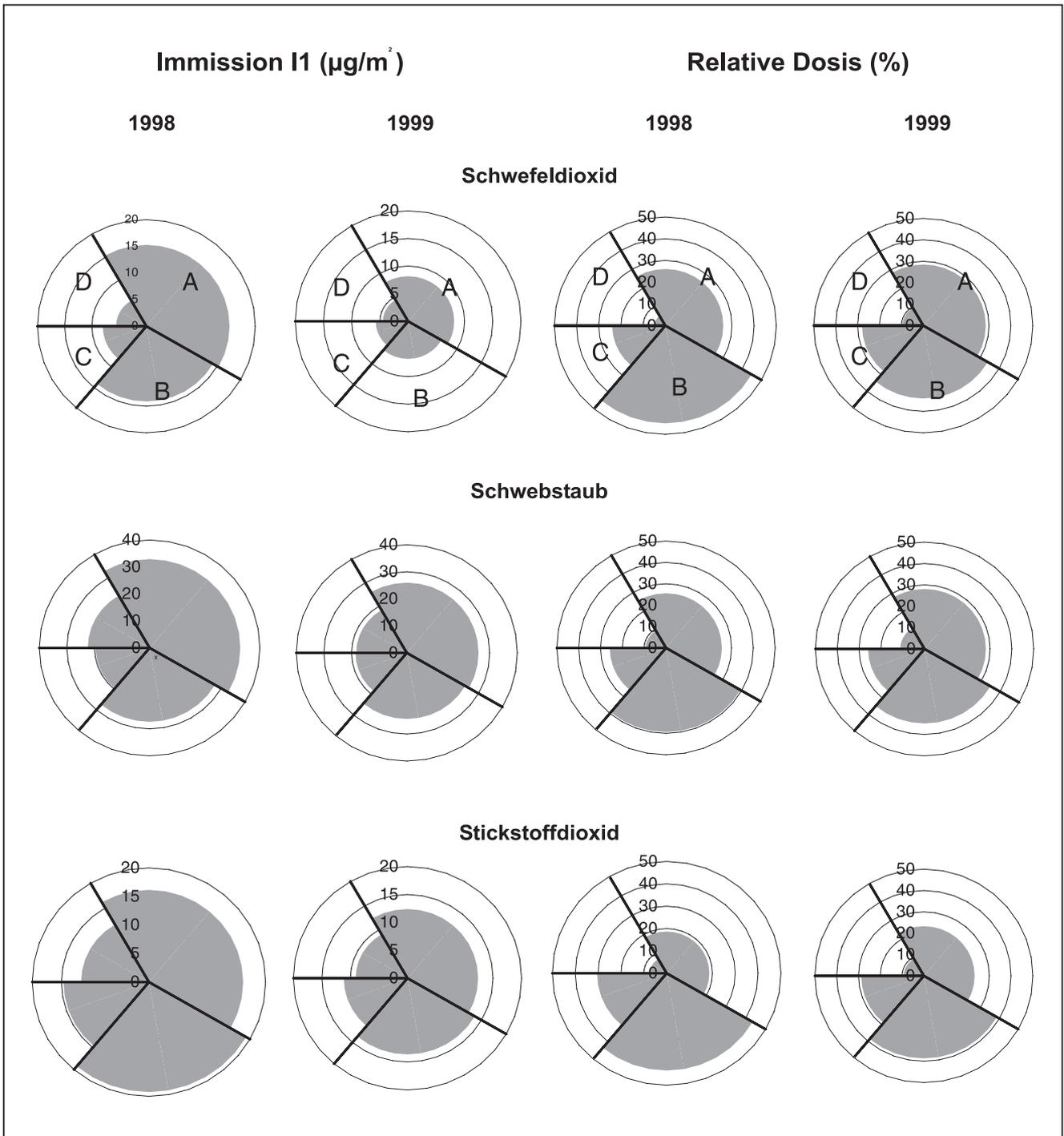


Abb. 5.26: Windrichtungsabhängige Immissionsbefunde an der Messstelle Spremberg (1998/99)

Die Herkunftssektoren der Niederschlagsfracht für einige charakteristische Stoffe zeigt Abbildung 5.25. Die tatsächliche jährliche Deposition war bei allen Stoffen etwas höher als die Summe über alle 4 Sektoren, da – wie bei der Beschreibung der Methodik dargelegt – nicht alle Niederschlagsereignisse in die sektorale Bewertung einbezogen wurden. Die Aussagen zur relativen Verteilung zwischen den 4 Sektoren erlauben trotzdem eine erste Einschätzung. Soweit nicht anders vermerkt, sind Sektoren ohne Angabe (z.B. Sulfat, Wet-only 1999 in Kienhorst) meist nicht frei von nennenswerten Depositionen gewesen; in diesen Fällen traten jedoch meist Ausreißer auf, die verworfen werden mussten.

Analog zu den Vergleichen zwischen Deposition und Immission in 5.2.1.1 wurden die sektoralen Herkunftsbereiche für SO₂, Schwebstaub und NO₂ für die zur Messstelle Lauchhammer nächstgelegene auswertbare Immissionsmessstelle Spremberg auf der Basis von Bodenwinddaten analysiert (Abb. 5.26):

- Immissionskenngröße I1 je Sektor
- Relative Dosis je Sektor (Summe der Halbstundenwerte der Immissionskonzentration im jeweiligen Sektor, bezogen auf die Gesamtsumme aller Halbstundenwerte der Immissionskonzentration über alle Sektoren (ohne Calme)).

Es wurden nur die Immissionsdaten in die Auswertung einbezogen, die in den Wochen anfielen, in denen die Depositionsdaten für die Abbildung 5.25 ausgewertet wurden.

Aufgrund der Entfernung zwischen Immissionsmessstelle und Depositionsmessstelle sind Wet-only-Befunde für den Vergleich mit Immissionsdaten besser geeignet als Bulk-Befunde. Um den Unterschied zwischen beiden zu illustrieren, werden in Abbildung 5.25 trotzdem auch die sektoralen Bulk-Kenngrößen vorgestellt.

Die **Sulfat**-Fracht zeigte an beiden Messstellen und in beiden Jahresscheiben erhebliche Anteile aus dem Sektor A, obgleich nur im Jahr 1998 und nur an der Messstelle Lauchhammer die Niederschlagshöhe in diesem Sektor vergleichsweise hoch war. Weil der Sektor A der Messstelle Kienhorst kaum erhebliche inländische Quellen erfasst und in Lauchhammer auch der Sektor B im Jahre 1999 auffällig war, ist davon auszugehen, dass Einträge in beachtenswerter Höhe aus Polen und Tschechien Brandenburg erreicht haben. Die Höhe der Frachten aus westlichen Richtungen (Sektoren C und D) resultierte aus der deutlich höheren Niederschlagshöhe; die Schadstoffkonzentration im Niederschlag war hingegen vergleichsweise klein.

1989 wurde in Wiesenburg (Fläming) im Sektor B die mit Abstand höchste sektorale Sulfat-Konzentration in Wet-only-Proben als Folge der starken Konzentration von Braunkohlekraftwerken in diesem Sektor festgestellt. Auch in Sektor C und in südöstlicher Richtung wurden 1989 durch diese Quellgruppe hohe Einträge registriert [83, 107].

Der Vergleich mit den sektoralen SO_2 -Immissionskenngrößen (Abb. 5.26) zeigt, dass die windrichtungsabhängige Verteilung der Sulfat-Deposition in Lauchhammer und die der Immissionskenngrößen für Spremberg 1999 relativ gut übereinstimmen. 1998 fanden dagegen die hohen Immissionskenngrößen im Sektor B im Niederschlag keine Entsprechung; Ursache war die geringe Niederschlagshöhe (Abb. 5.24).

Da die **Calcium**-Frachten in ihrer sektoralen Verteilung meist nicht den Sulfat-Frachten folgten, ist es unwahrscheinlich, dass die Hauptursache der sektoral überhöhten Calcium-Frachten kohlegefeuerte Kesselanlagen sind. Es muss eher angenommen werden, dass Staubquellen im Nahbereich die Calcium-Frachten bestimmten; diese Aussage wird durch einen Vergleich der Niederschlagsdeposition mit der Höhe des Staubbiederschlags an dieser Messstelle gestützt.

1989 wurden dagegen in Wiesenburg sektorale Calcium-Frachten festgestellt, deren Verteilung der sektoralen Verteilung der Sulfat-Frachten weitgehend entsprach [83, 107].

Die sektorale Verteilung der Calcium-Niederschlagsdeposition zeigte keine gute Übereinstimmung mit den Kenngrößen für die Schwebstaub-Immission an der Messstelle Spremberg. Dies ist nicht nur der Verteilung der Niederschlagshöhe geschuldet. Von Interesse sind die offensichtlichen Unterschiede der Frachten 1998 und 1999. Wie Abbildung 5.8 zeigt, war im hydrologischen Sommer 1998 die Bulk-Calcium-Fracht auffällig hoch, was die enormen Unterschiede zwischen 1998 und 1999 in Abbildung 5.25 erklärt. Am selben Ort wurde 1998 im Vergleich zu 1997 und 1999 auch der Staubbiederschlag-Jahresmittelwert auffällig hoch festgestellt. Im hydrologischen Sommer 1998 lag im Vergleich zum hydrologischen Sommer 1999 die Staubbiederschlagsbelastung eindeutig höher. Dies bestä-

tigt die Hypothese, dass die Calcium-Fracht (im Besonderen die Bulk-Fracht) vor allem aus Staubquellen im Messstellenumfeld gespeist wurde.

Die **Summe des organisch gebundenen Kohlenstoffs (TOC)** war an der Messstelle Kienhorst über alle Sektoren gleichverteilt. Auffällig ist der relativ große Unterschied zwischen Bulk und Wet-only. Die Ursache hierfür könnten Pollen und andere pflanzliche Partikel aus den umliegenden Wäldern und landwirtschaftlichen Flächen sein. Da der Eintrag organisch gebundenen Kohlenstoffs hier wesentlich durch die Vegetationsperiode bestimmt wird, ist ein Synchronismus zwischen Niederschlagshöhe und deponierter Fracht eher zufällig. Auch an der Messstelle Lauchhammer ist in den Sektoren C und D kein Zusammenhang zwischen der Niederschlagshöhe und der TOC-Fracht erkennbar. Auch hier ist von einem Anteil vegetationsbedingter Einträge auszugehen.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die **Ammonium**-Fracht der Wet-only-Proben die der Bulk-Proben teilweise sogar überschreitet. Eine Ursache dieser Besonderheit kann die höhere Nitrifikation des Ammoniums in den ungekühlten Bulk-Proben sein. Für eine Beurteilung der sektoralen Einträge sind daher die Wet-only-Frachten besser geeignet. An der Messstelle Kienhorst folgte die Ammoniumfracht in ihrer sektoralen Verteilung in etwa der Verteilung der Niederschlagshöhe. In Lauchhammer deuteten sich verstärkte Einträge aus dem Sektor A an, wobei landwirtschaftliche Quellen im weiteren Umland die maßgebliche Ursache sein könnten. Tierhaltungsanlagen (ca. 4.200 Schweine, ca. 1.300 Rinder) in unter 1 km Entfernung im Sektor B erbrachten dagegen keine deutlich erkennbaren Beiträge zur Fracht. Nach Modelluntersuchungen gelangen nur 7 % des Ammoniums unterhalb der Wolkenbasis in den Regentropfen [108]. Außerdem ist nicht auszuschließen, dass die Umwandlung von Ammoniak in Ammonium aufgrund der geringen Entfernung zwischen Quelle und Messstelle erst in geringem Umfang stattgefunden hat. An beiden Messstellen führten die größeren Regenmengen im Sektor C im Jahr 1999 nicht zu erhöhten Frachten, obgleich beispielsweise in Lauchhammer in diesem Sektor (in 8 bis 13 km Entfernung) größere Tierhaltungsanlagen angesiedelt sind.

Die sektorale Verteilung der **Nitrat**-Frachten ist – abgesehen von Kienhorst 1999 – der Verteilung der Sulfat-Frachten nicht unähnlich. Im Inland existieren im Sektor A beachtenswerte NO_x -Emittenten. Der Einfluss des Straßenverkehrs ist im Sektor B der Messstelle Lauchhammer offenkundig nicht erkennbar. Nach [108] gelangen nur 3 % des Nitrates unterhalb der Wolkenbasis in das Regenwasser. Der Vergleich der sektoralen Nitrat-Frachtverteilung in Lauchhammer mit der Verteilung der NO_2 -Immission in Spremberg zeigt keine Übereinstimmungen. Möglicherweise sind die NO_x -Messergebnisse aus Spremberg als Vergleichsgröße für die Nitratdeposition in Lauchhammer ungeeignet, da die Immissionsmessstelle sowohl durch einen größeren industriellen NO_x -Emittenten (Sektor A) als auch durch den Straßenverkehr (Sektor A) beeinflusst ist. Außerdem ist die Atmosphärenchemie der Nitratbildung aus Vorläufer-substanzen ein so vielschichtiger Prozess, dass lineare Zusammenhänge eher unwahrscheinlich sind. Trotzdem lassen Untersuchungen in Niedersachsen auf einen Zusammenhang zwischen der Bulk-Nitrat-Deposition und der NO_x -Emission schließen [109].

Von Bedeutung sind in diesem Zusammenhang auch Im- und Export von Nitrat. Für die Bundesrepublik wurde bilanziert,

dass über 50 % der Nitrat-Depositionen und ca. 30 % der NH_4 -Depositionen durch ausländische Emissionen verursacht werden [110]. Die überwiegend gute Übereinstimmung zwischen der sektoralen Verteilung der Ammonium- und der Nitratfracht (insbesondere Wet-only) macht es wahrscheinlich, dass sich ein Teil der Nitratfracht durch Nitrifikation aus Ammoniak-Emissionen rekrutiert. Für Brandenburg wird für den Zeitraum 1998/99 der Anteil der NH_4 -N-Emission an der Gesamt-N-Emission aus anorganisch gebundenem Stickstoff auf ca. 65 % geschätzt. In Niedersachsen betrug der Anteil im Zeitraum 1990/1996 ca. 57 % [109].

Chlorid und Natrium sind als Seesalzkomponenten nicht nur im Küstenbereich präsent, sondern auch in entfernteren Gebieten nachweisbar. Erwartungsgemäß stellen die Sektoren A und D die Hauptquellsektoren dar. Die größere Nähe der Messstelle Kienhorst zu den maritimen Quellen bedingte die höheren Befunde im Vergleich zu Lauchhammer. Da auch aus den seeabgewandten Sektoren beachtliche Frachten an beiden Messstellen festgestellt wurden und die Bulk-Einträge die Wet-only-Einträge teilweise stark überschritten, ist zu schlussfolgern, dass insbesondere trockene partikuläre Depositionen nichtmaritimer Genese (z.B. Salzgehalt von Braunkohlen) in beachtenswertem Umfang zur Gesamtfracht beitrugen. Die große Ähnlichkeit der regionalen Verteilung von Chlorid und Natrium belegt, dass andere Ausgangssubstanzen als NaCl (z.B. HCl) für die Chlorid-Fracht keine nennenswerte Rolle spielten.

5.2.1.4 Niederschlagsdepositionsmessungen des Umweltbundesamtes im Land Brandenburg

Durch das Umweltbundesamt (UBA) werden in Brandenburg fortlaufend seit 1992 5 Wet-only-Depositionsmessstellen betrieben. Dadurch steht auch eine über alle Regionen des Landes verteilte längere Messreihe zur Verfügung. Eine detaillierte Vorstellung der Messbefunde soll in diesem Bericht nicht erfolgen, der interessierte Leser sei auf die zahlreichen Veröffentlichungen des Umweltbundesamtes verwiesen z.B. [97, 111, 112]. Stellvertretend für die Vielzahl der vorliegenden Messergebnisse zeigt Abbildung 5.27 die langjährige Entwicklung des pH-Wertes der Wet-only-Niederschlagsdeposition.

Von den Messstellen des UBA-Messnetzes ist die Messstelle Neuglobsow als echte Background-Messstelle zu klassifizieren. Die Messstellen Doberlug-Kirchhain und Wiesenburg waren insbesondere zu Beginn des Messzeitraumes deutlich durch industriebedingte Regional- und Fernimmissionen beeinflusst. Abbildung 5.27 zeigt, dass

- im Jahr 1992 – abgesehen von der Messstelle Wiesenburg – die pH-Werte im Vergleich zur Mitte der 90er Jahre höher waren, obgleich die Säureeinträge auch an den UBA-Messstellen 1992 höher waren. Ursache der Veränderungen war auch hier der erhebliche zwischenzeitliche Rückgang des Basenbildner-Dargebotes über den Staub.
- Sich die Unterschiede zwischen den Messstellen seit Mitte der 90er Jahre weitgehend nivelliert haben.

5.2.1.5 Zusammenfassende Einschätzung der Entwicklung der Frachten im Zeitraum 1994 bis 1999

Ab 1994 wurde im Landesumweltamt mit einer wachsenden Anzahl von Messstellen die Niederschlagsdeposition gemessen.

Um die landesweite Entwicklung maßgeblicher Frachten zu demonstrieren, wurden die Jahresfrachten über alle Messstellen des UBA und des LUA gemittelt. Den Autoren ist bewusst, dass eine solche Aggregation nicht problemlos ist. Da nur eine grobe Einschätzung gegeben werden soll, und um einen größeren Stichprobenumfang als Basis zu haben, wurde diese Art der Zusammenfassung gewagt.

Da die Höhe der jährlichen Niederschlagshöhe insbesondere für die Wet-only-Frachten von erheblicher Bedeutung ist, enthält die Abbildung 5.28 auch die landesweite Spannweite der Niederschlagshöhe im Vergleich zum Klimanormal.

Die Bulk- und die Wet-only-Frachten zeigten bei Schwefel seit 1994 im Landesmittel eine weitgehend sinkende Tendenz. Das Schwefel-Belastungsniveau hatte sich gegen Ende des Untersuchungszeitraumes zwischen den Messstellen weitgehend nivelliert. Die Ca- und TOC-Wet-only- und Bulk-Frachten zeigten keine eindeutige Tendenz.

Im Bundesdurchschnitt lagen 1993 bei den nassen Depositionen die Sulfat-Schwefelfrachten bei 8,2 kg/(ha·a), die Calciumfrachten bei 4,0 kg/(ha·a) [19]. Da 1993/1994 in Brandenburg im Wesentlichen nur Hintergrundmessstellen betrieben wurden, und die Emission in diesem Zeitraum im Vergleich zur Wendezeit bereits deutlich gesunken war (vgl. Tab. 3.1), ist es nicht verwunderlich, dass zu diesem Zeitpunkt die Deposition in Brandenburg nur noch im mittleren Niveau festgestellt wurde. Beim Stickstoff war die Entwicklung durch die Niederschlagshöhe geprägt, wobei seit 1996 zwischen Wet-only- und Bulk-Fracht keine nennenswerten Unterschiede zu verzeichnen waren. Im Bundesdurchschnitt betrug 1993 die nasse Fracht anorganisch gebundenen Stickstoffs 10 kg/(ha·a) [19], d.h. die Fracht in Brandenburg war in diesem Zeitraum erwartungsgemäß relativ niedrig.

Naturgemäß wurden – von einigen Befunden abgesehen – grundsätzlich höhere Bulk- als Wet-only-Frachten ermittelt. Bei Ca und TOC waren die Differenzen am größten, was den Schluss zulässt, dass bei diesen Stoffen die partikulären Einträge besonders hoch waren.

Nach [18] lag in der Bundesrepublik 1993 die Gesamtdosition des Schwefels aus oxidierten Schwefelverbindungen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen im Mittel bei 19 kg/(ha·a), für anorganisch gebundenen Stickstoff bei 14,8 kg/(ha·a) und für Calcium bei 6,6 kg/(ha·a). Der Quotient von Gesamt- zur Nassdeposition beträgt nach [18] für

	Freiflächen	Nadelwald
S	2,3	5,2
$\text{NO}_x\text{-N}$	1,7	2,1
$\text{NH}_4\text{-N}$	1,3	2,6
Ca	1,7	2,3

5.2.1.6 Stoffeintrag in Waldökosysteme (Fallbeispiel Kienhorst)

Im Folgenden wird lediglich schlaglichtartig auf die akzeptorabhängigen Stoffeintragsraten in Waldökosystemen eingegangen; detaillierte Bewertungen wurden von der Landesforstanstalt Eberswalde (LFE) vorgenommen. Die angegebenen Frachten wurden im sogenannten Kronendurchlass ermittelt. Frachtanteile, die aus anderen Stoffströmen resultieren (z.B.

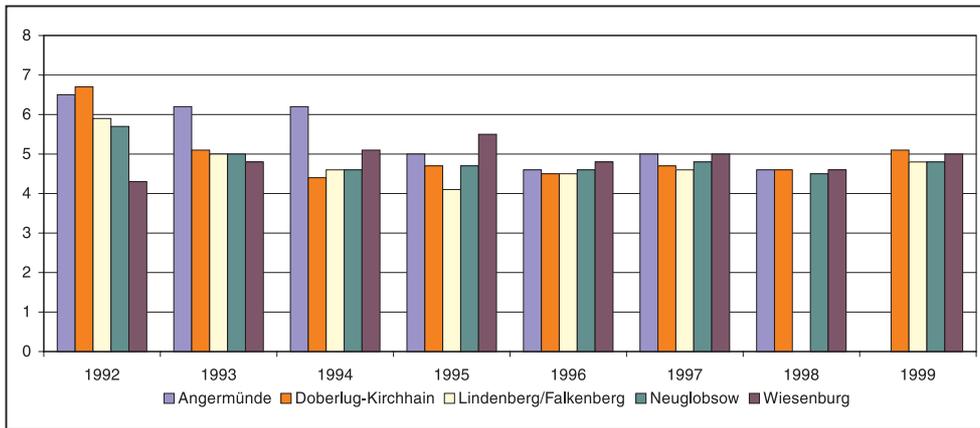


Abb. 5.27: Entwicklung des pH-Wertes (gewogener Jahresmittelwert) der Wet-only-Niederschlagsdeposition an den Messstellen des Umweltbundesamtes im Land Brandenburg

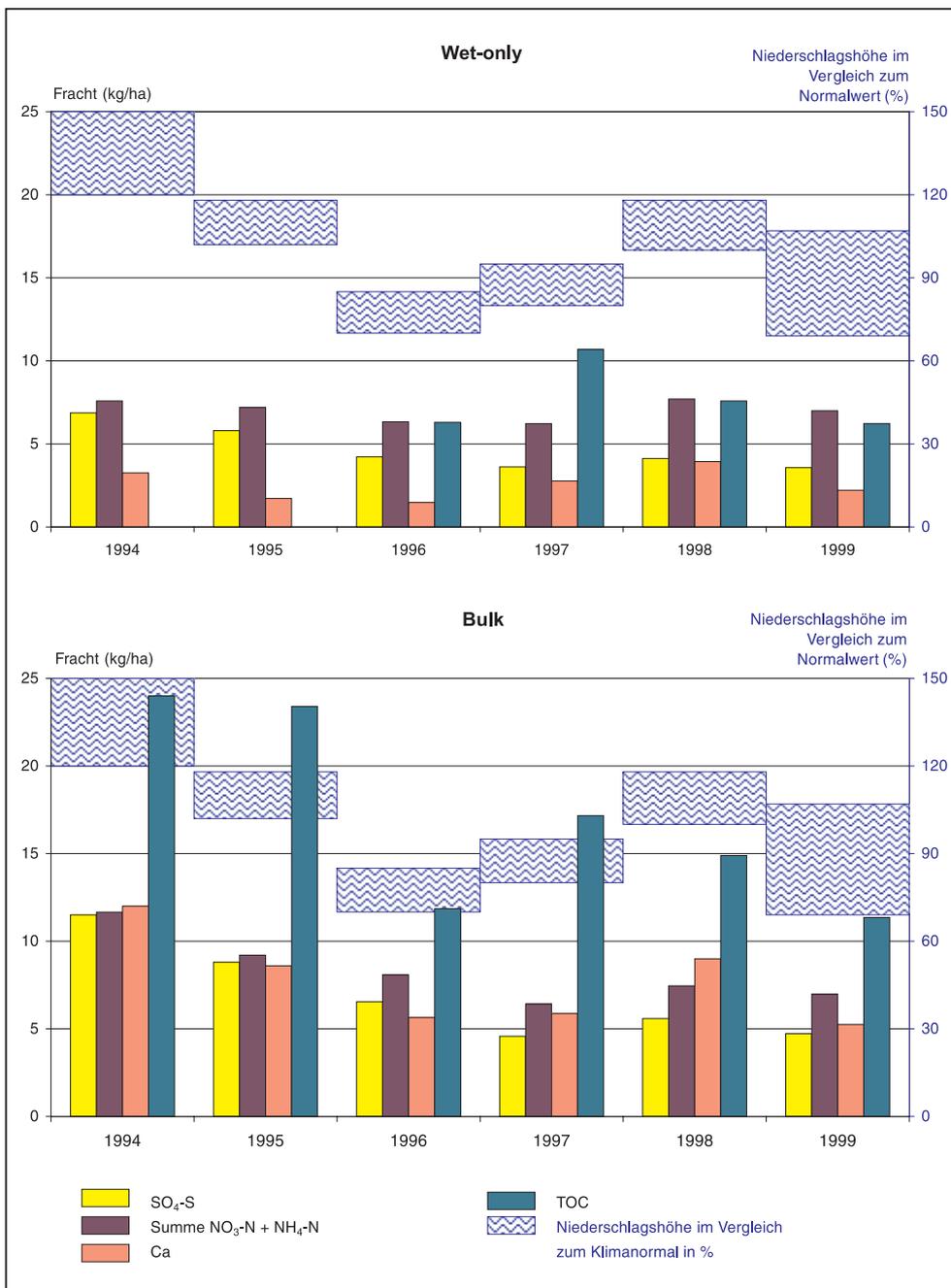


Abb. 5.28: Entwicklung der durchschnittlichen Jahresfracht aller Freiland-Depositionsmessstellen im Land Brandenburg (kg/(ha·a))

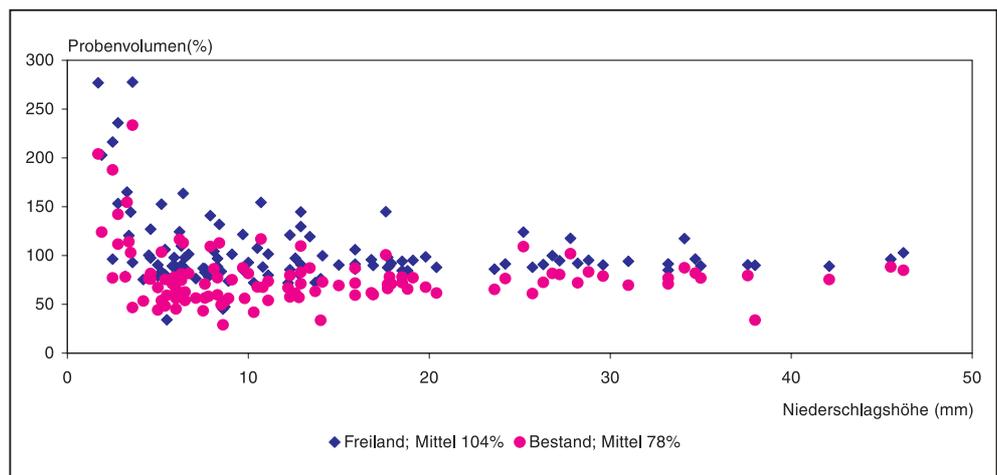
Stammabfluss, Nadelstreu, direkte Pflanzenaufnahme), sind hierbei nicht erfasst.

Die ermittelten Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe des Kronendurchlasses aller Messstellen in Kiefernbeständen sind der Tabelle A 3.5 zu entnehmen, die Frachten der Tabelle A 3.6 (Anhang).

In die Berechnung der Frachten geht das tatsächliche Probenvolumen ein, das an Freilandmessstellen in erster Näherung von der Niederschlagshöhe abgeleitet werden kann. Da jeder Typ eines Depositionssammlers eine spezifische, vom HELLMANN-Regenmesser abweichende Sammelcharakteristik aufweist und außerdem das tatsächliche Probenvolumen in ge-

wissem Umfang auch von Eigenheiten der Messstelle selbst beeinflusst wird, hat es sich als zweckmäßig erwiesen, das tatsächlich angefallene Probenvolumen mit demjenigen Volumen in Bezug zu setzen, das sich durch Berechnung aus dem Messwert des HELLMANN-Regenmessers und der Sammlerfläche ergibt („theoretisches Probenvolumen“). Über den Zeitraum von 3 Messjahren (1997–1999) wurde in Kienhorst in den Bulk-Sammlern der Freilandmessstelle Probenmaterial vorgefunden, das im Mittel 104 % des theoretischen Volumens entspricht. In den Bulk-Sammlern der Bestandsmessstelle wurden hingegen im Mittel nur 78 % vorgefunden. Abbildung 5.29 zeigt die prozentualen Anteile der tatsächlichen Probenvolumina bezüglich des „theoretischen Probenvolumens“ (= 100 %) in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge.

Abb. 5.29: Tatsächliches Probenvolumen (Angaben in % des theoretischen Probevolumens) in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe



Die Tabelle 5.4 gibt einen Überblick über die jährlichen Frachten im Kronenraumdurchlass, bezogen auf die jeweiligen Freilandfrachten. Die Stofffrachten liegen im Mittel um 50 bis 100 % über denjenigen, die im Freiland beobachtet wurden. Eine Ausnahme stellen wiederum die Stickstoffspezies dar. Es wird anscheinend nur 20 % mehr Nitrat deponiert, bei Ammonium scheinen die Verhältnisse eher bei 1:1 zu liegen. Als Ursache für dieses Paradox kommt neben mikrobiellen Umwandlungsprozessen auch die direkte Aufnahme durch die Pflanze in Betracht. Die Ermittlung von Kronenraumbilanzen für Stickstoffverbindungen ist bis heute nur unbefriedigend geklärt [113].

Tab. 5.4: Frachten der Bestandsdeposition (Kronenraumdurchlass), bezogen auf die zugehörige Freilanddeposition (Angaben in %)

	1996	1997	1998	1999
Protonenüberschuss bis pH 5,65	506	249	235	269
Protonenüberschuss bis pH 7,00	250	181	166	206
Fluorid	156	114	185	334
Chlorid	111	211	169	142
Sulfat	125	193	148	133
Natrium	117	180	160	119
Calcium	135	159	133	162
Ammonium	99	129	89	86
Nitrat	90	140	118	119
TOC	603	329	476	389

Für die Abschätzung der Wirkungen, insbesondere in Hinblick auf das Critical-Loads-Konzept, gelten alle im Abschnitt 5.2.1.3 getroffenen Aussagen. Die Sulfatfrachten überschreiten die kritische Belastungsgrenze in Hinblick auf das Schutzgut Boden (Säure-Base-Zustand im Austauscherpufferbereich, Critical

Load 3 kg/(ha·a) [114, 115]) um mehr als 100 %. Der Protoneneintrag gegenüber pH 7,0 übersteigt die Critical Loads (0,2 kg/(ha·a)) [115]) um etwa das Dreifache. Aufgrund der Bilanzierungsprobleme für Stickstoffverbindungen geht die Landesforstanstalt Eberswalde derzeit näherungsweise von Eintragsraten zwischen 15 und 25 kg N/(ha·a) aus [113]. Das entspricht einer Überschreitung im Bereich zwischen dem 3- bis 5-fachen. Anhand der Messdaten und ohne Berücksichtigung aller methodischen Probleme muss mindestens von einer Überschreitung von 100 % ausgegangen werden.

5.2.1.7 Erkennbare Wirkungen auf angrenzende Kompartimente

Böden und Sickerwasser

Aus ökologischer Sicht haben Böden, die bis in den Bereich der Aluminiumpufferung versauert sind, einen kritischen Zustand erreicht. Alle typischen Eigenschaften der Böden erfahren starke Änderungen. Die Filterfunktion der Böden wird erheblich reduziert; die Böden verlieren ihre Senkenfunktion und wirken ihrerseits als Stoffquellen, indem sie Metalle freisetzen, die mit dem Sickerwasser in die Tiefe verlagert werden. Langjährige Untersuchungen an Waldböden und an Gewässern zeigten, dass in den letzten Jahren immissionsbedingte Boden- und Gewässerversauerungen an vielen Standorten in der Bundesrepublik Deutschland eingetreten sind.

Kenntnisse über die Höhe des Protoneneintrages sind nicht annähernd hinreichend, um die daraus resultierende Versauerung des Bodens oder des Grundwassers ableiten zu können. Beispielweise ergaben Bodenuntersuchungen im Zeitraum 1993/1995, dass in Neuglobsow die Humusaufgabe vergleichs-

weise schon sehr stark versauert war, obgleich selbst in den Jahren vor und während der Wende die Schwefeleinträge vergleichsweise moderat waren. Eine Kompensation der Säureinträge – insbesondere durch trockene basische Staubbestandteile – fand hier jedoch kaum statt, so dass es zu unerwartet hoher Versauerung kam [116].

Versauerungserscheinungen sind aber auch nicht allein als Folge atmosphärischer Stoffeinträge interpretierbar. Als weiterer Ursachenkomplex kommt z.B. die Nitrifizierung von dreiwertigem Stickstoff (Ammoniak, Ammonium, organische Bindungsformen) insbesondere auf landwirtschaftlichen Nutzflächen in Betracht. Versauerungswirkungen werden im Grundwasser beobachtet, wenn die Deckschichten sowie der Aquifer nicht mehr in der Lage sind, die eingetragenen Säurefrachten durch systeminterne Pufferreaktionen zu kompensieren. Für das Eintreten von Grundwasserversauerungen kommen ferner Milieuwechsel infolge wasserhaushaltlicher Eingriffe (z.B. Belüftung anoxischer Bereiche nach Grundwasserabsenkungen) sowie bergbauliche Folgeerscheinungen in Frage. Somit wird sowohl bei den Versauerungsfolgen in den Böden als auch beim Grundwasser zwischen den entsprechenden Ursachenkomplexen zu unterscheiden sein.

Ein Beschreibungsansatz für die Versauerungsgefährdung bestand in der Klassifizierung der Bodenarten anhand der Bodenkarte des Atlas der DDR 1:750 000, bei der die Merkmale

Basensättigung (BS) und Kationenaustauschkapazität (KAK) herangezogen worden sind [117]. Für das Land Brandenburg ergibt sich nach dieser Methodik, dass die Böden auf mehr als 50 % der Landesfläche ein ungenügendes bzw. nahezu kein Puffervermögen aufweisen [118]. Tabelle 5.5 gibt einen Überblick der Verhältnisse im Land Brandenburg.

Im Rahmen der forstlichen Bodenzustandserhebungen wurde, bezogen auf die Humusaufgabe, ein signifikanter Rückgang der sogenannten „Aufbasungsgebiete“ – Gebiete, in denen anthropogene Einträge basischer Stoffe zu einem erhöhten Basenvorrat geführt haben – ausgewiesen [119]. Es wurde eingeschätzt, dass lediglich die „Aufbasungen“ im Raum Rüdersdorf noch für einige Zeit Bestand haben werden, während die Verbreitungsgebiete in den südlichen Landesteilen rasch zurückgehen. Der Flächenanteil von Mineralböden mit sehr niedrigen Basensättigungszuständen wird mit fast 50 % angegeben. Diese Bewertung deckt sich gut mit den Resultaten der Bodenartenklassifizierung (Tab. 5.5).

Es muss damit gerechnet werden, dass mit dem Sickerwasser eine Auswaschung freier Aluminiumionen erfolgt. Eine Mobilisierung von Schwermetallen kann nicht ausgeschlossen werden. Das Auftreten versauerter Grundwässer ist hingegen noch von hydrodynamischen und weiteren geochemischen Randbedingungen (insbesondere Redoxmilieu) abhängig.

Klasse	Pufferung	KAK (meq/100 g)	BS (%)	Verbreitung im Land Brandenburg	Flächenanteil (%)
1	Sehr gut	>15	>90	-	0
2	gut	>15	80-90	-	0
3	Ausreichend	>10	60-80	Niedriger Fläming, Niederlausitzer Grenzwall, Uckermark	3,8
4	Mittel	>10	40-60	Uckermark, Havelland, Prignitz	4,1
5	Schwach	>10	20-40	Hoher Fläming, Ost- und Nordostbrandenburg	41,1
6	Ungenügend	>10	10-20	Zentral- und Südbrandenburg	50,0
7	Nahezu keine	>10	<10	Niederlausitzer Grenzwall	1,0

Tab. 5.5: Geochemische Klassen der Böden des Landes Brandenburg

Grundwasser

Die hydrogeologischen Bedingungen im Land Brandenburg sind durch eiszeitliche Bildungen geprägt. Es dominieren basenarme Lockergesteine. Die Grundwässer in den zentralen und südlichen Landesteilen kommen häufig in unbedeckten Lagerungspositionen vor, sind infolgedessen besonders Neubildungsfreundlich, aber auch entsprechend versauerungsempfindlich. Ergebnisse aus dem Grundwassermonitoring deuten darauf hin, dass auch im Land Brandenburg tiefgründige Versauerungserscheinungen angetroffen werden. Vereinzelt wurde bereits der Trinkwassergrenzwert für Aluminium von 0,2 mg/l überschritten. Offenbar sind in weitaus stärkerem Maße als ursprünglich angenommen Schichtungsphänomene im Aquifer zu berücksichtigen. Abgesehen von der Tatsache, dass der fallkonkrete Beweis der jeweils dominierenden Versauerungsursache noch aussteht, kann bereits mit hinreichender Sicherheit davon ausgegangen werden, dass

- insbesondere in den Randlagen von Sanderhochflächen,
- in den altpleistozänen Grundwasserleitern mit ausgeprägter Grundwasserneubildungsdynamik sowie
- unter bewaldeten Einzugsgebieten

mit dem Auftreten versauerter Grundwässer gerechnet werden muss.

Pflanzengesellschaften

Es konnte gezeigt werden, dass im Verlaufe der letzten zehn Jahre sowohl das Stoffinventar der Niederschläge (Wechsel vom schwefelbetonten zum stickstoffbetonten Typ) als auch die Eintragsraten erheblichen Veränderungen unterworfen waren. Somit war anzunehmen, dass insbesondere auf den besonders substratarmen Trockenrasenstandorten rasche Verschiebungen im Artenspektrum auftreten könnten. Entsprechende Nachweise scheitern in der Regel an dem Umstand, dass es praktisch keine Untersuchungsergebnisse aus den 80er Jahren gibt, die so weit dokumentiert wären, dass systematische Folgeuntersuchungen ermöglicht würden. Beobachtbare Veränderungen werden in der Regel veränderten Nutzungsarten und damit Veränderungen der Konkurrenzbedingungen für unterschiedliche Arten zugeschrieben (z.B. Beweidung im Gegensatz zu maschineller Mahd). Zu ähnlichen Schlüssen gelangten die Level-II-Untersuchungen im Land Brandenburg, in denen nachgewiesen worden ist, dass sich die Artenverteilung der Bodenpflanzendecke in erster Linie nach den Konkurrenzbedingungen (hier: Wildverbiss) einstellt und derzeit keine Dominanz abiotischer Faktoren nachgewiesen werden kann [120]. Auf den offenen Sandheiden (z.B. ehemalige Truppenübungsplätze) findet gegenwärtig eine rasche Sukzession höherer Arten statt. An 7 Heidestandorten in Schleswig-Holstein sind starke Stickstoffanreicherungen im Oberboden nachgewiesen worden [121],

was als Hauptursache für die Vergrasung von Heidegesellschaften zuungunsten von *Calluna vulgaris* und anderen unter Stickstoffmangelsituationen konkurrenzfähigen Arten gesehen wird [122]. Für die Heidelandschaften im Land Brandenburg besteht diesbezüglich noch Untersuchungsbedarf.

5.2.2 Spurenelemente

5.2.2.1 Auswertung repräsentativer Befunde

Metalle und das Halbmetall Arsen können auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen toxisch wirken; daher ist deren Untersuchung in den Niederschlagsdepositionen von umwelthygienischem und ökologischem Interesse. Als ökologisch bedeutsam gelten Be, Cr, Co, Ni, Zn, Mo, Cd, Sn, Tl und Pb. Aber auch die nur in geringen Mengen essenziellen metallischen Spurennährstoffe können bereits bei geringem Überschuss toxisch wirken [123]. Als Mindestanforderung an landesweite Wirkungsmessnetze oder Dauerbelastungsmessstationen wird daher die Untersuchung von Pb, Cd, As, Zn, Ti, Cu, Cr, V und Sb gefordert [124].

Alle vorliegenden Messergebnisse werden alljährlich in den Luftqualitätsberichten [3] veröffentlicht. Im vorliegenden Bericht werden aus dem Messnetz des LUA nur die Ergebnisse mit großer zeitlicher und räumlicher Repräsentativität vorgestellt (Anhang 4). Aus dem Messnetz des UBA werden alle verfügbaren Wet-only-Frachten für den Zeitraum 1994 bis 1999 [112] in Tabelle A. 4.4 wiedergegeben. Da insbesondere für ökologische Fragestellungen die Frachten bedeutungsvoll sind, werden diese im vorliegenden Bericht vorgestellt. Die Tabellen A. 4.1 bis A. 4.3 zeigen messstellenspezifisch die Frachten für die Jahre 1996 bis 1999. Nur die Daten aus dem Messnetz des LUA werden einer detaillierten Auswertung unterzogen. Da die Daten auch für Fragen des Gewässerschutzes nutzbar sein sollen, werden diese für das Kalenderjahr (KJ), das hydrologische Jahr (HJ), den hydrologischen Sommer (HS) und den hydrologischen Winter (HW) getrennt angegeben.

Die ausgewiesenen Frachten sind ausfallkorrigiert:

- Bulk-Frachten durch Hochrechnung der mittleren Fracht für die Zeiträume mit auswertbaren Proben auf 365 Tage und
- Wet-only-Frachten durch Hochrechnung der mittleren Fracht für die analysierten Niederschläge auf die tatsächliche Niederschlagshöhe.

Niederschlagsdepositionen sind von größerer regionaler Repräsentativität als die Staubniederschlagsbefunde. Deshalb wird in begrenztem Umfang – trotz des wesentlich geringeren Messstellenumfanges – die für den Staubniederschlag gewählte regionale Auswertung auch hier angewandt. Für die Region Havelland-Fläming (4) liegen keine im obigen Sinn repräsentativen Befunde aus dem Messnetz des LUA vor. Die Messstelle Neusorgefeld (Region 3) liegt nahe der Grenze zur Region 4 und die UBA-Messstelle Wiesenburg liegt in der Region 4.

Es sei an dieser Stelle daran erinnert, dass methodisch bedingt die Niederschlagsfracht nur die in der wässrigen Phase löslichkeitsverfügbaren Stoffe erfasst, nicht jedoch den Gesamtgehalt des jeweiligen Elementes (vgl. 2.3). Die Bulk-Proben werden im Unterschied zu den Wet-only-Proben vor der Analytik gefiltert.

Zn, Ni, Cr, Co und mit Einschränkung Mn liegen nach [125, 126] im Luftstaub meist in schwach löslichen Bindungsformen vor; hier ist der Gesamtgehalt der Elemente im Allgemeinen höher als es die Analyse der löslichkeitsverfügbaren Anteile ausweist. Dagegen liegen Pb, As (in niedriger Konzentration) und Cd zumeist in Bindungsformen vor, die in höherem Maße löslichkeitsverfügbar sind. Nach [123] werden die Metalle Cd, Pb, Cu und Zn – abgesehen von emittentennahen Standorten – vor allem durch nasse Depositionen abgelagert. Dabei liegen ca. 90 % dieser Depositionen gelöst vor. Die Literaturaussagen zur Löslichkeit atmogener Metallverbindungen sind widersprüchlich, weil die Art der Quellen für das Spektrum der jeweiligen Bindungsform von großer Bedeutung ist.

Da die in diesem Kapitel vorgestellten Wet-only-Befunde mit wesentlich weniger Messstellen ermittelt wurden als die Bulk-Befunde, können aus dem Verhältnis beider Befundgruppen keine grundsätzlichen Aussagen abgeleitet werden. Solche Aussagen sind nur anhand der beiden Befunddaten an der selben Messstelle möglich. Es besteht bei der Bulk-Probenahme grundsätzlich das Risiko von Minderbefunden infolge einmonatiger Probenahmezeit (Überlaufen des Gefäßes bei großer Niederschlagshöhe, Auswehungen von deponiertem Material bei Austrocknung).

Zur Bewertung der festgestellten Spurenelementfrachten werden nachfolgend die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) [8] herangezogen. Auch wenn für diese Werte nach Anlage 2, Punkt 5 keine analytischen Randbedingungen *expressis verbis* genannt sind, muss in Anlehnung an Punkt 4 der Anlage 2 (Vorsorgewerte für Böden) angenommen werden, dass der Königswasseraufschluss vorausgesetzt wird. Wenn numerisch die im vorliegenden Bericht ermittelten Frachten geringfügig unter der zulässigen jährlichen Fracht liegen, ist somit davon auszugehen, dass in Wirklichkeit die zulässige Fracht überschritten ist.

Als eine zweite Bewertungsgröße wird die Größenordnung der Spurenelementkonzentration im Vergleich zu den Normal-Anforderungen für die Trinkwassergewinnung mit natürlichen Verfahren aus Oberflächengewässer gemäß Arbeitsblatt W 251 des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern e.V. (in [127]) herangezogen. Im Arbeitsblatt werden auch Mindest-Anforderungen genannt, deren Konzentrationen bis zu einer Größenordnung über den Normal-Anforderungen liegen.

Arsen

Nach der BBodSchV wird die zusätzliche jährliche Fracht über alle Wirkungspfade auf 6 g/(ha·a) begrenzt. Der Vergleich mit den Bulk-Niederschlagsfrachten nach Tabelle A. 4.1 zeigt, dass selbst 1999 dieses Limit durch den Luftpfad vielfach um mehr als die Hälfte ausgeschöpft wurde. Abbildung 5.30 zeigt, dass im Mittel aller Regionen 1999 nur noch 55 % der Arsen-Fracht des Jahres 1996 erreicht wurden.

1996 und 1997 wurde die As-Limitierung in Neusorgefeld (Landkreis Dahme-Spreewald) allein durch Einträge über den Luftpfad überschritten. Erst 1999 wurde an allen Messstellen eine deutliche Senkung der Arsen-Fracht festgestellt. Im Landesmittel zeigte sich spätestens seit 1996 eine Frachtreduzierung.

Die Arsen-Konzentrationen (Bulk) bewegten sich 1999 im Jahresmittel zwischen 0,4 und 0,9 µg/l; die Höchstkonzentrationen

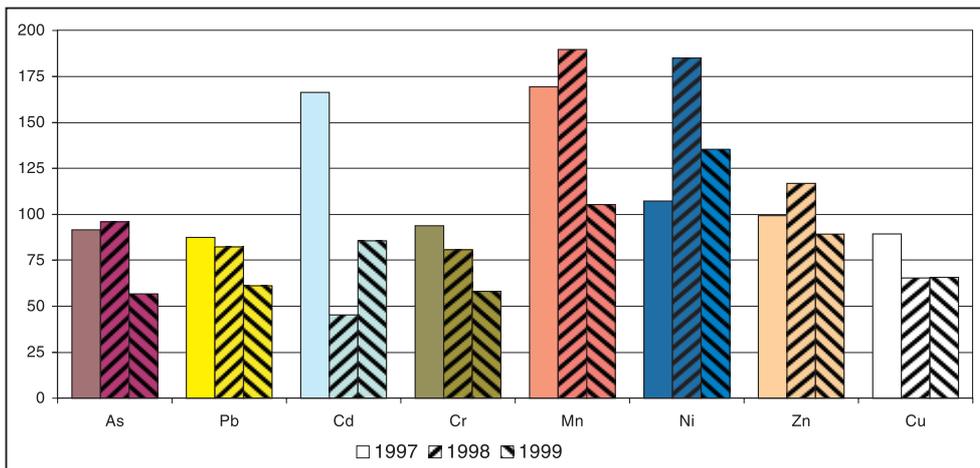


Abb. 5.30: Entwicklung der Bulk-Niederschlagsfrachten (arithmetisches Mittel aller Messstellen des Landes Brandenburg) bezogen auf 1996 (100 %)

im Wasser für die Trinkwassergewinnung werden mit 5 µg/l angegeben [127]. Lediglich in den Jahren vor 1998 wurde in der Region 3 im Vergleich zu den anderen Regionen eine Überhöhung der Bulk-Fracht festgestellt (Abb. 5.31), ansonsten waren keine nennenswerten Belastungsunterschiede zwischen den Regionen zu verzeichnen. Die teilweise Überhöhung der Wet-only-Fracht im Vergleich zur Bulk-Fracht ist weder mit analytischen Streuungen infolge Nähe der Befunde zur Nachweisgrenze noch mit der unterschiedlichen Ausfallkorrektur oder mit anderen Ursachen erklärbar.

Blei

Nach der BBodSchV ist die zusätzliche jährliche Fracht über alle Wirkungspfade auf 400 g/(ha*a) begrenzt. Dieses Limit wurde durch Einträge über den Depositionspfad selbst 1996 nur zu etwa 20 % ausgeschöpft, 1999 nur zu reichlich 5 %. Die Blei-Konzentration (Bulk) lag 1996 im Bereich 5 bis 7 µg/l (gewogener Jahresmittelwert) und 1999 im Bereich 3 bis 4 µg/l und somit unter der zulässigen Höchstkonzentration für die Trinkwassergewinnung (10 µg/l).

In Hessen reduzierte sich die Blei-Fracht im Landesmittel von 247 g/ha im Jahr 1984 auf 9,1 g/ha im Jahr 1997 (örtliche Schwankungsbreite 3,4 bis 20,6 g/ha) [128]. Die Fracht zeigte seit Mitte der 90er Jahre im Landesmittel eine sinkende Tendenz (Abb. 5.30, Tab. A. 4.1), was insbesondere auf den Wechsel zu bleifreien Kraftstoffen und auf die Reduzierung industrieller Emissionen in Europa zurückzuführen ist. Die mittlere Jahreskonzentration der Bulk-Messstellen Deuselbach und Waldhof sowie der Wet-only-Messstellen Westerland und Zingst des UBA (nachfolgend UBA-Messstellen genannt) lag in folgendem Niveau (Angaben in µg/l) [111]:

Jahr	Bulk	Wet-only
1989	8	-
1996	4	2
1999	2,5	1,2

An den UBA-Screening-Messstellen im Land Brandenburg wurden 1999 Pb-Jahresmittel-Konzentrationen (Wet-only) zwischen 1,3 und 2,0 µg/l gemessen [112]. Die an den UBA-Messstellen in Brandenburg ermittelten Wet-only-Frachten lagen aber noch unter den ausfallkorrigierten Messwerten des Landes Brandenburg; möglicherweise sind diese Unterschiede methodisch bedingt.

DÄMMGEN et al. untersuchten 1996 in der Region 1 an 8 Bulk-Messstellen die Schwermetall-Niederschlagsdeposition. Eine dieser Messstellen (Hubertusstock) lag nur 7 km südlich der LUA-Messstelle Kienhorst. Die Blei-Frachten wurden zwischen 22 und 31 g/(ha*a), im Mittel mit 27 g/(ha*a) festgestellt [129]. Die Fracht an der Messstelle Hubertusstock wurde zu 25 g/(ha*a) bestimmt, an der Messstelle Kienhorst zu 23 g/(ha*a).

Wie Abbildung 5.32 zeigt, gab es bis 1997 noch bemerkenswerte regionale Unterschiede der Bleibelastung, die aber 1999 praktisch verschwunden waren.

Cadmium

Nach der BBodSchV wird die Cadmium-Fracht auf 6 g/(ha*a) begrenzt. Zur Trinkwassergewinnung darf das Oberflächenwasser 1µg Cd/l enthalten. Die Jahresmittelwerte der Cadmium-Fracht lagen in Brandenburg zwischen 0,3 und 2,5 g/(ha*a). Ein eindeutiger zeitlicher Belastungstrend ist seit 1996 nicht festgestellt worden (Abb. 5.30). Dabei ist anzumerken, dass eine größere Messunsicherheit dadurch gegeben ist, dass ein Teil des Gesamtstichprobenumfanges im Bereich der Nachweisgrenze analysiert wurde. In Hessen wurden im Landesmittel 1984 3,8 g/(ha*a) und 1997 0,64 g/(ha*a) (örtliche Schwankungsbreite 0,35 g/(ha*a) – 1,2 g/(ha*a)) [128] festgestellt. Die Cadmium-Konzentrationen (Bulk) betragen 1996 0,1–0,3 µg/l (Jahresmittel) und 1999 0,05–0,2 µg/l. Die mittlere Jahreskonzentration der UBA-Messstellen lag in folgenden Bereichen (Angaben in µg/l) [111]:

Jahr	Bulk	Wet-only
1989	0,4 - 0,6	-
1996	0,2 - 0,35	0,1
1999	0,1	0,05

An den UBA-Screening-Messstellen (Wet-only) in Brandenburg wurden 1999 0,05 bis 0,13 µg/l Cadmium als Jahresmittelwerte gemessen [112].

Bundesweite Vergleiche zur „Bulk-Deposition bzw. im Staubniederschlag“ (ohne Angabe der methodischen und analytischen Randbedingungen) zeigen, dass Brandenburg im Vergleich zu den angrenzenden Bundesländern im Zeitraum

- 1993 bis 1995 abgesehen von Mecklenburg-Vorpommern (etwas niedrigeres Belastungsniveau) im Mittel niedrigen Frachten ausgesetzt war und
- 1996 bis 1998 abgesehen von Sachsen (etwas höheres Belastungsniveau) im Mittel keine erheblichen Niveauunterschiede aufwies [130].

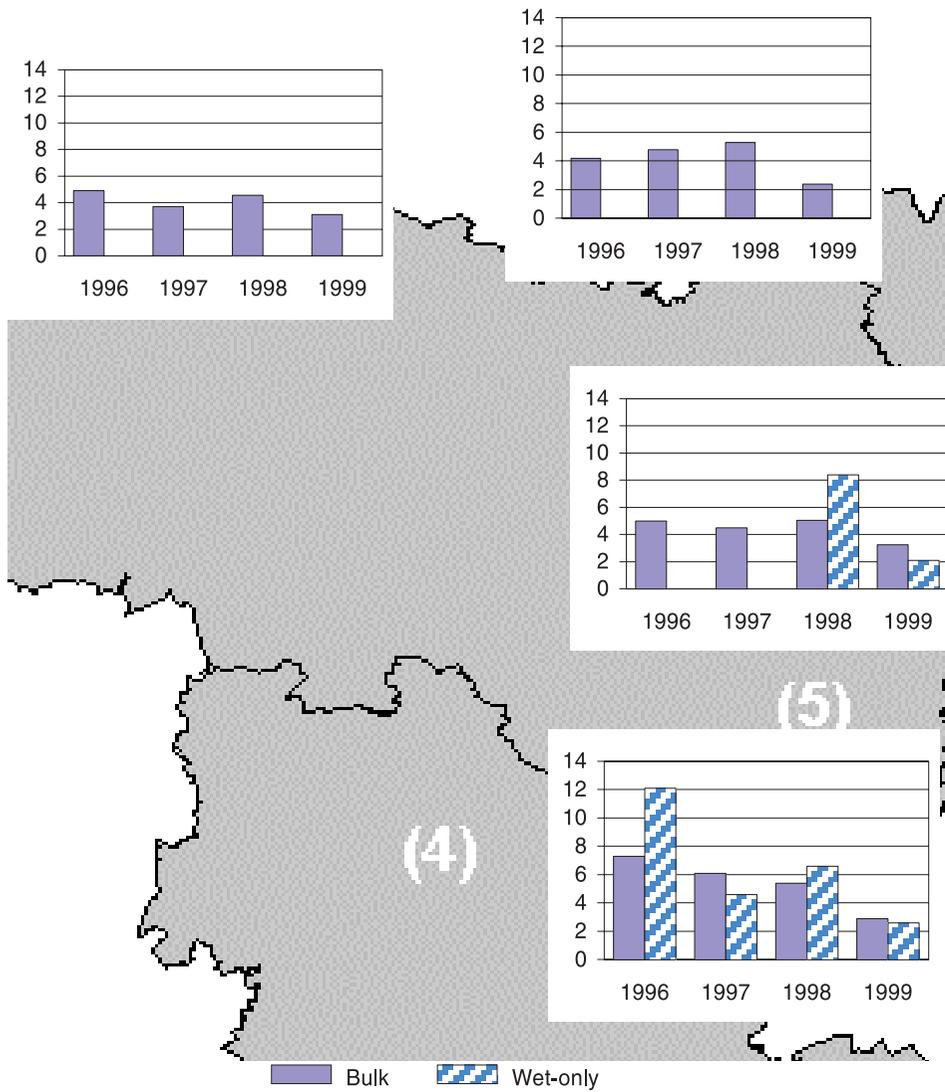


Abb. 5.31: Mittlere jährliche Arsen-Fracht (g/(ha*a)) im Zeitraum 1996–1999 in den Regionen des Landes Brandenburg

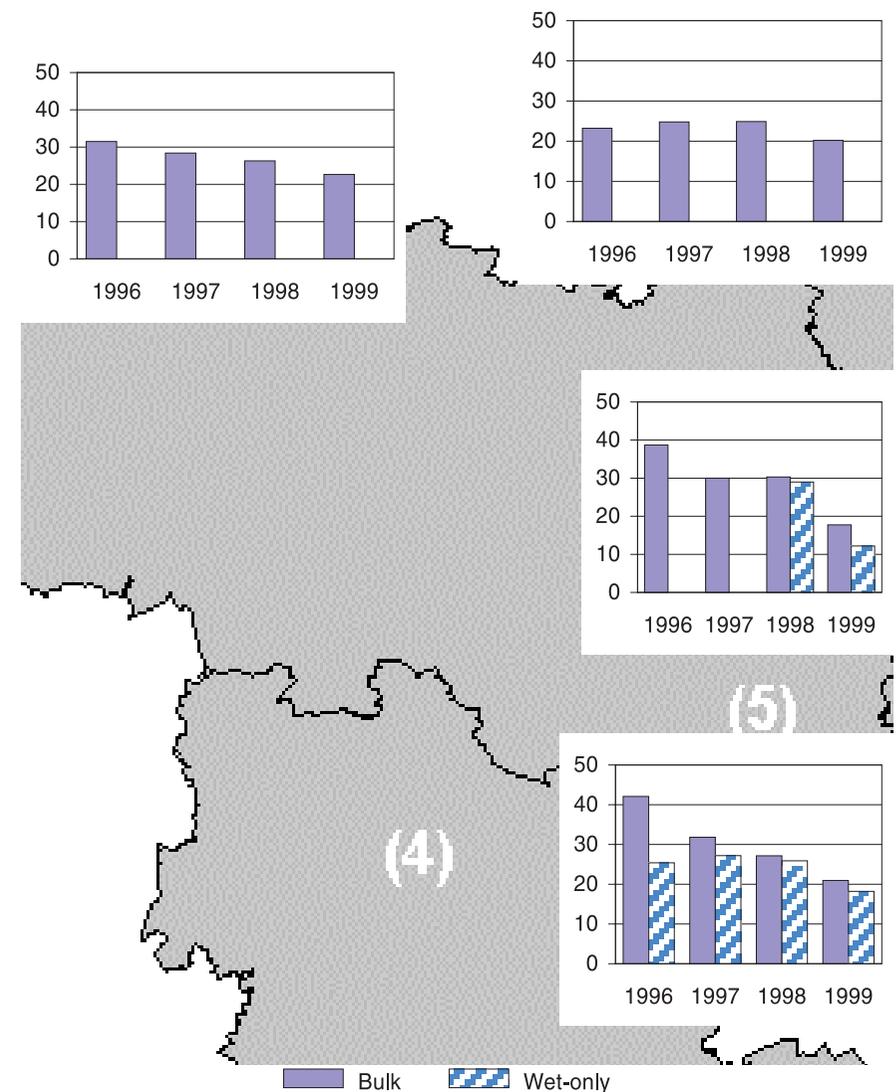


Abb. 5.32: Mittlere jährliche Blei-Fracht (g/(ha*a)) im Zeitraum 1996–1999 in den Regionen des Landes Brandenburg

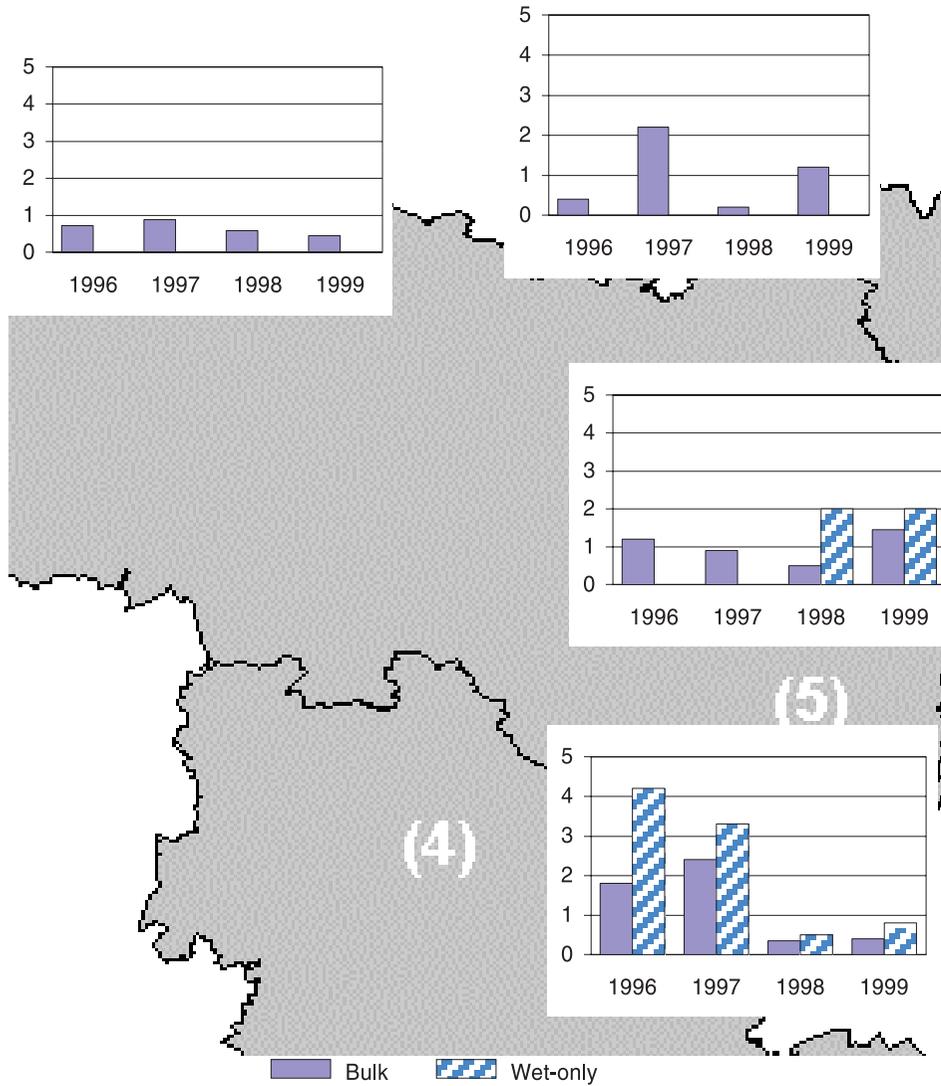


Abb. 5.33: Mittlere jährliche Cadmium-Fracht (g/(ha*a)) im Zeitraum 1996–1999 in den Regionen des Landes Brandenburg

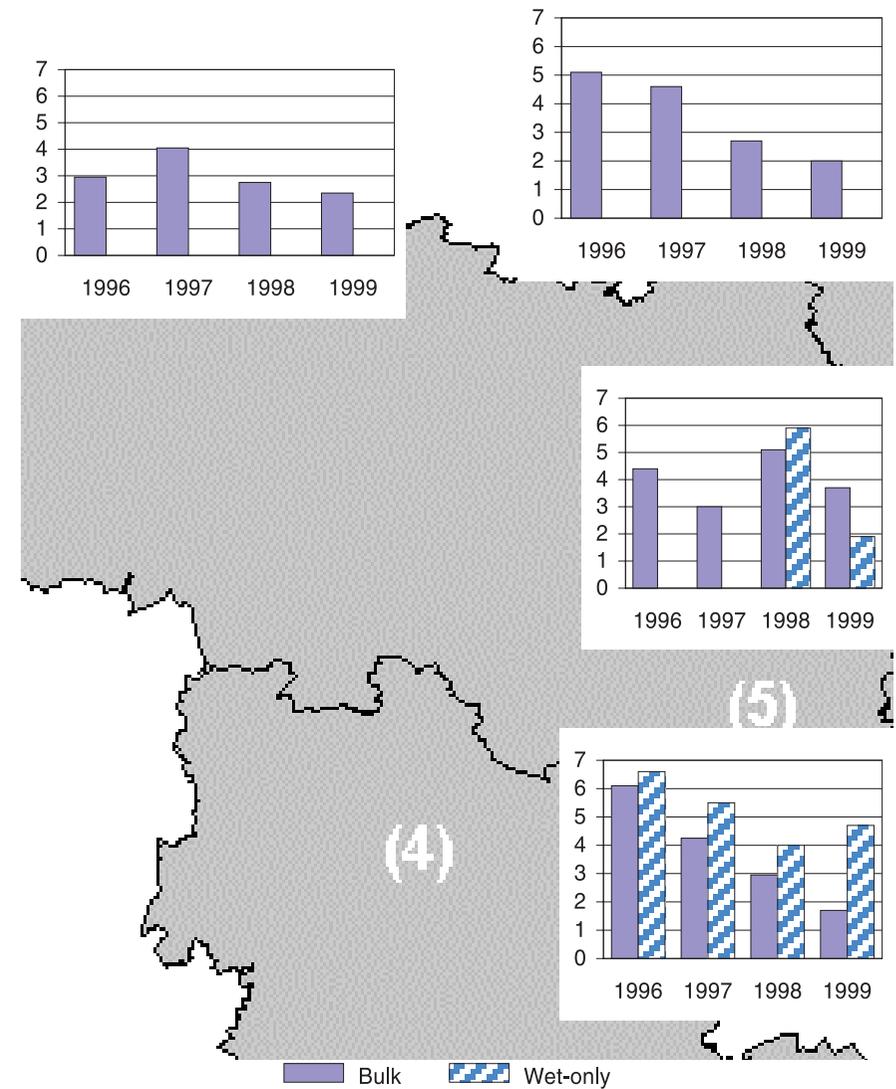


Abb. 5.34: Mittlere jährliche Chrom-Fracht (g/(ha*a)) im Zeitraum 1996–1999 in den Regionen des Landes Brandenburg

Die streuenden Jahresmittelwerte an den LUA-Messstellen und die höheren Wet-only-Befunde im Vergleich zu den Bulk-Befunden dürften den erwähnten Messunsicherheiten und der unterschiedlichen Methodik bei der Ausfallkorrektur geschuldet sein.

DÄMMGEN ET AL. ermittelten 1996 in der Region 1 Bulk-Cadmium-Frachten zwischen 0,7 und 1,1 g/(ha·a), im Mittel 0,8 g/(ha·a) [129], an der Messstelle Hubertusstock 0,7 g/(ha·a) und an der LUA-Messstelle Kienhorst 0,4 g/(ha·a).

Der Anstieg im Jahr 1999 in der Region 2 ist auf eine Belastungssteigerung auf das 6-fache an der Messstelle Lebus im Vergleich zum Vorjahr zurückzuführen. Eine Erklärung kann dafür nicht gegeben werden. Die Messstelle zeigte auch bei anderen Elementen sehr hohe Frachten und teilweise große jährliche Belastungssprünge.

Chrom

Nach der BBodSchV beträgt die zulässige jährliche Fracht über alle Wirkungspfade 300 g/(ha·a). Zur Trinkwassergewinnung darf das Oberflächenwasser 30 µg Chrom/l enthalten.

Die Begrenzung der Jahresfracht wurde in Brandenburg um etwa 2 Größenordnungen unterschritten. Beim Chrom ist nur im Landesmittel ein klar abnehmender zeitlicher Trend erkennbar (Abb. 5.30), in der regionalen Aufgliederung ist er nur teilweise feststellbar. Analog den Gegebenheiten beim Cadmium lagen auch hier die Wet-only-Befunde über den Bulk-Befunden und die Messwerte traten häufig im Bereich der Nachweisgrenze auf.

Die Chrom-Konzentrationen (Bulk) betragen 1996 0,5–1,1 µg/l (Jahresmittel) und 1999 0,3–1,2 µg/l. Die mittleren Jahreskonzentrationen der UBA-Messstellen in der Bundesrepublik lagen in folgenden Bereichen (Angaben in µg/l) [111]:

	Bulk	Wet-only
1994	0,4	-
1996	0,25-3,5	0,35-0,45
1999	0,3	0,1-0,15

In Niedersachsen wurden 1992/93 Bulk-Depositionen im Bereich 9–15 g/(ha·a) gemessen [131]. Die regionalen Unterschiede ergaben über den gesamten Untersuchungszeitraum kein einheitliches Bild (Abb. 5.34). In der Region 2 wurden ab 1998 die höchsten Frachten festgestellt. Der Anstieg in der Region 2 ist auf den Zugang der Messstelle Lebus mit anhaltend deutlich überhöhten Chrom-Messergebnissen zurückzuführen. Eine plausible Erklärung für die relativ hohen Belastungen an dieser Messstelle gibt es bisher nicht.

Mangan

Mangan ist nach BBodSchV nicht limitiert. Für die Eignung von Oberflächenwasser für die Trinkwasseraufbereitung wird eine Grenze von 30 µg/l angegeben. Die Jahresmittelwerte der Mangan-Konzentration (Bulk) lagen 1996 bei 7–15 µg/l und 1999 bei 7–13 µg/l.

Im Zeitraum 1996–1998 war ein Anstieg der Bulk-Mangan-Fracht sowohl im Landesmittel als auch in den meisten Regionen zu verzeichnen. Die Wet-only-Messergebnisse der UBA-Messstellen in Brandenburg zeigten im Mittel 1998 gegenüber 1996 einen Anstieg auf 120 % und 1999 im Vergleich zu 1996 eine Senkung auf 71 %. Da die Mangan-Gehalte im Staubbiederschlag diesem Trend nicht folgten (Abb. 4.22), sind

Veränderungen der partikulär sedimentierenden Einträge für den Mangan-Anstieg in der Niederschlagsfracht weitgehend auszuschließen. In Hessen wurden im Landesmittel 1984 190 g/(ha·a) und 1999 70 g/(ha·a) (örtliche Spannweite 40–120 g/(ha·a)) [128] ermittelt. In Niedersachsen wurden 1992/93 81–198 g/(ha·a) festgestellt [131]. Die mittleren Jahreskonzentrationen der UBA-Messstellen in der Bundesrepublik lagen in folgenden Bereichen (Angaben in µg/l) [111]:

	Bulk	Wet-only
1989	7,5	-
1994	6,0-7,5	2
1996	5-5,5	3-3,8
1997	5,5-6,0	2,1-3,8
1998	4,2	1,8-2,2
1999	4,6	1,8-2,1

An den Screening-UBA-Messstellen (Wet-only) in Brandenburg wurden 1999 Jahreskonzentrationen von 2,1–3,9 µg/l gemessen [112].

DÄMMGEN ET AL. stellten 1996 in der Region 1 Bulk-Mangan-Frachten zwischen 40 und 70 g/(ha·a), im Mittel 53 g/(ha·a) fest [129]. An der Messstelle Hubertusstock wurde eine Fracht von 40 g/(ha·a), an der Messstelle Kienhorst eine solche von 41 g/(ha·a) ermittelt.

Die regionale Verteilung der Frachten (Abb. 5.34) zeigte zwar offenkundig Unterschiede zwischen den Regionen, jedoch sind die relativen Unterschiede in den vorgestellten Jahresscheiben nicht stabil. Es ist daher davon auszugehen, dass die regionalen Unterschiede eher zufällig sind. Auch hier verzerrte der Zugang der Messstelle Lebus (Region 2) mit deutlich überhöhter Fracht 1998 das Verteilungsbild.

Nickel

Nach der BBodSchV beträgt die zulässige jährliche Fracht über alle Wirkungspfade 100 g/(ha·a). Für die Eignung von Oberflächenwasser für die Trinkwasseraufbereitung liegt die Grenze bei 30 µg/l. Die ermittelten Frachten lagen etwa eine Größenordnung unter dieser Begrenzung. Die Jahresmittelwerte der Nickel-Konzentration (Bulk) betragen 1996 0,9–1,4 µg/l und 1999 1,2–1,6 µg/l.

Seit 1996 zeigte sich ein steigender Belastungstrend (Abb. 5.30 und 5.36), wiederum mit einem Maximum im Jahr 1998. Auch hier war bei Staubbiederschlägen keine entsprechende Entwicklung (Abb. 4.25) festzustellen.

Die Wet-only-Frachten an den LUA-Messstellen überstiegen die Bulk-Frachten, insbesondere an der Messstelle Lauchhammer. Eine messwertbeeinflussende Nähe der Befunde zur Nachweisgrenze ist hier kaum gegeben.

Die Nickel-Konzentrationen der UBA-Messstellen in der Bundesrepublik lagen in folgenden Größenordnungen (Angaben in µg/l) [111]:

	Bulk	Wet-only
1994	1,6	-
1996	0,9	0,5
1998	0,6	0,5-1,1
1999	1,2	0,8

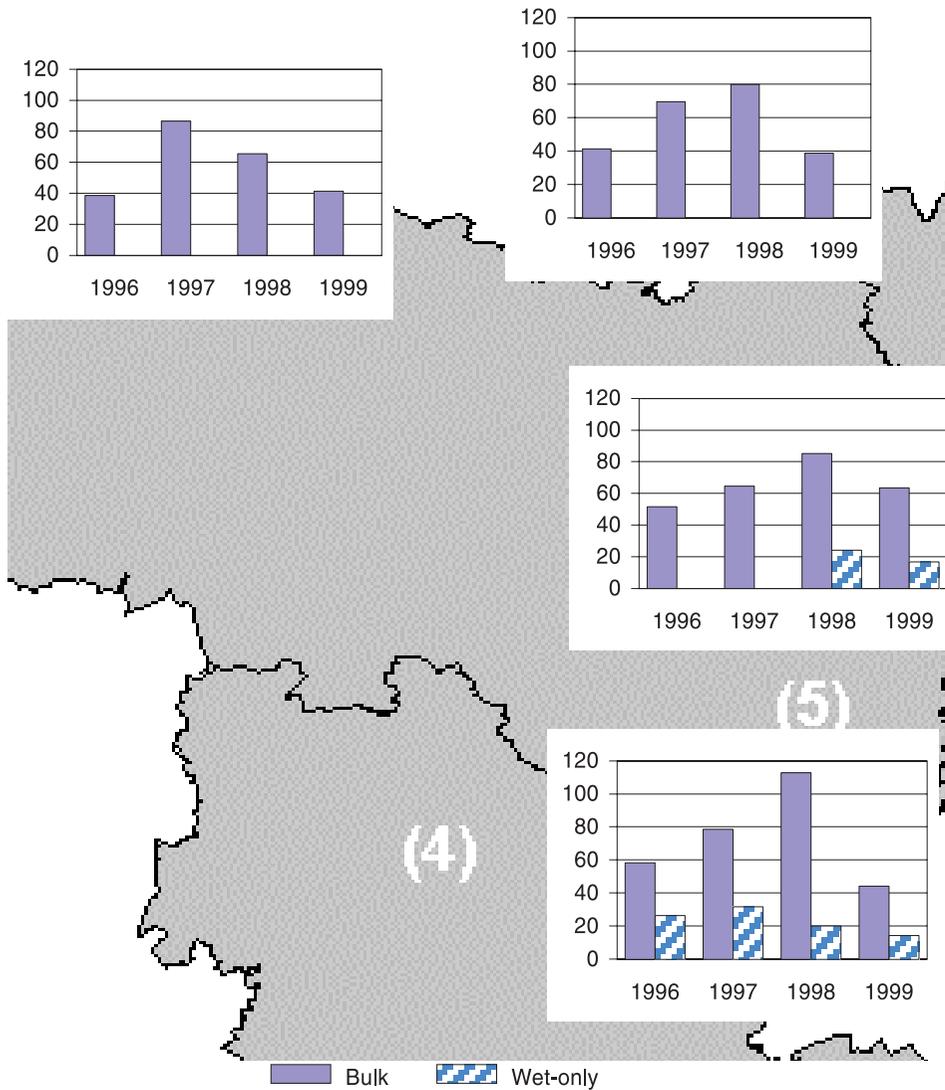


Abb. 5.35: Mittlere jährliche Mangan-Fracht (g/(ha*a)) im Zeitraum 1996–1999 in den Regionen des Landes Brandenburg

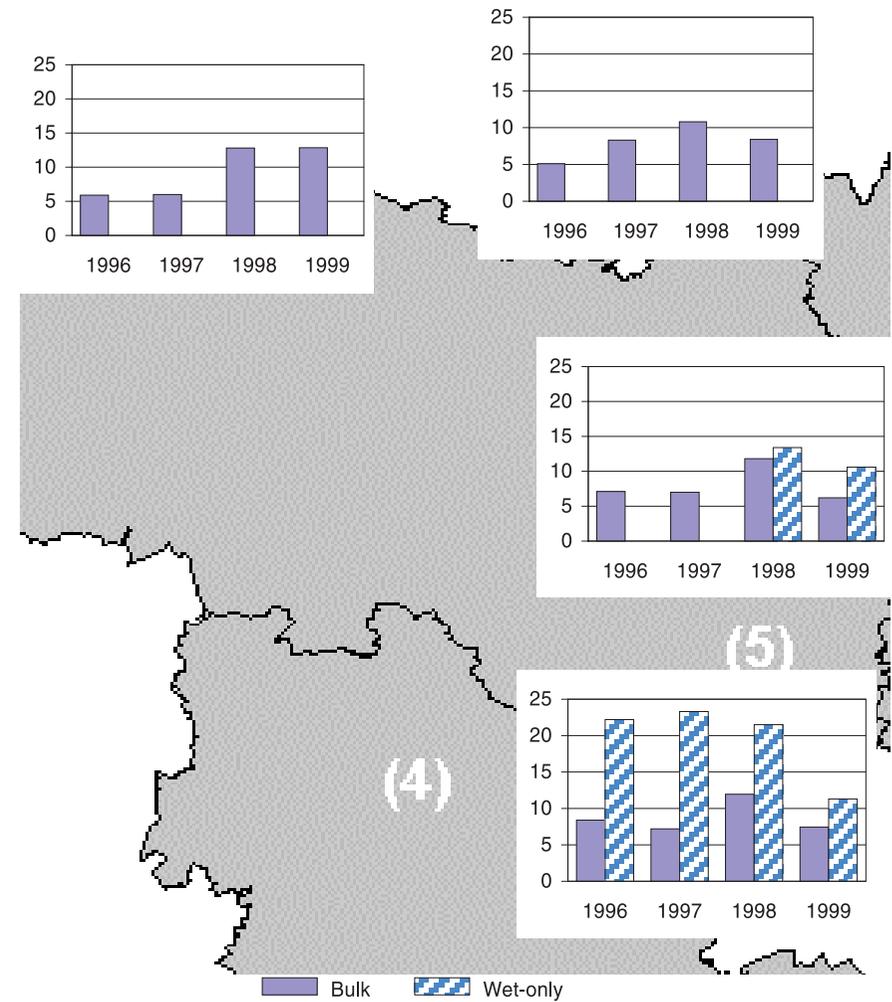


Abb. 5.36: Mittlere jährliche Nickel-Fracht (g/(ha*a)) im Zeitraum 1996–1999 in den Regionen des Landes Brandenburg

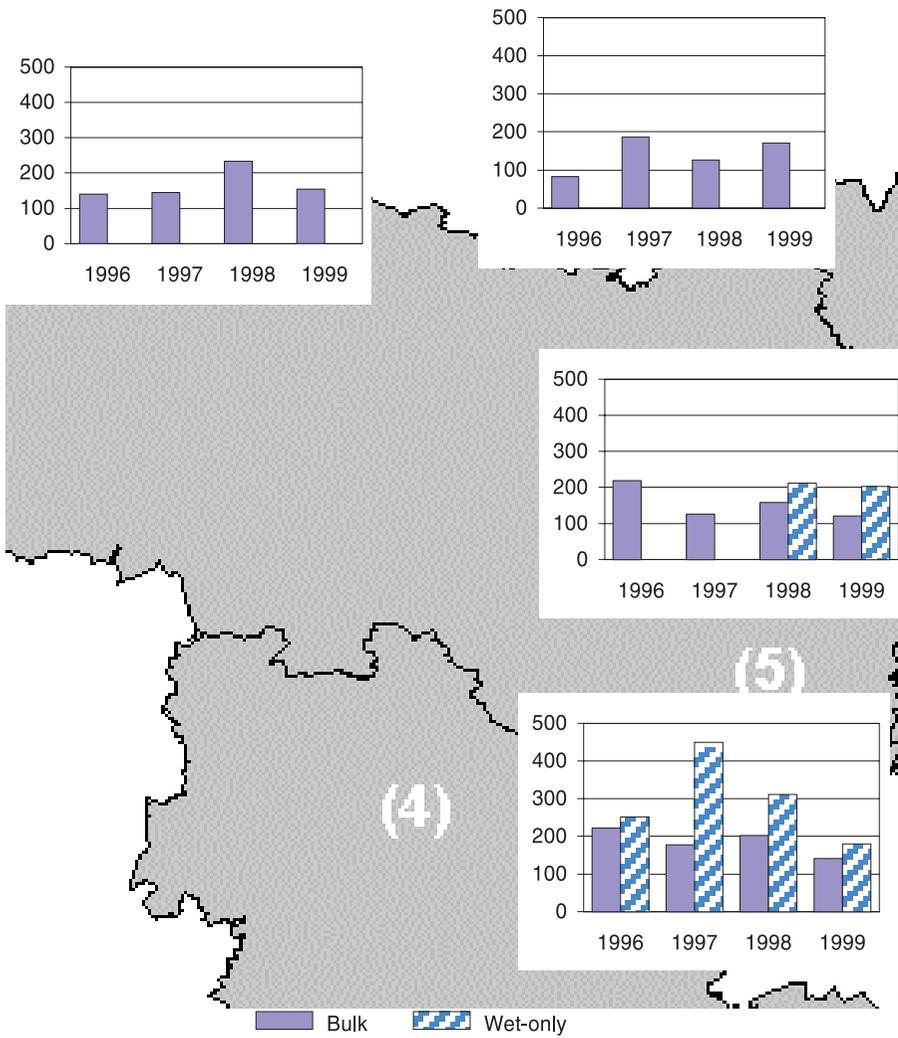


Abb. 5.37: Mittlere jährliche Zink-Fracht g/(ha*a) im Zeitraum 1996–1999 in den Regionen des Landes Brandenburg

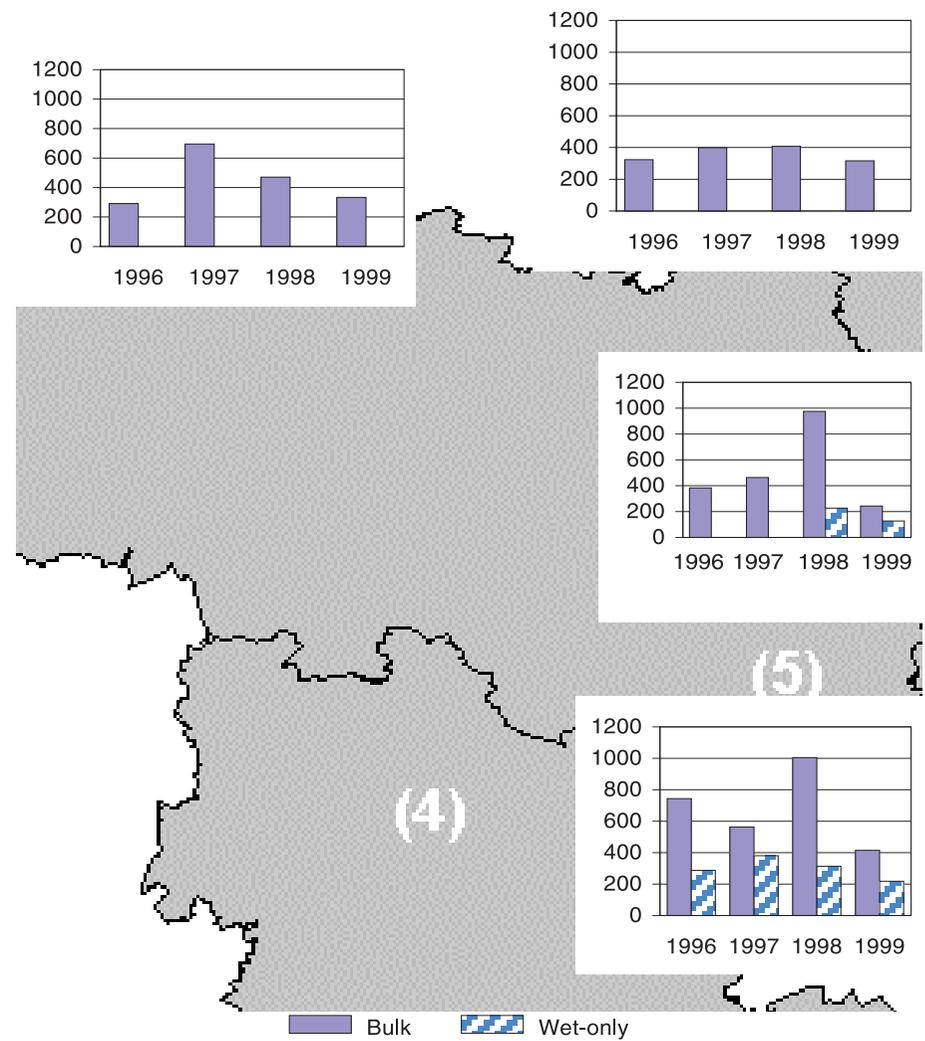


Abb. 5.38: Mittlere jährliche Eisen-Fracht (g/(ha*a)) im Zeitraum 1996–1999 in den Regionen des Landes Brandenburg

Im Mittel aller Messstellen wurden in Brandenburg folgende Nickel-Konzentrationen gemessen: 1996 1,1 µg/l und 1999 1,7 µg/l.

Stark schwankende jährliche Nickelfrachten ohne erkennbaren zeitlichen Trend einer Belastungsreduzierung wurden beispielsweise auch im Zeitraum 1984 bis 1993 in Nordrhein-Westfalen festgestellt; die Ursachen konnten nicht ermittelt werden [131].

In der Region 5 zeigten sich seit 1998 etwas erhöhte Nickel-Frachten. DÄMMGEN ET AL. stellten 1996 innerhalb der Region 1 bei Nickel erhebliche Unterschiede fest: Während im Raum Schwedt/O. sich die Bulk-Jahresfrachten zwischen 15 und 24 g/(ha·a) bewegten, lagen sie – mit Ausnahme der Messstelle Lichterfelde (15 g/(ha·a)) – bei 5–6 g/(ha·a) [129]. Auch an der LUA-Messstelle Kienhorst wurden 5 g/(ha·a) gemessen. Auch beim Nickel-Staubniederschlag wurden in der Region 1 im Mittel etwas höhere Werte ermittelt und die Spannweite der Jahresmittelwerte der einzelnen Messstellen war auffällig hoch, was auf anlagenbedingte Emissionen hindeutet (vgl. 4.2.2.6). 1992/93 wurden in Niedersachsen 6–9 g/(ha·a) gemessen [132].

Zink

Nach der BBodSchV beträgt die zulässige Fracht über alle Wirkungspfade 1.200 g/(ha·a), die zulässige Konzentration für die Trinkwasserproduktion 100 µg/l. Die ermittelten Frachten lagen fast eine Größenordnung unter der obigen Grenze. In Hessen wurden im Landesmittel 1984 460 g/(ha·a) und 1997 59 g/(ha·a) (örtliche Spannweite 41–82 g/(ha·a)) gemessen [128]. Die Jahresmittelwerte der Zink-Konzentration (Bulk) betragen 1996 in Brandenburg 18–40 µg/l und 1999 22–32 µg/l. Ein zeitlicher Trend der Zink-Deposition ist seit 1996 nicht zu erkennen. Die im Vergleich zu den Bulk-Frachten überhöhten Wet-only-Frachten sind analytisch nicht begründbar.

Die mittlere Jahreskonzentration der UBA-Messstellen in der Bundesrepublik lag in folgenden Bereichen (Angaben in µg/l) [111]:

	Bulk	Wet-only
1994	-	17
1996	41-44	10-14
1998	19	11-17
1999	32	10-17

Als Wet-only-Messergebnisse der UBA-Screening-Messstellen in Brandenburg wurden 1999 Jahreskonzentrationen von 11 - 33 µg/l gemessen [112]. Die regionale Verteilung der Zink-Fracht zeigte in der Region 3 eine gewisse Überhöhung.

Eisen

Nach der BBodSchV gibt es keine Limitierung der Eisen-Fracht. Für die Nutzung von Oberflächenwasser für die Trinkwassergewinnung wird eine Begrenzung der Eisen-Konzentration von 200 µg/l angegeben. Die Jahresmittel der Eisen-Konzentration (Bulk) betragen 1996 50 - 109 µg/l und 1999 47 - 102 µg/l.

In Hessen wurden im Jahresmittel 1984 368 g/(ha·a) und 1997 68 g/(ha·a) (örtliche Schwankungsbreite 49–87 g/(ha·a)) [128] gemessen, in Niedersachsen 1992/93 2.800–4.300 g/(ha·a) [131].

In der Region 1 wurden im Zeitraum 1996–1998 an 8 Messstellen jährliche Bulk-Eisen-Frachten zwischen 0,3 und 0,8 kg/

(ha·a), im Mittel 0,5 kg/(ha·a) festgestellt. In der Region 2 wurden im Zeitraum 1997/1998 an 4 Messstellen jährliche Eisen-Frachten zwischen 0,3 und 0,5 kg/(ha·a), im Mittel 0,4 kg/(ha·a) gemessen [129].

Die hohen Bulk-Befunde im Jahre 1998 in den Regionen 2 und 3 sind in Hinblick auf die Luftverunreinigungssituation unplausibel, da weder in den Wet-only-Befunden noch im Staubniederschlag eine analoge Situation festgestellt wurde. Auch die Befunde nach [129] weisen in der Region 2 keine derartige Überhöhung im Jahre 1998 auf. In der Region 2 bewirkte rein numerisch die Inbetriebnahme der Messstelle Lebus mit sehr hohen Messergebnissen nur im Jahr 1998 den hohen regionalen Mittelwert; der Staubniederschlag war in dieser Jahresscheibe unauffällig.

Molybdän, Selen

Aufgrund der kurzen Untersuchungszeit (2 Jahre) und der wenigen Messstellen sind Aussagen zum zeitlichen und regionalen Trend nicht möglich. Auffällig sind im Vergleich zur Bulk-Fracht die hohen Wet-only-Frachten (Abb. 5.39). Da sich die Einzelbefunde vielfach in der Nähe der Nachweisgrenze bewegten, sind die Messergebnisse mit größeren Unsicherheiten behaftet. Limitierungen sind für Molybdän nicht bekannt.

Die zulässige Selen-Konzentration für die Trinkwassergewinnung (Normalwert) beträgt 1 µg/l. Die Jahresmittel (Bulk) wiesen 1998 0,9–1,8 µg/l und 1999 1,0–1,9 µg/l auf. Die Mindestanforderung beträgt 10 µg/l, d.h. das Wasser wäre noch aufbereitungsfähig.

Barium

Aufgrund der kurzen Untersuchungszeit und der wenigen Messstellen sind Aussagen zum zeitlichen und regionalen Trend nicht möglich; Limitierungen sind für Barium nicht bekannt.

Kupfer

Nach der BBodSchV beträgt die zulässige Fracht über alle Wirkungspfade 360 g/(ha·a); dieser Grenzwert wurde im gesamten Untersuchungszeitraum sicher eingehalten (Abb. 5.39). In der Region 1 wurden 1996 an 8 Messstellen Bulk-Kupfer-Frachten zwischen 10 und 13 g/(ha·a), im Mittel 12 g/(ha·a) [129], an der LUA-Messstelle Kienhorst wurde dagegen eine Fracht von 36 g/(ha·a) gemessen.

Für die Trinkwasserproduktion aus Oberflächenwässern werden als normale Anforderung 20 µg/l genannt. Die Jahresmittel der Kupfer-Konzentration (Bulk) betragen 1996 6–19 µg/l und 1999 5–9 µg/l. Es ist ein leicht sinkender Trend erkennbar (Abb. 5.30).

In Hessen betrug das Fracht-Jahresmittel 1984 70 g/(ha·a), 1990 23 g/(ha·a) (Minimum) und 1997 144 g/(ha·a) (örtliche Spannweite 107–172 g/(ha·a)) [128]. In Niedersachsen wurden 1992/93 23–28 g/(ha·a) gemessen [131].

Die mittleren Jahreskonzentrationen der UBA-Messstellen in der Bundesrepublik lagen in folgenden Bereichen (Angaben in µg/l) [131]:

	Bulk	Wet-only
1989	2,1-6,5	-
1994	1,4-6,1	-
1996	3,8-5,0	3,3-3,8
1998	2,1	3,2
1999	1,5	2,5

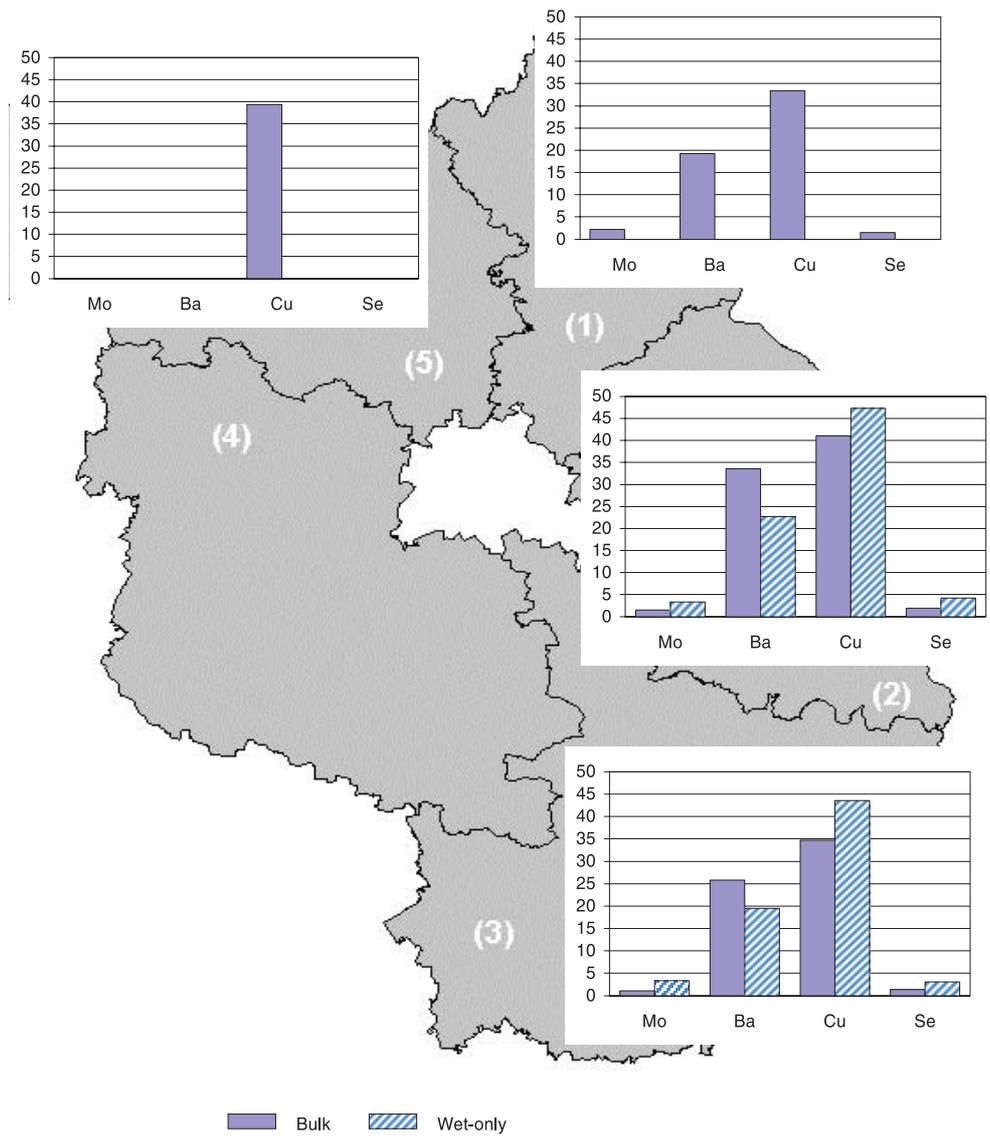


Abb. 5.39: Mittlere jährliche Fracht (g/ha-a) für Molybdän, Barium, Kupfer und Selen im Zeitraum 1998–1999 in den Regionen des Landes Brandenburg

Die Wet-only-Messergebnisse der UBA-Screening-Messstellen in Brandenburg betragen 1999 1,4–11 µg/l [112]; auffällig hohe Befunde wurden ununterbrochen seit 1994 an der Messstelle Neuglobsow festgestellt.

5.2.2.2 Vergleich der Spurenelementfrachten von Niederschlagsdepositionen und Staubbiederschlag

Insbesondere aus Sicht der Luftreinhalteplanung ist es von Interesse, ob eine gegebene Spurenelemente-Fracht maßgeblich durch örtliche Quellen verursacht worden ist. Hier kann der Vergleich der Bulk-Frachten mit den Wet-only-Frachten am selben Standort hilfreich sein. Dies soll am Beispiel zweier Messstellen mit großem stofflichem Untersuchungsspektrum für die Zweijahresscheibe 1998/99 demonstriert werden.

Da in Folge niedriger Befunde im Vergleich zu den Nachweisgrenzen bei As, Cd, Co, Mo und Se mit größeren Unschärfen zu rechnen ist, kann bei diesen Elementen nicht in jedem Fall eine solide Aussage erwartet werden. Liegt der Quotient Bulk-Fracht/Wet-only-Fracht deutlich > 1, so belegt dies einen maßgeblichen

Anteil trockener Einträge in die Bulk-Fracht. Stäube werden in partikulärer Form im Allgemeinen nicht über so große Entfernungen verfrachtet wie deren gelöste Inhaltsstoffe mit den Wolken, so dass mit hoher Wahrscheinlichkeit die ungelösten Anteile in der Deposition örtlichen oder regionalen Quellen zuzuordnen sind. Werte < 1 dürfen theoretisch nicht auftreten. Die unterschiedlichen Probenahmegeräte (insbesondere der bessere Schutz der Wet-only-Proben vor Probenverfälschung), die unterschiedlichen Probenahmezeiten, analytische Streuung und Matrixeffekt können jedoch zu Ergebnissen < 1 führen. Nach Abbildung 5.40 wird nur bei den Elementen Mn, Fe und Ba die 100 %-Schranke sicher überschritten. Der Vergleich der Abbildung 5.40 mit der Abbildung 5.41 belegt, dass abgesehen von Zn höhere Bulk-/Wet-only-Verhältniszahlen erwartungsgemäß mit höheren Staubbiederschlägen korrespondieren, was die Hypothese über den Einfluss örtlicher Quellen stützt.

Liegt das Verhältnis Bulk-Fracht zur Staubbiederschlagsfracht deutlich < 1, so ist dies ein Hinweis auf einen maßgeblichen Anteil schwach löslicher Verbindungen, da analytisch bedingt die Bulk-Fracht nur die Löslichkeitsverfügbaren Beiträge umfasst, während die Staubbiederschlagsfracht den Totalgehalt an-

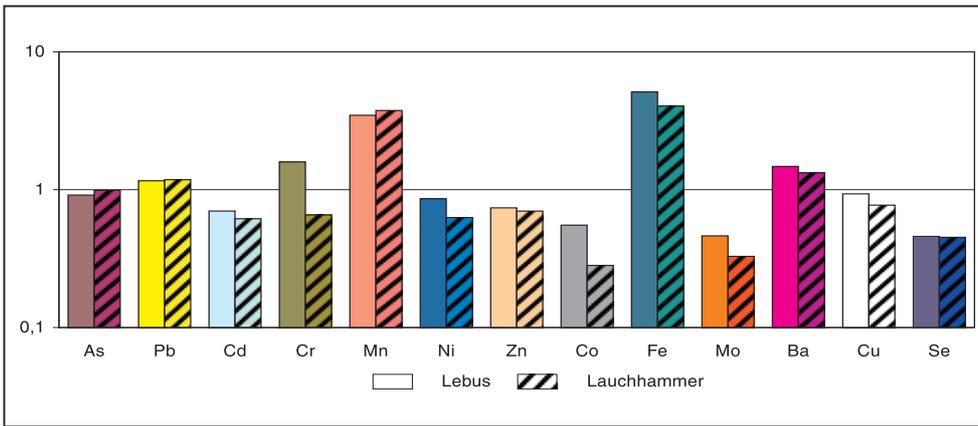


Abb. 5.40: Bulk-Frachten bezogen auf Wet-only-Frachten am selben Freilandstandort (Mittelwert 1998/1999)

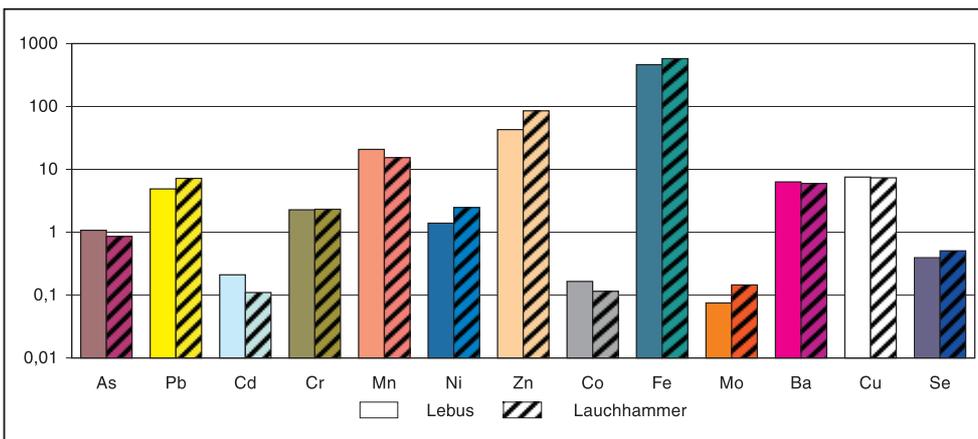


Abb. 5.41: Spurenelemente im Staubniederschlag ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) am selben Freilandstandort (Mittelwert 1998/1999)

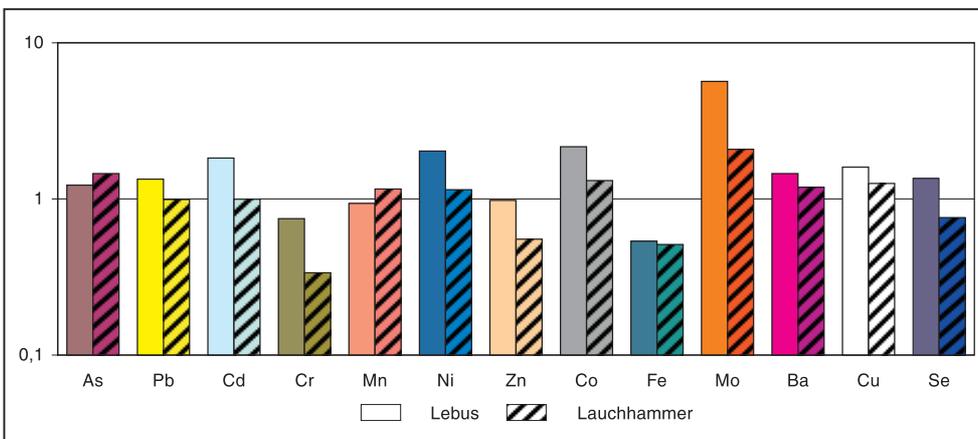


Abb. 5.42: Bulk-Frachten bezogen auf Staubniederschlag-Frachten am selben Freilandstandort (Mittelwert 1998/1999)

gibt. Nach Abbildung 5.42 wurden Verhältniszahlen < 1 bei Cr, Fe und Zn (Messstelle Lauchhammer) ermittelt. Da Zn offensichtlich – zumindest an der Messstelle Lauchhammer – in erheblichem Umfang in schwach löslichen Verbindungen vorliegt, ist der relativ hohe Eintrag über den Staubniederschlag in den Befunden der Niederschlagsdeposition (Bulk und Wet-only) hier nicht sichtbar. Bei schwach löslichen Verbindungen ist die Abschätzung des Eintrags örtlicher Emissionen in die Niederschlagsdeposition anhand des Bulk/Wet-only-Verhältnisses im Allgemeinen nicht möglich, da der Mehreintrag bei der Bulk-Probenahme im Vergleich zur Wet-only-Probenahme durch die Filtration der Proben der Analytik entzogen wird. Daraus resultiert, dass örtliche Quellen durchaus maßgebliche Beiträge schwach löslicher Verbindungen in die Deposition einbringen können, ohne dass dies durch den Quotient Bulk/Wet-only offengelegt wird. Das heißt, bei einem Quotient um 1 kann ein

erheblicher Anteil örtlicher Quellen nicht ausgeschlossen werden, aber erst bei Werten deutlich > 1 als sicher gelten.

Die Löslichkeitsbetrachtungen verdeutlichen, dass die Spurenelementeinträge, die über den Staubniederschlag quantifiziert werden, hinsichtlich ihrer Wirkungen auf Boden, Gewässer oder Ökosysteme nur die theoretische Obergrenze abzuschätzen gestatten, also nur eine worst-case-Betrachtung zulassen; d.h. sie sind für derartige Fragestellungen von geringerer Präzision als Bulk-Messungen.

Für die Beispielmessstellen ist zusammenfassend festzustellen, dass

- bei Mn, Fe, Ba und Cr (an der Messstelle Lebus) deutliche Beiträge örtlicher Quellen zur Niederschlagsdeposition nachweisbar sind und

- bei As, Pb, Cr an der Messstelle Lauchhammer und bei Ni, Zn und Cu an der Messstelle Lebus deutliche Beiträge örtlicher Quellen zur Niederschlagsdeposition nicht auszuschließen sind.

5.2.2.3 Stoffeintrag in Waldökosysteme

Im Rahmen des Level II-Programms wurden auch Spurenstoffe in der Bulk-Niederschlagsdeposition in Kiefern-Waldbeständen (Kronendurchlass oder Kronentraufe) erfasst. Die Ergebnisse zeigt Tabelle A. 4.3 (Anhang).

In Fichtenbeständen Hessens wurden in der Kronentraufe folgende jährliche Frachten (g/(haAa)) ermittelt [128]:

	1996	1997
Blei	14,3 (5,5 - 18,7)	13,9 (3,3 - 45,6)
Cadmium	0,95 (0,55 - 1,60)	0,59 (0,32 - 0,99)
Mangan	1.740 (940 - 3.270)	1.510 (790 - 2.730)
Zink	163 (91 - 246)	129 (87 - 196)
Eisen	173 (102 - 201)	165 (104 - 258)
Kupfer	93 (49 - 119)	101 (70 - 129)

Die Befunde Brandenburgs lagen in den Größenordnungen, die auch in Hessen festgestellt wurden, wobei anzumerken ist, dass aufgrund der unterschiedlichen Baumarten auch etwas unterschiedliche Befunde zu erwarten sind. Die in der Kronentraufe gemessene Schadstofffracht ist nicht in jedem Fall die Summe aus nasser und trockener Deposition (Abb. 2.1), da unter dem Kronendach Veränderungen eintreten durch

- „Aufnahme von Stoffen durch die Pflanzenoberfläche,
- Haften bleiben von Stoffen an Pflanzenoberflächen,
- Umsetzung von Stoffen nach Deposition, vor allem an Pflanzenoberflächen und
- Auswaschung von Stoffen aus der Pflanzensubstanz (leaching)“ [128].

Die Differenzen der Spurenstoffströme im Regenwasser unter dem Kronenraum und im benachbarten Freiland (Netto-Kronentraufe genannt) wurden in erster Näherung als trockene Deposition während der regenfreien Zeit identifiziert [108]. Da die auf Blättern oder Nadeln deponierten Stoffe auch in deren Innerem absorbiert oder an den äußeren Oberflächen adsorbiert werden können, kann die Fracht der Kronentraufe auch kleiner sein als die der zugehörigen Freilanddeposition

[108]. Abbildung 5.43 zeigt die Frachten der Kronentraufe in Kiefernbeständen Brandenburgs, bezogen auf die dazu gehörigen Freilandfrachten. Bei Pb zeigten sich die erwähnten Minderbefunde in der Kronentraufe, während für As, Cd und Cr deutliche Überhöhungen festgestellt wurden.

Um diese Unterschiede erkennbar zu machen, musste aus maßstäblichen Gründen auf die graphische Darstellung für Mn verzichtet werden. Bei Mn wurden folgende Bestandesfrachten, bezogen auf Freiland, gemessen (Mittelwerte 1996–1999): Kienhorst 1.497 %, Schwenow 1.837 %, Neusorgefeld 1.071 % und Beerenbusch 2.892 %.

Diese drastischen Überhöhungen resultierten nicht aus den trockenen Depositionen. Manganoxide des Bodens werden mit dessen wachsender Versauerung in steigendem Maße reduziert und damit pflanzenverfügbar. Das mobilisierte Mn wird über die Wurzeln den Blattorganen zugeführt. Von hier gelangt es durch Auswaschung (leaching) in das Kronenwasser, d.h. die hohen Mn-Frachten der Kronentraufe sind für das Ökosystem zumeist nur eine scheinbare Fracht, der größte Teil ist bilanzneutral [108, 128].

Critical Loads für Schwermetalle gibt es noch nicht; sie sollen auf der Basis von "Critical Limits", d.h. "Konzentrationen in betroffenen Umweltmedien (Rezeptoren), bei denen schädliche Wirkungen auf diese und auf angrenzende Bereiche gerade noch auszuschließen sind" [36], ermittelt werden. Critical Limits werden jedoch in absehbarer Zeit nicht verfügbar sein.

5.2.2 Organica

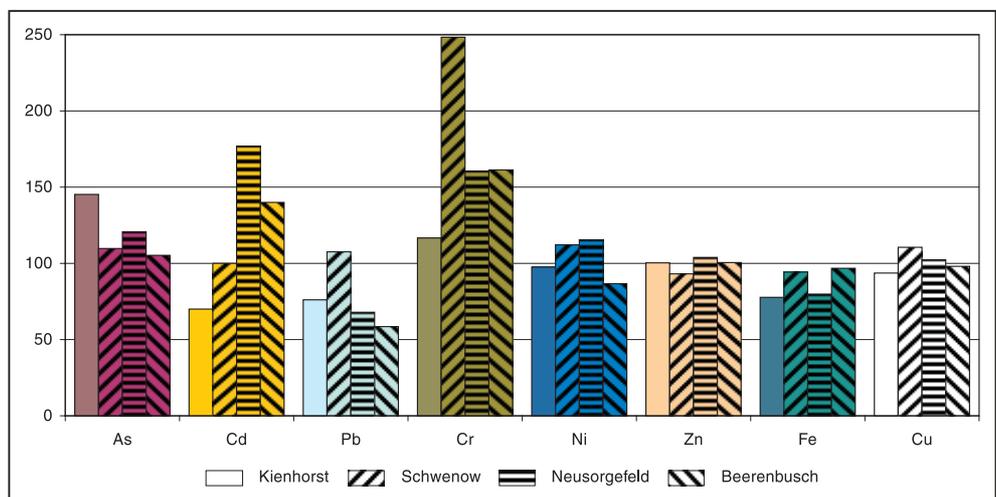
5.2.3.1 Methodik der Auswertung der Befunde

Die Ergebnisse der Messungen von 4 Messstellen im Land Brandenburg sind in den Tabellen A 5 im Anhang zu entnehmen.

Die Befunddarstellung zeigt pro Jahr und Messstelle folgende Angaben/Aggregierungen:

- Für die einzelnen Parameter wurden jeweils die Messergebnisse der Bulk- und Wet-only-Sammler getrennt ausgewertet.
- Angabe der für das entsprechende Messjahr ermittelten Nachweisgrenze sowie der kleinsten und größten gemessenen Konzentration.

Abb. 5.43: Bulk-Frachten im Kiefernbestand (Mittelwert 1996–1999), bezogen auf Freilandfrachten (Angaben in %)



- Da je nach Niederschlagsmenge im Sammelintervall nicht alle Parameter gemessen werden konnten, Angabe der Anzahl der Proben, die zur Verfügung standen.
- Anteil der Messergebnisse, bezogen auf die gemessenen Proben, die oberhalb der Nachweisgrenze lagen (Spalte %-Befunde) und
- Anteil der Tage des Messjahres, die den aggregierten Befunden zugrunde lagen.
- Die mittleren Tagesfrachten wurden aus den pro Woche oder Monat gewonnenen Proben berechnet, der Mittelwert gilt daher exakt nur für die beprobten Zeiträume und die Jahresfrachten wurden durch Summierung der Wochen- oder Monatsfrachten berechnet, sie umfassen somit nur die Gesamtfrachten aus den Zeiten verfügbarer Proben.

Frachten wurden nur errechnet, wenn mindestens 50 % aller Messwerte oberhalb der Nachweisgrenze festgestellt wurden. Da organische Stoffe einer Vielzahl von chemischen, physikalischen und biologischen Umwandlungsprozessen unterliegen und ihre Konzentration in der Außenluft jahreszeitenabhängig ist, ist eine Hochrechnung auf Jahresfrachten über die Gesamtniederschlagsmenge abzulehnen. Daher wurden Jahresfrachten nur berechnet, wenn mindestens 70 % der Tage des Messjahres in das Messergebnis eingeflossen sind. Um nur belastbares Datenmaterial für die Befundaggregation zu nutzen, wurde zunächst die Befundhäufigkeit "über der Nachweisgrenze" betrachtet. Diese ist für 2 Messstellen für jeden Einzelstoff in der Abbildung 5.44 dargestellt. Danach ist die Befundhäufigkeit für einige Stoffgruppen in Abhängigkeit von der Messstelle und dem Messjahr sehr unterschiedlich, andere Stoffgruppen hingegen sind an allen Messstellen gleichermaßen häufig gefunden worden. Zu diesen zählen die PAK, BTEX, TCA und Trichlormethan. Auffallend hingegen sind z.B. die höheren Befundhäufigkeiten für Lindan und 4-Nitrophenol in Lauchhammer und Pentachlorphenol in Cumlosen.

Die Tabellen A 5 enthalten nur die Stoffe, bei denen Befunde oberhalb der Nachweisgrenze in einer Häufigkeit vorlagen, dass ein Eindruck von der Größenordnung des Belastungsniveaus mittelbar war. Darüber hinaus befanden sich – zumindest zeitweilig – folgende Stoffe im Untersuchungsprogramm: Isopropylbenzol, 1.3.5-Trimethylbenzol, 3-Methyl-4-nitrophenol, 2-Chlorphenol, 2.4-Dichlorphenol, 2.4.6-Trichlorphenol, 4-Nitrophenol, 2.4.4'-Trichlorbiphenyl (28), 2.2'.5-5' Tetrachlorbiphenyl (58), 2.2'.4.5-5' Pentachlorbiphenyl (101), Hexachlorbiphenyl (138), 2.2'.4.4'.5-5' Hexachlorbiphenyl (153), 2.2'.3.4.4'.5-5' Heptachlorbiphenyl (180), Dichlordiphenyldichlorethane (DDD, p-p'), Dichlordiphenyldichlorethene (DDE, p-p'), Hexachlorbenzol, Aldrin.

Organische Niederschlagsdepositionen spielen für das Grundwasser im Vergleich zu anderen punktuellen/kleinflächigen Schadstoffeinträgen (z.B. Altlasten) nur eine untergeordnete Rolle. Da die Niederschlagsfrachten jedoch flächendeckend präsent und bei der Grundwasserneubildung von direktem Einfluss sind, sind sie durchaus von Bedeutung [133]. Die Bewertung einer möglichen Beeinflussung des Grundwassers durch Niederschlagsdepositionen basiert auf einer Vielzahl

stoffspezifischer und standortspezifischer Kenngrößen, von denen die Höhe der Fracht von grundlegender Bedeutung ist. Das Wertespektrum maßgeblicher Parameter wird in Intervalle geteilt, deren Klassengrenzen volle Zehnerpotenzen bilden [133, 134]. Die Bewertungszahl für die Fracht (BZ_{Dep}) wird wie folgt berechnet

$$BZ_{Dep} = 25 \cdot \lg_{Dep}$$

$$D_{ep} = \text{Fracht (in ng/(m}^2\cdot\text{d)) [134].}$$

Die nachfolgend angegebenen Bewertungszahlen wurden aus den Befunden des Jahres 2000 ermittelt.

Als oberster Normierungspunkt wird $10 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ und als unterster Normierungspunkt $1 \text{ ng}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ definiert. Die Bewertungsskala ergibt 5 Intervalle: (0–20 = sehr gering, 20–40 = gering, 40–60 = mittel, 60–80 = hoch, größer 80 = sehr hoch). Insbesondere bei den organischen Inhaltsstoffen der Niederschlagsdeposition ist es nicht möglich, von diesen Befunden quantitativ auf die Immissionsituation zu schließen. Die Konzentration organischer Inhaltsstoffe in den Depositionsproben hängt neben der Höhe der Immission in erheblichem Umfang von stoffspezifischen Kenngrößen (Dampfdruck, Wasserlöslichkeit, HENRY-Konstante, Sorptionskoeffizient, Persistenz), von der Art der Probenahme und -lagerung sowie den Probenahmeintervallen ab.

5.2.3.2 Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe

Kurzkettige Alkane und Alkene (C_4 - C_9) sind aufgrund ihres hohen Dampfdruckes und ihrer hohen HENRY-Konstante in der Niederschlagsdeposition im Allgemeinen nicht nachweisbar und auch langkettige Alkane und Alkene erbringen nur geringe Frachten. Daher wurde auf deren Messung verzichtet. Benzen und Alkylaromaten sowie leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (LHKW) werden in vergleichsweise höherem Maße in den Niederschlägen gelöst, da deren Dampfdrucke und HENRY-Konstanten im Allgemeinen kleiner als die der kurzkettigen Alkane und Alkene sind.

LHKW

Von den gemessenen leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen gelten alle außer Trichlorethen als photooxidativ schwer abbaubar. Hauptemissionsquellen sind die metallverarbeitende und chemische Industrie sowie Verbrennungsanlagen. Daneben werden LHKW auch durch biogene Prozesse insbesondere mariner Organismen produziert. In Abbildung 5.45 sind die Frachten einiger Chlorkohlenwasserstoffe dargestellt. Danach ist nur Trichlormethan von Bedeutung. Bemerkenswert ist, dass messstellenunabhängig die maximalen Konzentrationen immer im Frühjahr gefunden wurden (Abb. 5.46). Im Vergleich zu Literaturangaben für den Zeitraum 1993/94 [133, 135] für andere bundesdeutsche Gebiete sind die in Brandenburg festgestellten Trichlormethankonzentrationen als hoch einzustufen, während die anderen Chlorkohlenwasserstoffe vergleichbare Frachten aufweisen.



Abb. 5.44: Befundhäufigkeit organischer Stoffe über der Nachweisgrenze an Bulk-Messstellen (Angaben in %)

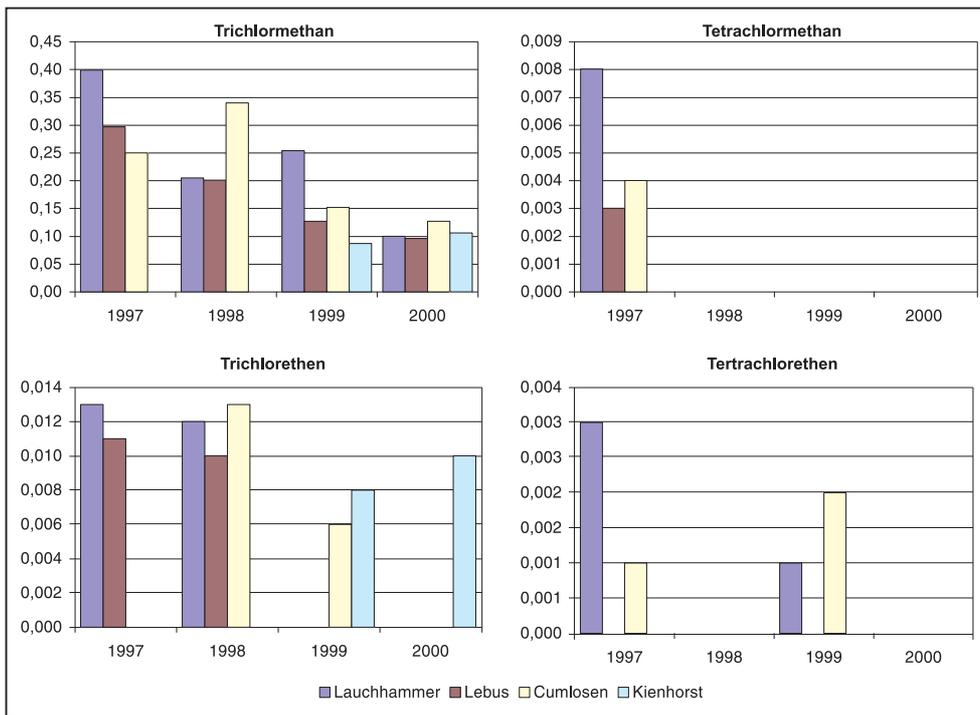


Abb. 5.45: Mittlere Bulk-Tagesfrachten ausgewählter leichtflüchtiger halogener Kohlenwasserstoffe (Angaben in $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)

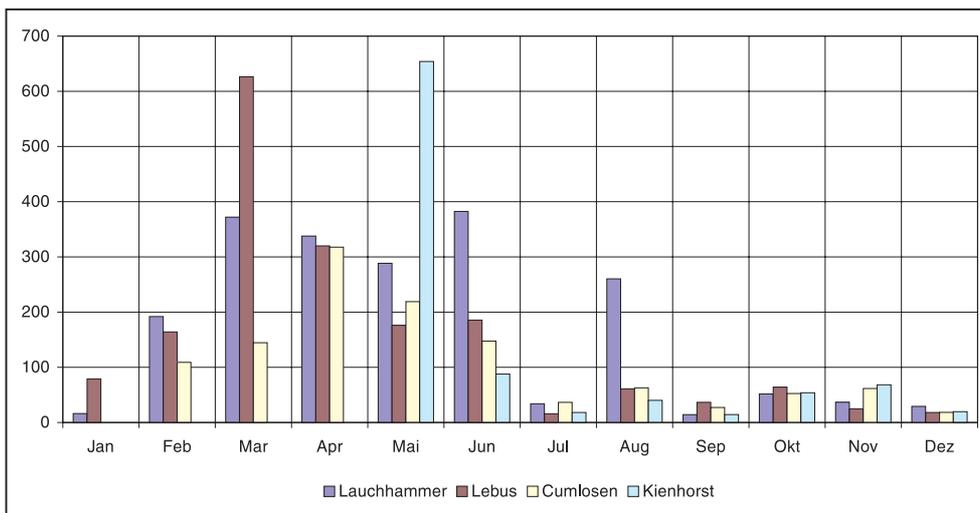


Abb. 5.46: Monatlicher Verlauf (1999) der Trichloromethan-Konzentration in der Bulk-Niederschlagsdeposition (Angaben in ng/l)

Es ist anzumerken, dass Trichloromethan-Befunde in besonderem Maße durch die Probenahme beeinflusst werden, da die Substanz einerseits stark flüchtig ist, andererseits in der Probe aus Trichloressigsäure gebildet werden kann [136].

BTX

Benzol, Toluol, Ethylbenzol und die Xylole gelangen insbesondere durch die Verwendung von Mineralölprodukten und den Straßenverkehr in die Atmosphäre. Im Vergleich zu den LHKW sind sie sehr leicht abbaubar. Die Frachten zeigten deutlich regionale Unterschiede (Abb. 5.47).

Die Ergebnisse an der Messstelle Lauchhammer weisen auf eine generell sehr viel höhere Benzolbelastung hin. Hier wurden auch in den Jahren 1998/1999 in einigen Wochenproben relativ hohe Einzelkonzentrationen bis $4,6 \mu\text{g}/\text{l}$ Benzol und bis

$2,5 \mu\text{g}/\text{l}$ der anderen Aromaten gefunden. Lauchhammer hatte sehr hohe Altlasten carbochemischer Anlagen. Im Jahr 1999 wurden im Rahmen des Rückbaues stillgelegter Anlagen mit massivem Bodenaushub möglicherweise in größerem Umfang Kohlenwasserstoffe gasförmig und partikelgebunden freigesetzt. Abbildung 5.48 zeigt am Beispiel von Benzol deutlich die Verursachung durch Einzelereignisse. Im Vergleich zu den Benzolkonzentrationen in der Außenluft, die eine deutliche Senke im Sommerhalbjahr zeigen, ist ein solcher Jahresverlauf bei den Frachten nicht erkennbar (Abb. 5.49).

An der Messstelle Cumlosen ist Ethylbenzol auffällig, wobei hier die Frachten nicht durch Einzelereignisse bestimmt waren, sondern kontinuierlich höhere Konzentrationen gemessen wurden.

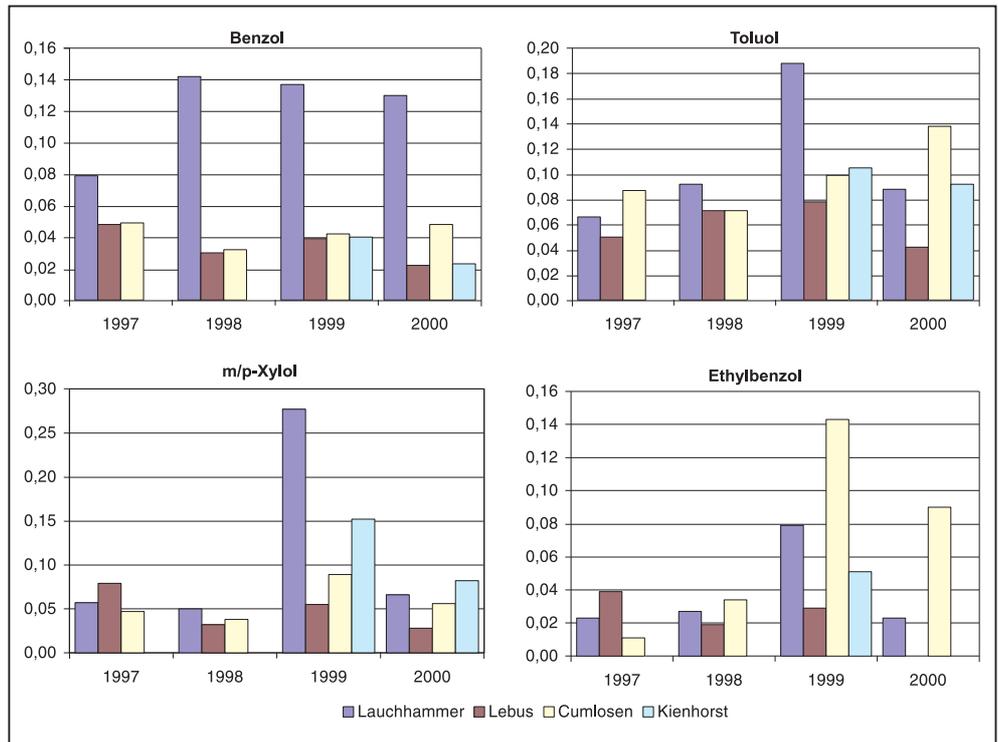


Abb. 5.47:
Mittlere Bulk-Tagesfrachten leichtflüchtiger Kohlenwasserstoffe (Angaben in $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)

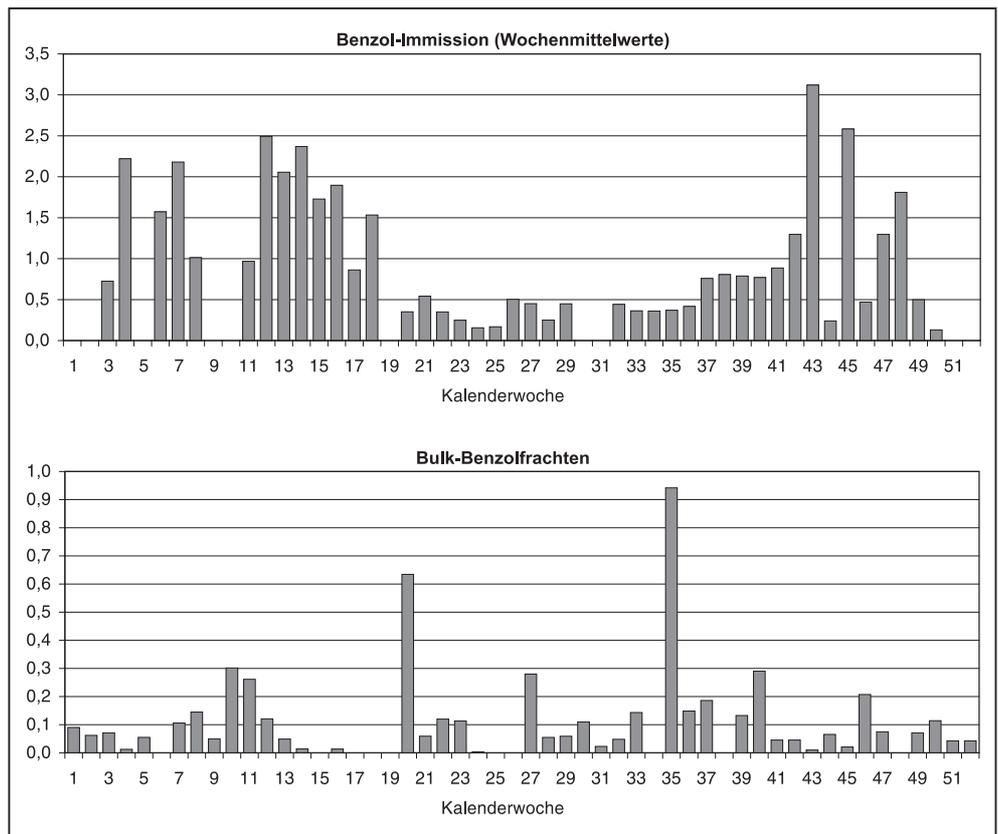


Abb. 5.49:
Vergleich der wöchentlichen Benzol-Immission ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) und der wöchentlichen Bulk-Benzol-Frachten ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) am Standort Lauchhammer (2000)

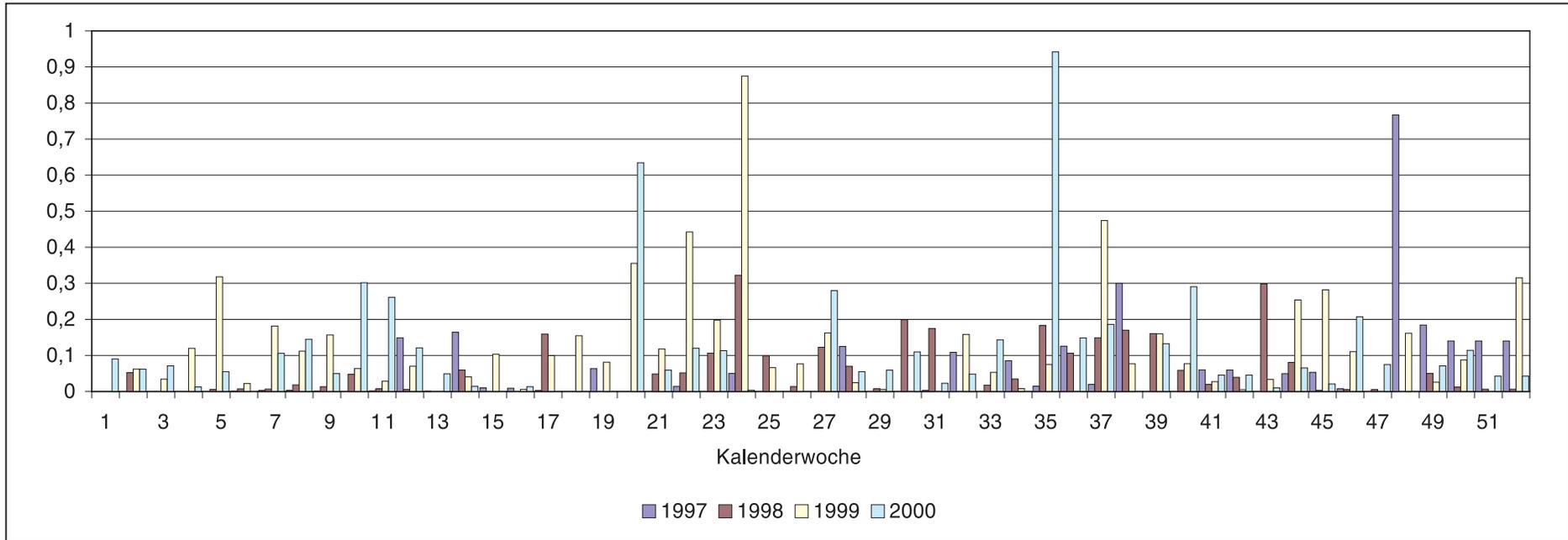


Abb. 5.48: Bulk-Benzolfrachten an der Messstelle Lauchhammer (Angaben in $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)

An der Messstelle Cumlosen ist Ethylbenzol auffällig, wobei hier die Frachten nicht durch Einzelereignisse bestimmt waren, sondern kontinuierlich höhere Konzentrationen gemessen wurden.

Chlorbenzole

Von den Chlorbenzolen wurden nur Chlorbenzol, o- und mp-Chlorbenzol gemessen. Technische Bedeutung haben nur o- und p-Dichlorbenzol sowie Monochlorbenzol. Die Halbwertszeiten dieser 4 Chlorbenzole liegen zwischen 22 und 33 Tagen, sie zählen daher zu den schwer abbaubaren Stoffen [134]. Der Hauptanteil der Messwerte lag unterhalb der Nachweisgrenze.

Bewertung

Aus der Gruppe der leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe ergaben sich bei nachstehenden Stoffen für das Jahr 2000 nennenswerte Bewertungszahlen: Trichlormethan (59), Toluol (47), mp-Xylol (42), Benzol (40), Ethylbenzol (36), o-Xylol (32), Trichlorethen (25). Als höchste Bonitierung wurden also für das Jahr 2000 nur „mittlere“ Frachten festgestellt; das schließt jedoch nicht aus, dass in den Vorjahren hohe und Anfang der 90er Jahre auch sehr hohe Frachten auftraten.

5.2.3.3 Flüchtige und schwerflüchtige Kohlenwasserstoffe

Phenol

Phenol gehört zu den leicht abbaubaren Stoffen. Es gelangt aus Raffinerien, Kokereien, bei Verbrennungsprozessen, aus Abwässern als auch durch photochemische Reaktionen von Benzol in die Atmosphäre. Die Frachten zeigten an allen Messstellen im Jahr 1998 ein Maximum (Abb. 5.50). An der Messstelle Lauchhammer wurden auch bei Phenol die höchsten Frachten/Konzentrationen gefunden. Die wöchentlichen Konzentrationsbefunde zeigten stark unterschiedliche Werte (Abb. 5.51).

Chlorphenole

Die Abbaubarkeit der Chlorphenole nimmt mit zunehmendem Chlorierungsgrad ab, Pentachlorphenol gehört zu den sehr persistenten Stoffen. Bei Nachweisgrenzen von 50–60 ng/l wurden für 2-Chlorphenol, 2,4-Dichlorphenol und 2,4,6-Trichlorphenol keine auswertbaren Messergebnisse erzielt. Die Messergebnisse für Pentachlorphenol lagen im Durchschnitt ebenfalls unter 100 ng/l, nur im Einzelfall wurden an der Messstelle Lebus Werte bis in den µg/l-Bereich gemessen.

Nitrophenole

Zunächst wurde nur 4-Nitrophenol gemessen. Bei sehr geringer Befundhäufigkeit wurden bei 4-Nitrophenol im Einzelfall Konzentrationen bis in den µg/l-Bereich gefunden. Die Berechnung der Depositionsraten ergab mit Phenol vergleichbare Ergebnisse (Abb. 5.50). In quellfernen Gebieten Deutschlands wurden im Zeitraum 1993/94 4-Nitrophenol-Konzentrationen (Jahresmittelwerte) < 50 ng/l gemessen [133]. 4-Nitrophenol entsteht vor allem bei der Transformation von organischen Verbindungen und seinen Methylderivaten, z.B. von Herbiziden sowie Pestiziden; die Stabilität von 4-Nitrophenol wird als relativ hoch eingeschätzt [136].

Halogenessigsäuren

Nur Mono- und Trichloressigsäuren werden direkt anthropogen emittiert. Chloressigsäuren sind vor allem Abbauprodukte von anthropogenen Vorläufersubstanzen (1.1.1-Trichlorethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen). Daher werden die niedrigsten Konzentrationen in der Luft im Winter gemessen; im Niederschlag wurden im Frühjahr höhere Konzentrationen festgestellt. Die weltweit gemessenen Trichloressigsäure (TCA)-Konzentrationen schwanken in einem großen Bereich (2–6.000 ng/l) [135].

Polychlorierte Biphenyle (PCB)/Chlorpestizide

Obwohl die PCB kaum noch technische Bedeutung besitzen, wurden sie aufgrund ihrer hohen Persistenz in das Mess-

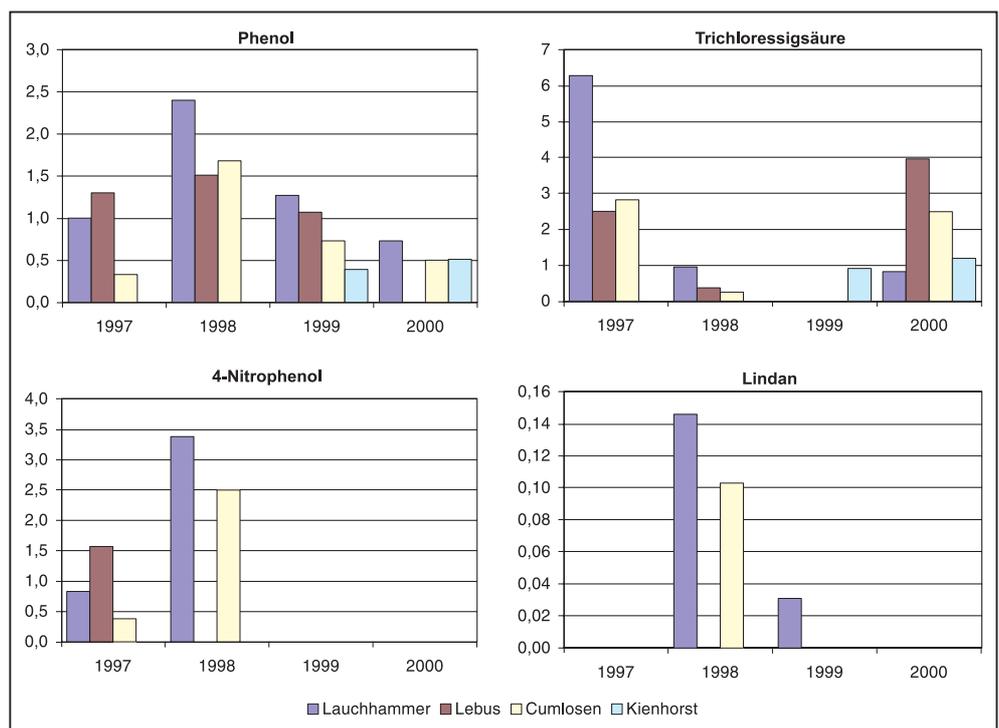


Abb. 5.50: Mittlere Bulk-Tagesfrachten ausgewählter flüchtiger und schwerflüchtiger Kohlenwasserstoffe (Angaben in µg/(m²·d))

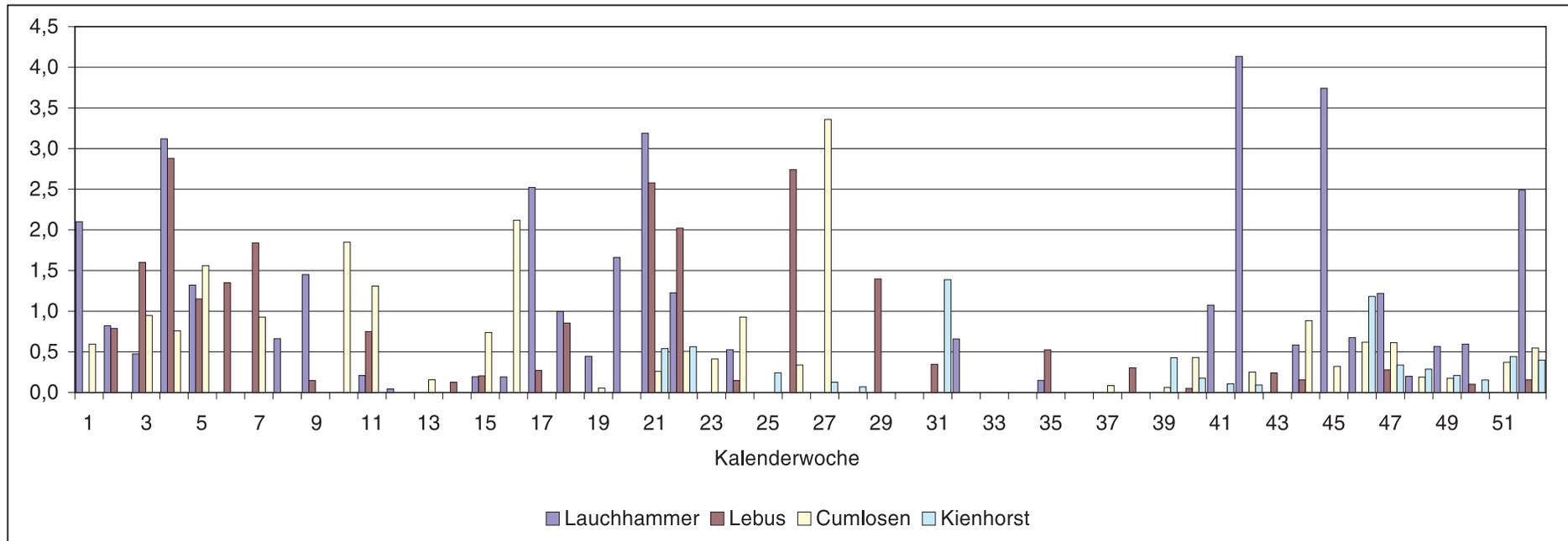


Abb. 5.51: Wochenmittelwerte der Phenolkonzentrationen (Bulk) im Niederschlag im Jahr 1999 (Angaben in $\mu\text{g/l}$)

programm aufgenommen. Bei Nachweisgrenzen im Bereich 1–5 ng/l wurden jedoch kaum auswertbare Daten erhalten. Gemessen wurden 6 PCB, dabei wurden deutlich erhöhte Konzentrationen in den Monaten Mai bis Oktober festgestellt, wobei das PCB 28 (2,4,4'-Trichlorbiphenyl) dominierte. PCB gasen im Sommer verstärkt aus anderen Umweltmedien aus [137]. Die niedrig chlorierten PCB dominierten. Insbesondere das PCB 28 war im Sommer auffällig, wahrscheinlich infolge seines relativ hohen Dampfdruckes und seiner guten Wasserlöslichkeit. Die mittlere Bulk-Tagesfracht für die Summe der 6 PCB von 0,09 µg/(m²·d) in Lauchhammer (1997) war vergleichsweise hoch. In nordrhein-westfälischen Großstädten wurde 1997 im Mittel eine Bulk-Fracht für diese Stoffgruppe von 0,025 µg/(m²·d) gemessen. In Kehl wurden im Sommer 1998 Werte um 0,04 µg/(m²·d) gemessen. Bei beiden Messkampagnen erbrachte PCB 153 den höchsten Beitrag zur Summe der 6 PCB [138].

Aus der Stoffgruppe der Chlorpestizide wurden 7 Einzelstoffe der Gruppe sowie zwei Abbauprodukte des Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) (DDD-p,p'; DDE-p,p') gemessen. Auswertbare Ergebnisse liegen nur für Lindan mit Befundhäufigkeiten oberhalb der Nachweisgrenze von 10–64 % vor. An der Messstelle Lauchhammer wurde für Lindan in allen Messjahren ein deutlicher Jahresgang mit einem Maximum im Frühjahr festgestellt. Die an der Messstelle Lauchhammer gemessenen täglichen Lindan-Frachten zwischen 0,03 und 0,15 µg/(m²·d) und an der Messstelle Cumlosen (1998) mit 0,10

und 0,14 µg/(m²·d) ermittelten Frachten liegen deutlich unter den Werten, die Anfang der 90er Jahre in der Bundesrepublik gemessen wurden (um 0,5 µg/(m²·d)) [139].

Auf der Basis von 32 verschiedenen gemessenen Wirkstofffrachten wird in der Literatur [139] eingeschätzt, dass die aus der Niederschlagsdeposition resultierende Pflanzenschutzmittelfracht um 3 Zehnerpotenzen niedriger ist als die üblicherweise in landwirtschaftlich genutzten Gebieten ausgebrachte Gesamt-Wirkstoffmenge (1–10 kg/(ha·a)). Eine erhebliche ökologische Relevanz der in Brandenburg ermittelten Deposition von Pflanzenschutzmitteln ist daher im Allgemeinen nicht gegeben.

Die ermittelten Lindan-Konzentrationen lagen bis zu 2 Größenordnungen unter dem WHO-Richtwert (2 µg/l).

Phthalate

Phthalate gelten als ubiquitär und sind mittlerweile in allen Kompartimenten gleichermaßen zu finden. Gemessen wurden Dimethylphthalat (DMP), Diethylphthalat (DEP), Di-n-butylphthalat (DBP), Di-n-octylphthalat (DOP), Benzylbutylphthalat (BBP) und Di-(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP). Bei Nachweisgrenzen von ca. 100- 500 ng/l lagen die Befundhäufigkeiten für alle Phthalate unter 50 % (Abb. 5.52). In Übereinstimmung mit Literaturangaben [134, 135] wurde DOP am wenigsten gefunden.

Abb. 5.52: Befundhäufigkeit der Phthalate (Angaben in %)

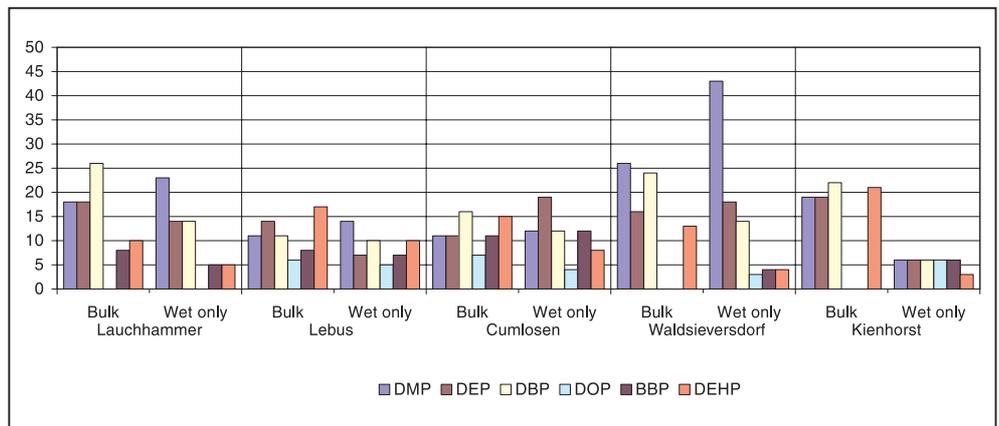
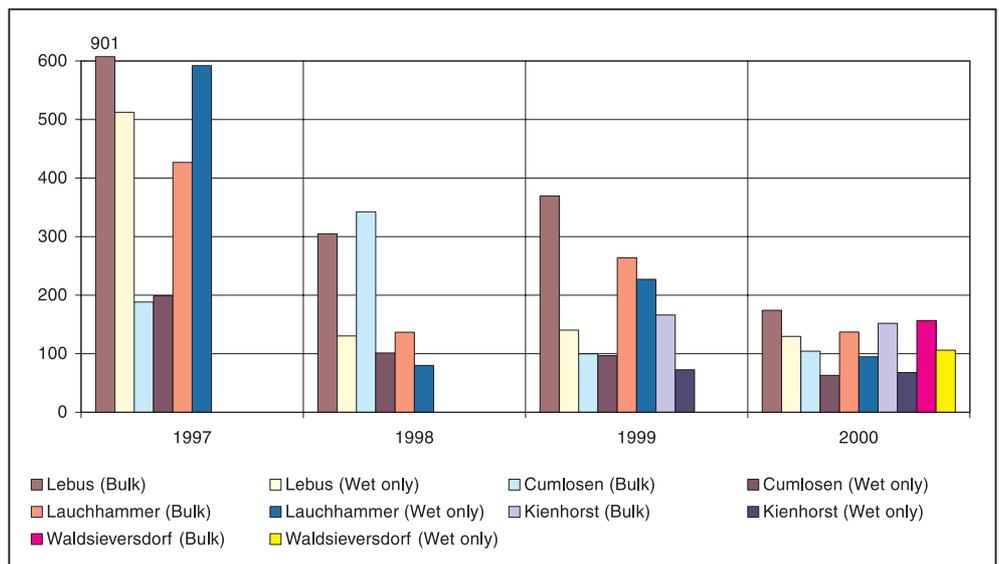


Abb. 5.53: Entwicklung der PAK-Jahresfrachten (Summe der 6 PAK gemäß TrinkV) (Angaben in mg/ha)



Es ergab sich folgende Reihenfolge in der Häufigkeit der Messwerte oberhalb der Nachweisgrenze: DMP > DBP > DEP > DEHP > BBP > DOP.

Die höchste Einzelkonzentration wurde für DEP mit 13 µg/l festgestellt. Auffällig war der große Unterschied zwischen den Bulk- und Wet-only-Befunden am selben Standort (ca. 2:1).

Bewertung

Aus der Gruppe der flüchtigen und schwerflüchtigen Kohlenwasserstoffe ergaben sich bei nachstehenden Stoffen für das

Jahr 2000 nennenswerte Bewertungszahlen: Essigsäure (126), Ameisensäure (124), Monochloressigsäure (88), Trichloressigsäure (81), Dichloressigsäure (74), Phenol (70).

5.2.3.4 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Die Entwicklung der PAK-Frachten (Summe der 6 PAK gemäß Trinkwasser-Verordnung [144]) zeigt Abbildung 5.53.

Im Vergleich zu 1997 reduzierten sich die Frachten wie folgt:

Lebus	Bulk	auf 41 % im Jahr 1999, auf 19 % im Jahr 2000
	Wet-only	auf 27 % im Jahr 1999, auf 25 % im Jahr 2000
Lauchhammer	Bulk	auf 62 % im Jahr 1999, auf 32 % im Jahr 2000
	Wet-only	auf 38 % im Jahr 1999, auf 16 % im Jahr 2000

Als Vergleich zu vorstehenden Befunden sei erwähnt, dass an der Messstelle Cottbus (Landesumweltamt) die Immission der Summe der 6 PAK (an Schwebstaub gebunden) im Vergleich zu 1997 im Jahr 1999 auf 53 % und im Jahr 2000 auf 41 % gesunken war. Die Schwebstaubimmission war an dieser Messstelle dagegen im Jahr 1999 nur auf 74 % und im Jahr 2000 nur auf 72 % gesunken, d.h. auch die Konzentrationen der PAK im Schwebstaub waren deutlich gesunken [3]. Die festgestellten PAK-Frachten sind hinsichtlich der Vorsorgewerte nach der BBodSchV [8] als irrelevant zu charakterisieren. An allen Messstellen lag die Konzentration der Summe der 6 PAK unter dem Grenzwert von 0,2 µg/l. Die Ursache hierfür könnte

die unzureichende Repräsentativität der PAK-Probenahme sein. Mit der Umstellung des Messverfahrens auf die schon erwähnte Änderung des Probenahmeverfahrens [146] wird diese Aussage neu zu bewerten sein. Hinzuweisen ist auf die Tatsache, dass auch ein Teil der PAK-Frachten aus natürlichen Emissionen (Vegetationsbrände, Vulkane, Pflanzen und Bakterien können PAK synthetisieren [135]) stammt.

Die PAK-Frachten zeigten erhebliche Unterschiede, wie das Beispiel der Summe der 6 PAK für ausgewählte Messstellen im Jahr 1999 demonstriert (Abb. 5.54).

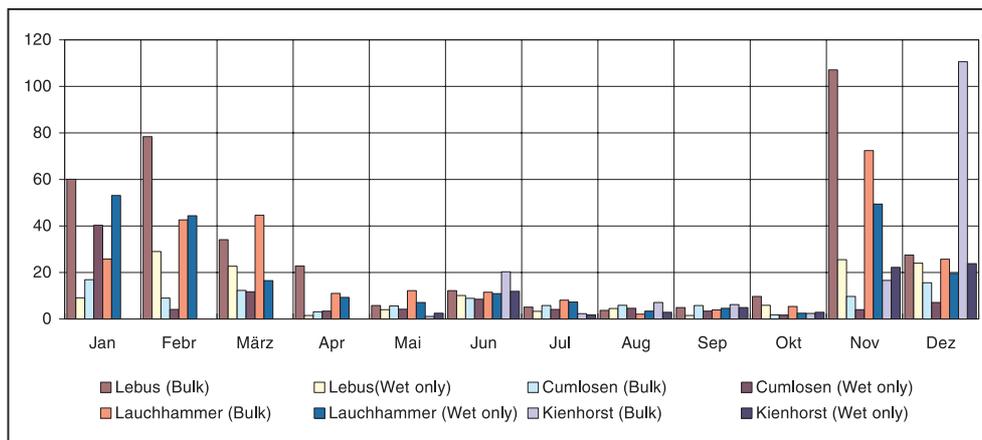


Abb. 5.54: Monatsfrachten der Summe der 6 PAK gemäß TrinkV im Jahr 1999 (Angaben in mg/ha)

Diese jahreszeitliche Variation der PAK-Frachten resultierte aus der im Winterhalbjahr verringerten atmosphärischen Thermo- und Photooxidation der luftgetragenen PAK sowie aus den in der Heizperiode erhöhten Emissionen.

An der Gesamtfracht aller 6 untersuchten PAK hatten die Einzelkomponenten deutlich unterschiedliche Anteile, wie Abbildung 5.55 verdeutlicht.

Die dominierende Komponente war das Fluoranthen mit 42 % (35–48 %) Anteil an der Gesamtfracht bei den Bulk-Proben und mit 34 % (28–40 %) bei den Wet-only-Proben. Die dominierende Rolle des Fluoranthen ist bundesweit festgestellt worden [135, 138]. Auch Bodenuntersuchungen (Entnahmetiefe: Ackerflächen 0 - 30 cm, Grünland und Wald 0–10 cm) im Biosphärenreservat Spreewald wiesen bei insgesamt 12 untersuchten PAK-Verbindungen Phenatren und Fluoranthen als dominierend aus [148]. Fluoranthen ist Bestandteil der Kraftfahrzeugabgase (besonders Diesel) und des Steinkohlen-

teers, wird beim Hausbrand und auch biogen emittiert. Die weitgehende Partikelgebundenheit des überwiegenden Teils der 6 PAK nach der TrinkV lässt erwarten, dass bei der Bulk-Probenahme höhere Befunde ermittelt werden als bei der Wet-only-Probenahme. Die in den Proben mögliche Transformation der Stoffe kann jedoch diese Situation maskieren, so dass sich in Einzelfällen die Situation so umkehrt.

Bewertung

Folgende PAK erreichten im Jahr 2000 nennenswerte Bewertungszahlen: Fluoranthen (36), Benzo(b)fluoranthen (25), Benzo(a)pyren (16), Benzo(k)fluoranthen (14). Als höchste Bonitierung wurden also nur geringe Frachten festgestellt. Mit hoher Sicherheit ist einzuschätzen, dass Anfang der 90er Jahre – zumindest im Süden Brandenburgs – hohe Frachten erreicht wurden.

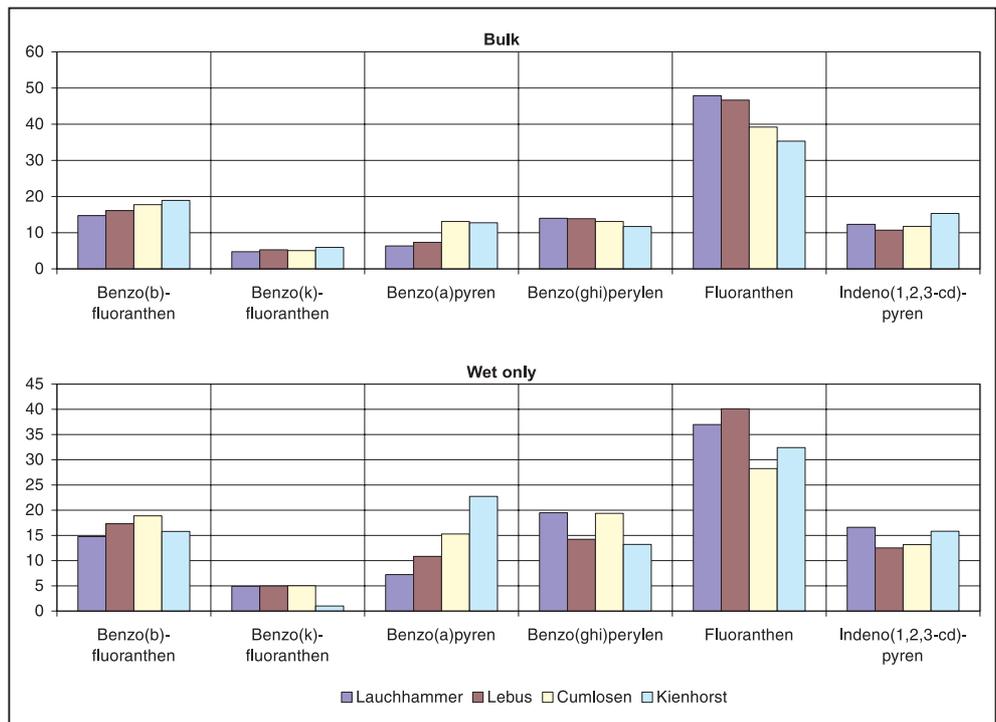


Abb. 5.55:
Anteil der Einzelkomponenten
an der PAK-Fracht im Jahr 1999
(Angaben in %)

6 Ausblick

Erhebliche Änderungen der anlagenbedingten Staubimmissionen sind perspektivisch nicht zu erwarten, so dass mittelfristig vor allem die meteorologischen Gegebenheiten die Höhe des Staubbiederschlages im Landesmittel um 100 mg/(m²·d) pendeln lassen werden. Im unmittelbaren Umfeld einzelner Quellen – insbesondere aus dem mittleren und kleineren Gewerbe – sind Grenzwertüberschreitungen nicht auszuschließen. Offene Lager- und Produktionsflächen, wie z.B. Recyclinganlagen, werden auch in absehbarer Zeit zu den lufthygienisch bedeutsamen Staubquellen zu zählen sein.

Auch der Arsen- und Schwermetalleintrag über den Staubbiederschlag wird mittelfristig keine erheblichen Änderungen erfahren. Da sich diese Belastungen in größerem Umfang aus lokalen Quellen rekrutieren, sind an einzelnen Messstellen größere Veränderungen nicht auszuschließen (z.B. im Einflussbereich von Schrottplätzen). Es werden Resuspensionen und die Winderosion junger urban-industrieller Böden und Substrate auch künftig eine Rolle spielen. Junge Gewerbe- und Industrieböden haben häufig ein leicht erodierbares Einzelkorngefüge [149]. Es ist jedoch davon auszugehen, dass dieser Schadstoffpool, der sich zumeist seit den 80er Jahren aufgebaut hatte, in den letzten Jahren in erheblichen Teilen an der Oberfläche abgetragen wurde.

Die mittelfristige Entwicklung der Schadstofffrachten über die Niederschlagsdeposition in Brandenburg wird nicht nur bestimmt durch die Emissionsentwicklung in Brandenburg und in der Bundesrepublik insgesamt, sondern - zumindest bei nicht partikelgebundenen Einträgen - durch die Entwicklung im europäischen Raum. Damit ist die Prognose mit größeren Unsicherheitsfaktoren behaftet. Auf der Basis der Erkenntnisse aus den Untersuchungen der Entwicklung der letzten Jahre zu den

Herkunftsräumen ausgewählter Frachten und unter Berücksichtigung der aus EU- und UNECE-Verpflichtungen erwachsenden Emissionsminderungen (insbesondere in osteuropäischen Ländern) wird eingeschätzt, dass sich bis 2010

- die Schadstofffrachten weiter in geringem Umfang verringern werden,
- die Stickstofffrachten mittelfristig keine tendenziellen Veränderungen erwarten lassen oder günstigenfalls in geringem Umfang zurückgehen,
- die versauernde Wirkung der Niederschläge nur geringfügig abnehmen wird,
- die Arsen- und Schwermetallfrachten gleich bleiben oder günstigenfalls in geringem Umfang reduziert werden.

Die Entwicklung der Emissions- und Immissionsituation und der erreichte Kenntnisstand zu Höhe und Spurenstoffgehalt des Staubbiederschlages sowie zu den Frachten der Niederschlagsdeposition erlauben es, das Messprogramm zukünftig zu reduzieren – sowohl hinsichtlich der Zahl der Messstellen also auch hinsichtlich des zu untersuchenden Stoffspektrums. Das durch Rechts- und Verwaltungsvorschriften vorgegebene „Pflichtprogramm“ wird allerdings in einigen Bereichen (vor allem für ökologische Fragestellungen) nicht hinreichend sein. Vorliegende oder in Diskussion befindliche Vorschläge für prioritär zu erfassende Stoffe, z.B. der EG [150], sind bei zukünftigen Messprogrammen unbedingt zu berücksichtigen. Auf der Basis der vorliegenden Daten erscheint es aber auch sinnvoll, bestimmte Messaufgaben nicht mehr kontinuierlich oder quasikontinuierlich zu absolvieren, sondern nur noch in Jahreszeiten mit ein- oder mehrjährigen Unterbrechungen. Die vorliegende Studie ist eine solide Basis zur Optimierung der Messprogramme.

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.): Immissionsschutzbericht 1992 (1993) bis Immissionsschutzbericht 1998 (1999)
- [2] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Luftgütemessnetz – Jahresbericht 1991 (1992)
- [3] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Luftqualität in Brandenburg – Jahresbericht 1992 (1993) bis Jahresbericht 2000 (2001)
- [4] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Luftqualität 1975 bis 1990 – Ein Rückblick für das Gebiet des heutigen Landes Brandenburg, Titelreihe Studien und Tagungsberichte Bd. 5 (1995)
- [5] RAUH, W.: Untersuchungen zur unterschiedlichen Anwendung des Bergerhoff-Verfahrens – Vergleich der Nass- und Trockenauffangmethode. Immissionsschutz (1999), S. 11
- [6] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Staubimmission und Spurenstoffgehalt des Staubes im Land Brandenburg, Titelreihe Fachbeiträge des Landesumweltamtes Nr. 39 (1998)
- [7] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) vom 17.03.1998 (BGBl. I, S. 502)
- [8] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999 (BGBl. I, S. 1554)
- [9] Norm E DIN 19739-1, Luftbeschaffenheit und Bodenbeschaffenheit: Messen der atmosphärischen Deposition organischer Stoffe – Trichter-Adsorber-Verfahren – Teil 1: Sammelgerät, 1. Vorentwurf vom 23.05.2000
- [10] Richtlinie VDI 2119 Blatt 1, Messung partikelförmiger Niederschläge – Übersicht (Juni 1972)
- [11] Richtlinie VDI 2119 Blatt 2, Messung partikelförmiger Niederschläge – Bestimmung des Staubniederschlages mit Auf-fanggefäßen aus Glas (Bergerhoff-Verfahren) oder Kunststoff (September 1996)
- [12] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.): Atmosphärische Deposition – Richtlinie für Beobachtung und Auswertung der Niederschlagsbeschaffenheit (1998)
- [13] SPRANGER, T.; KÖBLE, R.: Methodik der Erfassung von Critical-level- und Critical-load-Überschreitungen. In: NAGEL, H.-D.; GREGOR, H.-D. (Hrsg.): Ökologische Belastungsgrenzen: ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik = Critical loads & levels. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1999, S. 145
- [14] DIENES, K.: Auswirkungen des neuen Bodenschutzrechts auf das Immissionsschutzrecht. Immissionsschutz (2000), S. 4
- [15] Gemeinsame Arbeitsgruppe von LABO, LAGA, LAWA, LAI: Harmonisierung bodenbezogener Werteregelungen. Bericht für die 100. Sitzung des LAI vom 16.-18.10.2000, unveröffentlichtes Arbeitsmaterial
- [16] WERNER, B.; HENZE, C.-H.; NAGEL, H.-D.: Critical Loads für den Stickstoffeintrag. In: NAGEL, H.-D.; GREGOR, H.-D.: Ökologische Belastungsgrenzen: ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik – Critical loads & levels. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1999, S. 80
- [17] ERISMAN, J.-W.; VAN LEEWEN, E. P.; SPRANGER, T.: Erfassung der trockenen Deposition. In: NAGEL, H.-D.; GREGOR, H.-D. (Hrsg.): Ökologische Belastungsgrenzen: ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik = Critical loads & levels. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1999, S. 194
- [18] KÖBLE, R.; GAUGER, T.; SMIATEK, G.: Flächenhafte Gesamtdeposition. In: NAGEL, H.-D.; GREGOR, H.-D. (Hrsg.): Ökologische Belastungsgrenzen: ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik = Critical loads & levels. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1999, S. 216
- [19] GAUGER, T.; KÖBLE, R.; SMIATEK, G.: Erfassung der nassen Deposition. In: NAGEL, H.-D.; GREGOR, H.-D. (Hrsg.): Ökologische Belastungsgrenzen: ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik = Critical loads & levels. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1999, S. 171
- [20] Gesetz zur Einführung der Regionalplanung und der Braunkohlen- und Sanierungsplanung im Land Brandenburg (RegBkPLG) vom 13.05.1993 (GVBl. I, S. 11)
- [21] Richtlinie VDI 2267 Blatt 4, Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft: Messen von Blei, Cadmium und deren anorganischen Verbindungen als Bestandteil des Staubniederschlages mit der Atomabsorptionsspektrometrie (März 1987)
- [22] Richtlinie VDI 2267 Blatt 6, Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft: Messen der Cadmium-Massenkonzentration mit der Atomabsorptionsspektrometrie (März 1987)
- [23] Richtlinie VDI 2267 Blatt 7, Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft: Messen von Thallium und seinen anorganischen Verbindungen als Bestandteil des Staubniederschlages mit der Atomabsorptionsspektrometrie (November 1988)
- [24] Hessische Landesanstalt für Umwelt: Bericht über Staubniederschlagsmessungen im Land Hessen von 1985–1992. Reihe Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, 1994
- [25] UMEG Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH: Jahresbericht 1998 (1999)
- [26] UMEG Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH: Jahresbericht 1991 – Luftschadstoffmessungen, 1992
- [27] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Lufthygienischer Jahresbericht 1998, Schriftenreihe des Landesamtes, Heft 157, 1999
- [28] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Lufthygienischer Jahresbericht 1991, Schriftenreihe des Landesamtes, Heft 118, 1992
- [29] Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (Hrsg.): Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen – Jahresbericht 1998 (1999)
- [30] Niedersächsisches Umweltministerium/ Niedersächsisches Landesamt für Immissionsschutz (Hrsg.): Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen – Jahresbericht 1991 (1992)

- [31] Staatliches Umweltamt Itzehoe (Hrsg.): Immissionsüberwachung der Luft in Schleswig-Holstein – Messbericht 1998 (1999)
- [32] Der Minister für Natur, Umwelt und Landesentwicklung des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.): Immissionsüberwachung der Luft in Schleswig-Holstein – Messbericht 1991 (1992)
- [33] Ministerium für Umwelt des Saarlandes (Hrsg.): Luftgütebericht 1998 – Immissionsmessnetz Saar (1999)
- [34] Richtlinie VDI 2309 Blatt 1, Ermittlung von Maximalen Immissions-Werten; Grundlagen (März 1983)
- [35] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 27.02.1986 (GMBL., S. 95)
- [36] SCHÜTZE, G.; GREGOR, H.-D.; NAGEL, H.-D.: Wirkungsbezogene Grenzwerte für Schwermetalle. Umwelt-Archiv Nr. 10 (2000), S. 11
- [37] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz (Hrsg.): Luftverschmutzung in Berlin im Jahr 1991. Luftgüte-Messnetz (BLUME) – Informationsreihe zur Luftreinhaltung in Berlin Nr. 17 (1992)
- [38] Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Immissionsschutzbericht 1991 des Landes Sachsen-Anhalt. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Heft 2 (1992)
- [39] Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Luftqualität in Nordrhein-Westfalen, LIMES – Jahresbericht 1994 – Diskontinuierliche Luftqualitätsmessungen, Reihe A – Staubbiederschlag und Inhaltsstoffe (1996)
- [40] Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Immissionsschutzbericht 1994. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Heft 17 (1995)
- [41] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Lufthygienischer Jahresbericht 1994, Schriftenreihe des Landesamtes, Heft 133 (1995)
- [42] Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.): Jahresbericht zur Immissionssituation 1994. Materialien zur Luftreinhaltung 1/1995
- [43] Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Luftgütebericht 1994/1995 für Mecklenburg-Vorpommern (1996)
- [44] Die Ministerin für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.): Immissionsüberwachung der Luft in Schleswig-Holstein – Messbericht 1994 (1995)
- [45] Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (Hrsg.): Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen – Jahresbericht 1994 (1995)
- [46] Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): Luftgütebericht 1996/1997 (1998)
- [47] Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Immissionsschutzbericht 1998. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Heft 31 (1998)
- [48] Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.): Jahresbericht zur Immissionssituation 1998/1999 (2000)
- [49] Umweltbehörde der Hansestadt Hamburg (Hrsg.): Luftbericht Hamburg 1997 (1998)
- [50] Hessischer Minister für Umwelt und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Luftreinhalteplan Untermain (1988)
- [51] BALLA, H.; SCHMIDT, R.; SCHOLZ, B.: Pedogene Hintergrundwerte ausgewählter Böden Brandenburgs. Abschlussbericht zum LUA-Projekt A 8-12/93 (1995)
- [52] WHO Regional Office for Europe: Update and Revision of the Air Quality Guidelines for Europe, Meeting of the working group Classical Air Pollutants, EUR/ICP/EHAZ 94 05/PB01 Bilthoven, The Netherlands 11–14 October 1994
- [53] TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH: Die Entwicklung der Schwermetallemissionen in der Bundesrepublik Deutschland von 1985 bis 1995, Forschungsbericht 94-104 03 524 im Auftrag des UBA, 1995
- [54] Bundesamt für Umweltschutz Bern (Hrsg.): Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 52 (1986)
- [55] Ministerium für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Luftreinhalteplan Trier-Konz 1990–1997 (1996)
- [56] STREIT, B.: Lexikon der Ökotoxikologie. Weinheim, New York, Basel, Cambridge: VCH Verlagsgesellschaft 1992
- [57] EIKMANN, T.; KLOKE, A.: Nutzungs- und schutzbezogene Orientierungswerte für Schadstoffe in Böden. In: ROSENKRANZ, D.; EINSELF, G.; HARRESS, H.-M. (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzendes Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. 1. Band: Grundlagen, Informationen und Bodenbelastung. Berlin: Schmidt, Loseblattsammlung. (1993)
- [58] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (Hrsg.): Luftreinhalteplan Rhein-Main (1. Fortschreibung), 1991
- [59] LAHMANN E.: Schwermetall-Immissionen – Niederschlag, Schwebstaub, Korngrößen, Trend. In: LAHMANN, E.; JANDER, K. (Hrsg.): Schwermetalle in der Umwelt. Stuttgart, New York: Fischer 1987
- [60] Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Immissionsschutzbericht 1997. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Heft 27 (1998)
- [61] KÜHLING, W.; PETERS, H.-J.: Die Bewertung der Luftqualität bei Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP spezial). 2. Auflage, Dortmund: Dortmund Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur 1995
- [62] Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) vom 19.09.2001 (BGL. I, S. 2351)
- [63] KUYLAARS, K.; KUYLAARS, M.; BURGHARDT, W.: Eigenschaften einer Industriebrache unter dem Aspekt der Möglichkeit des Austrages belasteter bodenbürtiger Stäube – Staubablagerungen der Eisenhüttenindustrie. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 91 (1999), S. 1057
- [64] DÄMMGEN, U.; SCHOLZ-SEIDEL, C.; ZIMMERLING, R.: Die Qualität von Messungen von Bulk-Deposition anorganischer Spezies. In: GRÜNHAGE, L.; HANEWALD, K.; JÄGER, H.-J.; OTT, W. (Hrsg.): Auswirkungen dynamischer Veränderungen der Luftzusammensetzung und des Klimas auf terrestrische Ökosysteme in Hessen. Umweltbeobachtungs- und Klimaforschungsstation Linden – Berichtszeitraum 1996–1999 (2000)

- [65] Vierte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Ermittlung von Immissionen in Untersuchungsgebieten – 4. BImSchVwV) vom 26.11.1993 (GMBL., S. 825)
- [66] Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg: Luftreinhalteplan Großraum Stuttgart 1991, UM-20-91
- [67] GAUGER, T.; KÖBLE, R.; ANSHELM, F.: Kritische Luftschadstoff-Konzentration und Eintragsraten sowie ihre Überschreitung für Wald und Agrarökosysteme sowie naturnahe waldfreie Ökosysteme, Teil 1: Deposition Loads 1987–1989 und 1993–1995. Forschungsendbericht 297 85 079 im Auftrag des Umweltbundesamtes (2000)
- [68] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), Arbeitspapier zur Novellierung vom 08.12.2000
- [69] WIESERT, P.; RIPPEN, G.; DORR, H.: Die Verfrachtung von Schadstoffen durch Winderosion – Versuch einer Quantifizierung. *altlasten spektrum* 2 (1996), S. 79
- [70] LOHMEYER, A.; SCHMIDT, W.; THEURER, W.; RÜHLING, A.: Staubabwehrung von ruhenden Halden. *altlasten spektrum* 5 (1998), S. 281
- [71] Länderausschuss für Immissionsschutz (Hrsg.): Bewertung von Chrom-, Nickel- und Styrol-Immissionen. LAI-Schriftenreihe Bd. 21, Berlin: Erich Schmidt 1998
- [72] Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Luftreinhalteplan Kassel (1. Fortschreibung), 1999
- [73] PFAFF, M.; SCHÜTZE, G.: Auswirkungen von Güllehochlastflächen in den neuen Ländern auf Böden und Gewässer und Entwicklung von Maßnahmen zur Minderung der davon ausgehenden Umweltbelastungen. Forschungsbericht 10702004/05 UBA-FB 95-006, UBA-Texte 17/95
- [74] Richtlinie VDI 3870 Blatt 1, Messen von Regeninhaltsstoffen – Kriterien für Aufbau, Aufstellung und Betrieb von Regenwassersammlern (Entwurf Juli 1985)
- [75] WINKLER, P.; GEORGII, H.-W.; ANDERSSON, T.: Vergleich der Depositionsmessungen in der Bundesrepublik Deutschland und in der ehemaligen DDR. Umweltbundesamt (1993)
- [76] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Untersuchungen der Oder zur Belastung der Schwebstoff- und Sedimentphase und angrenzender Bereiche. Titelreihe Studien und Tagungsberichte (ISSN 0948-0838), Band 20/21, (1999) S. 115
- [77] MERTEN, O.: Ein neuartiger Niederschlagsammler zur Gewinnung von Proben für die Analytik organischer Spurenstoffe. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 60 (2000), S. 69
- [78] STUMM, W.; MORGAN, J. J.: *Aquatic chemistry – an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*. John Wiley & Sons Inc. (1970)
- [79] Meteorologischer Dienst der DDR: Bericht über die Niederschlagswasseranalysen für das Sommerhalbjahr 1988 gemäß Verfügung 6/86 des Stellvertreters des Vorsitzenden des Ministerrates und Ministers für Umweltschutz und Wasserwirtschaft, unveröffentlicht (1988)
- [80] dito; Winterhalbjahr 1988/89 (1989)
- [81] dito; Sommerhalbjahr 1989 (1989)
- [82] SIMON, K. H.; WESTENDORFF, K.: Stoffeinträge mit dem Niederschlag in Kiefernwäldern des nordostdeutschen Tieflandes in den Jahren 1985–1989. *Beitr. Forstwirtschaft* 25 (1991), S. 177
- [83] MARQUARDT, W.; BRÜGGEMANN, E.; IHLE, P.: Trends in the composition of wet deposition: effect of the atmospheric rehabilitation in East Germany. *Tellus* 48 B (1996), S. 361
- [84] Institut für Wasserwirtschaft Berlin und Wasserwirtschaftsdirektion Obere Elbe – Neiße, Dresden: Aufklärung der langfristigen Wirkung saurer Depositionen auf die Beschaffenheit des Sicker- und Grundwassers – FU3. (1989), unveröffentlicht
- [85] Institut für Wasserwirtschaft Berlin: Auswirkungen von ausgewählten Schadstoffen im Niederschlagswasser auf wasserwirtschaftlich relevante Stoffbilanzen im Lysimeterversuch und auf das Grundwasser unter besonderer Berücksichtigung von Stickstoff und pH-Wert. (1986), unveröffentlicht
- [86] KIRCHNER, M.; BRAEUTIGAM, S.; RÖMMELT, H.; FEICHT, E.; KETTRUP, A.: Ammoniakemissionen aus dem Verkehrsbereich. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 60 (2000), S. 383
- [87] ACKER, K. et al.: Atmospheric research program for studying changing emission patterns after german unification. *Atmospheric Environment* 32 (1998), S. 3435
- [88] BRÜGGEMANN, E.; ROLLE, W.: Changes of some components of precipitation in east germany after the unification. *Water, Air and Soil Pollution* 107 (1998), S. 1–23
- [89] HOLSCHER, J. et al.: Boden- und Gewässerbelastung in Niedersachsen durch Stoffeinträge aus der Atmosphäre. *Wasser & Boden* 1 (1994), S. 20–25
- [90] KÖBLE, R.; NAGEL, H.-D.; SMIATEK, G.; WERNER, B.; WERNER, L.: Erfassung immissionsempfindlicher Biotope in der Bundesrepublik Deutschland und in anderen ECE-Ländern. Forschungsbericht 108 02 080, Umweltbundesamt (1993)
- [91] SIGG, L.; STUMM, W.: *Aquatische Chemie*, Zürich: vdf Hochschulverlag, 1996
- [92] NAGEL, H.-D.; SMIATEK, G.; WERNER, B.: Das Konzept der kritischen Eintragsraten als eine Möglichkeit zur Bestimmung von Umweltbelastungs- und Qualitätskriterien. In: Sachverständigenrat für Umweltfragen 20 (1994)
- [93] RICHTER, D.: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers; *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 194 (1995), Offenbach: Selbstverlag des DWD (1995)
- [94] CHMARA, I.; KNOBLAUCH, S.; ZIEGLER, G.: Untersuchungsergebnisse zur atmosphärischen Deposition und ihrer Auswirkungen im Freistaat Thüringen. In: P. IHLE (Hrsg.): *Atmosphärische Depositionen in der Bundesrepublik Deutschland*. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2001, S. 149
- [95] GAUGER, T.; KÖBLE, R.; SMIATEK, G.: Kartierung kritischer Belastungskonzentrationen und -raten für empfindliche Ökosysteme in der Bundesrepublik Deutschland und anderen ECE-Ländern: Institut für Navigation der Universität Stuttgart im Auftrag des Umweltbundesamtes; Stuttgart (1997)

- [96] KÜCHLER, W.: Persönliche Mitteilung (2000)
- [97] IHLE, P.; BIEBER, E.; KALLWEIT, D.: Das Depositionsmessnetz des Umweltbundesamtes: In: IHLE, P. (Hrsg.): Atmosphärische Depositionen in der Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2001, S. 46
- [98] PRUESS, A.; BORHO, W.; KOHL, R.; GRIMM-STRELE, J.; WILPERT, K. v.; HUG, R.: Depositionsmessungen in Baden-Württemberg: In: IHLE, P. (Hrsg.) Atmosphärische Depositionen in der Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: B.G.Teubner Verlag 2001, S. 167
- [99] CONRAD, S.; KÜCHLER, W.: Entwicklung der luftschadstoffbedingten regionalen Umweltprobleme Versauerung und Eutrophierung in Sachsen 1989–1999; In: IHLE, P. (Hrsg.) Atmosphärische Depositionen in der Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2001, S. 101
- [100] KALLWEIT, R.: Kalkulation von Vorräten und Umsätzen oberirdischer Biomassekompartimente und Nährstoffmengen der Kiefernbestände an den level-II-Flächen Brandenburgs. Beitr. Forstwirtschaft. u. Landsch.ökol. 35 (2001), S. 37
- [101] VAN LEEUWEN, E.; DRAAIJERS, G.: Mapping dry deposition of acidifying components and base cations on a small scale in Germany. National Institute of Public Health and the Environment, Report No. 722108012; Bilthoven 1996
- [102] UN ECE: Manual on Methodologies for Mapping Critical Loads / Levels and Geographical Areas where they are exceeded; Umweltbundesamt, Texte 71/96, Berlin 1996
- [103] ECKERMANN, U.; KOHLER, G.; POMMERENING, C.: Atmosphärische Stoffeinträge in Schleswig-Holstein: In: IHLE, P. (Hrsg.): Atmosphärische Depositionen in der Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag 2001, S. 81
- [104] LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser): Positionspapier Atmosphärische Deposition – Messung der Niederschlagsbeschaffenheit aus wasserwirtschaftlicher Sicht; Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Eigenverlag, Bonn 1993
- [105] WILSNACK, D.: Fluorwasserstoff-Messkampagne in Deutschneudorf und Zinnwald. In: OMKAS Newsletter Nr. 3, S. 23; Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie; Dresden (1999)
- [106] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Ferntransporte von Luftverunreinigungen nach Baden-Württemberg. Reihe Luftqualität, Lärm, Verkehr 3 (2000)
- [107] MÖLLER, D.; LUX, H. (Hrsg.): Deposition atmosphärischer Spurenstoffe in der ehemaligen DDR bis 1990, Schriftenreihe der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Band 18 (1992)
- [108] GRAVENHORST, G.; KREILEIN, H.; SCHNITZLER, K.-G.; IBROM, A.; NÜTZMANN, E.: Trockene und nasse Depositionen von Spurenstoffen aus der Atmosphäre. In: Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie. Bd. 1 B: Atmosphäre. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 2000
- [109] Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (Hrsg.): Bilanzierung der Stickstoffemission in Niedersachsen. Schriftenreihe Nachhaltiges Niedersachsen – Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung, Heft 14 (2000)
- [110] GREGOR, H.-D.; JERING, A.; MOHAUPT, V.; SPRANG, T.; STROGIES, M.; WERNER, B.: Stickstoffüberschüsse in der Umwelt. Umwelt kommunale ökologische Briefe Nr. 01/07.01. (1998)
- [111] Umweltbundesamt (Hrsg.): Jahresbericht 1999 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes. UBA-Texte 58/2000.
- [112] Mitteilungen der Messnetz-Datenzentrale des Umweltbundesamtes in Langen (1995 bis 2000)
- [113] KALLWEIT, R.: Persönliche Mitteilung (2001)
- [114] NILSSON, J.: Critical Loads for Sulphur and Nitrogen; Report from a Nordic Working Group; Stockholm (1986)
- [115] NILSSON, J.; GRENFELT, P.: Critical Loads for Sulphur and Nitrogen. Report from a workshop held at Skokloster, Sweden; 19.-24. March 1988; Nordic Council of Ministers, Kobenhavn (1988)
- [116] WEISDORFER, M.: Einfluss unterschiedlicher Schwefel- und Staubbimmissionen in der Vergangenheit auf die chemische Entwicklung von Humusaufgaben und Mineralböden in Kiefernwaldökosystemen im norddeutschen Tiefland. Dissertation an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung Bd. 4 (1999)
- [117] ZIEGLER, G.; WERNER, L. ET AL.: Langfristige Auswirkungen des Stoffeintrages durch atmosphärische Depositionen auf die Grundwasserbeschaffenheit im Festgesteinsbereich der neuen Bundesländer: BMFT-Bericht der Landesanstalt für Umwelt, Jena 1992
- [118] Landesumweltamt Brandenburg: Konzept zum Grundwassermonitoring für das Land Brandenburg – Teil Beschaffenheit; UWG Berlin, 1993, unveröffentlicht
- [119] Landesforstanstalt Eberswalde: Der Bodenzustand in den Wäldern Brandenburgs; Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen der Jahre 1989–1994, Landesanstalt für Forstplanung / Landesforstanstalt Eberswalde, 1999
- [120] BOLTE, A.; LESSNER, C.; MÜLLER, J.; KALLWEIT, R.: Zur Rolle der Bodenvegetation im Stoff- und Wasserhaushalt von Kiefern-ökosystemen – Level II Untersuchungen in Brandenburg; Beitr. Forstwirtschaft. u. Landsch.ökol. 35 (2001) 1, S. 26
- [121] CARSTENS, I.: Subozeanische Heiden in Schleswig-Holstein - eine pflanzengeographische Untersuchung: Diplomarbeit Universität Kiel, 1990
- [122] ELSNER, D. C.: Böden und Bodeneigenschaften einer Geestlandschaft Schleswig-Holsteins: Diplomarbeit Universität Kiel, 1990
- [123] SCHIMMING, C.-G.: Kontamination von Böden / Belastung mit Metallen. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Landsberg: ecomed 1990
- [124] PEICHL, L.: Empfehlung des Länder-Arbeitskreises „Bioindikation/Wirkungsermittlung“ für die landesweite Erhebung von Immissionswirkungen mit Bioindikatoren. UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 9 (1997), S. 273
- [125] LAHMANN, E.: Schwermetallniederschläge in der Bundesrepublik Deutschland. In: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.): Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Böden. VDI Berichte 837 (1990)
- [126] REECK; R.; MERTEN, O.; TUCEK, E.; KLONEK, I.: Depositionsmessungen an ausgewählten Messstellen entlang der Grenzoder. Forschungsbericht des Landesumweltamtes Brandenburg, 1997, unveröffentlicht

- [127] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg und ROTH, L. (Hrsg.): Grenzwerte - Kennzahlen zur Umweltbelastung in Deutschland und in der EG. 12. Ergänzungslieferung, Landsberg: ecomed 2000, S. 121
- [128] Hessisches Ministerium des Inneren und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz (Hrsg.): 14 Jahre Niederschlagsdeposition in Hessischen Waldgebieten. Forschungsberichte der Hessischen Landesanstalt für Forsteinrichtungen, Waldforschung und Waldökologie, Bd. 25, 1998
- [129] DÄMMGEN, U.; SCHOLZ-SEIDEL, C.; ZIMMERLING, R.: Bulk deposition of air-borne nutrients and heavy metals in Northeast - Brandenburg. In: MÖLLER, D.; REIMER, E.; SCHALLER, E. (Hrsg.): Atmospheric Environments Research in Change: Where Does Air Pollution Control Go? Aktuelle Reihe 6/2000 der BTU Cottbus
- [130] DÄMMGEN, U.; LÜTTICH, M.; SCHOLZ-SEIDEL, C.: Atmosphärische Deposition von Cadmium in landwirtschaftlichen Nutzflächen in Deutschland. Landbauforschung Völkerode 50 (2001), S. 103
- [131] SCHULTE, A.; GEHRMANN, J.: Entwicklung der Niederschlags-Deposition von Schwermetallen in Westdeutschland. 2. Arsen, Chrom, Kobalt und Nickel. Z. Pflanzenernährung – Bodenkunde 159 (1996), S. 385
- [132] DÄMMGEN, U.; GRÜNHAGE, L.; KÜSTERS, A.; SCHOLZ-SEIDEL, C.; JÄGER, H.-J.: Flusssichten sedimentierender Partikel. I. Anorganische Spezies. In: DÄMMGEN, H. (Hrsg.): Untersuchungen zum chemischen Klima in Südostniedersachsen. Landbauforschung Völkerode, Sonderheft 170 (1996)
- [133] SCHLEYER, R.; RAFFIUS, B.: Stoffströme organischer Substanzen von der Atmosphäre in den Untergrund: Eine Gefährdung für das Grundwasser? Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e. V. Nr. 106 (2000), S. 79
- [134] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK) (Hrsg.): Grundwassergefährdung durch organische Luftschadstoffe. Materialien des DVWK 1/2000 (2000), S. 47
- [135] RAFFIUS, B.; SCHLEYER, R.: Grundwasserbeeinflussung durch organische Luftschadstoffe. Entwurf Abschlussbericht des F+E-Vorhabens Grundwasserbelastung durch organische Luftschadstoffe im Auftrag des DVWK. Umweltbundesamt/Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (1999)
- [136] SCHLEYER, R.; FILLIBECK, J.; HAMMER, J.; RAFFIUS, B.: Beeinflussung der Grundwasserqualität durch Deposition anthropogener organischer Stoffe aus der Atmosphäre. Forschungsbericht 102 02 626, UBA FB 96-048. WaBoLu-Heft 10/96 (1996)
- [137] Umweltbundesamt (Hrsg.): Kriterien für die Erarbeitung von Immissionsminderungszielen zum Schutz der Böden und Abschätzung der langfristigen räumlichen Auswirkungen anthropogener Stoffeinträge auf die Bodenfunktion. Forschungsbericht 204 02 825, UBA FB 97 096, Texte 19/98, 1998
- [138] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg und Umweltbundesamt (Hrsg.): Ermittlung atmosphärischer Stoffeinträge in den Boden. Reihe Bodenschutz Bd. 2 (1999)
- [139] RENNER, T.: Deposition von Pflanzenschutzmitteln in Niederschlägen in einem hessischen Emissionsgebiet und an einem emissionsfernen Standort. Dissertation an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (1997)
- [140] ÖKO-DATA-Gesellschaft für Ökosystemanalyse und Umweltdatenmanagement mbH: Bestimmung und Kartierung von ökologischen Belastungsgrenzen – Critical Loads & Levels – . http://www.oekodata.com/deu/html/critical_loads.html (März 2001)
- [141] SCHLEYER, R.; RENNER, I.; MÜHLHAUSEN, D.: Beeinflussung der Grundwasserqualität durch luftgetragene organische Schadstoffe. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, WaBoLu-Heft 5 (1991)
- [142] LEVSEN, K. et al.: Organische Spurenstoffe im Regenwasser. Fraunhofer Institut für Toxikologie und Aerosolforschung, Abschlussbericht 1990
- [143] KNAPP, D. R.: Handbook of Analytical Derivation Reactions. New York: WILEY 1979
- [144] Verordnung über Trinkwasser und Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung-TrinkV) vom 22.05.86 (BGBl. I, S. 760) in der Fassung der Bekanntmachung vom 05.12.90 (BGBl. I, S. 2612, 1991, S. 227)
- [145] Norm DIN 38407, Teil 8, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F), Bestimmung von 6 polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Trink- und Mineralwasser mittels Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatographie (HPLC) (F8), DEV – 24. Lieferung 1991
- [146] Norm DIN 197 39, Teil 2, Luftbeschaffenheit und Bodenbeschaffenheit, Messen der atmosphärischen Deposition organischer Spurenstoffe-Trichter-Adsorber-Verfahren Teil 2: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, Vorentwurf vom 30.08.2000
- [147] Norm DIN EN 12673, Wasserbeschaffenheit, Gaschromatische Bestimmung einiger ausgewählter Chlorphenole im Wasser, DEV – 46. Lieferung 2000
- [148] TERYTZE, K.; BÄULKE, N.; BÖHMER, W.; MÜLLER, J.: Einschätzung der Konzentrationsprofile polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) in Böden des Biosphärenreservates Spreewald. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 10 (1998), S. 326
- [149] HOEKE, S.; POHLE, A.; SAUER, D.; BURGHARDT, W.: Einflussfaktoren der Schadstoffausbreitung durch Staubfreisetzung von Gewerbe- und Industrieböden. Bodenschutz 1 (1999), S. 6
- [150] Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Geänderter Vorschlag für eine Entscheidung des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik vom 16.01.2001, KOM (2001) 17, 2000/0035 (COD)
- [151] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Emission und Immission organischer Verbindungen im Land Brandenburg, Titelreihe Fachbeiträge des Landesumweltamtes Nr. 46 (1999)

Anhang

Anhang 1	Niederschlagsdepositionsmessstellen des Landes Brandenburg	92 – 103
Anhang 2	I1-Befunde der Staubniederschlagsmessungen ausgewählter Bundesländer	104
Anhang 3	Niederschlagsdeposition – Hauptinhaltsstoffe	105 – 111
Anhang 4	Niederschlagsdeposition – Spurenelemente	112 – 121
Anhang 5	Niederschlagsdeposition – Organica	122 – 135

Anhang 1

Niederschlagsdepositionsmessstellen des Landes Brandenburg

Übersicht

Durch das Land Brandenburg werden folgende Niederschlagsdepositionsmessstellen betrieben:

Code	Ort	Typ	h-Wert	r-Wert	Bemerkungen
L01	Lauchhammer	Freiland	5705400	4620120	Referenzmessstelle
L02	Lebus	Freiland	5810900	4672400	
L03	Waßmannsdorf	Freiland	5805800	4599500	bis 12-96
L04	Zepernick NSSt	Freiland	5836610	4602200	bis 12-99
L05	Buckow	Freiland	5827900	4537150	12-99
L06	Cumlosen	Freiland	5879000	4476000	
L07	Jerischke	Freiland	5722000	4689500	
L28	Waldsiefersdorf	Freiland	5828000	4639500	ab1999
F08	Natteheide	Freiland	5885640	4528730	Level II-Programm
F09	Natteheide	Bestand	5885640	4528730	Level II-Programm
F10	Beerenbusch	Freiland	5889750	4564660	Level II-Programm
F11	Beerenbusch	Bestand	5889750	4564660	Level II-Programm
F12	Kienhorst	Freiland	5872480	4610410	Level II-Programm
F13	Kienhorst	Bestand	5872480	4610410	Level II-Programm
F14	Schwenow	Freiland	5780237	4637641	Level II-Programm
F15	Schwenow	Bestand	5780237	4637641	Level II-Programm
F16	Weitzgrund	Freiland	5784485	4538501	Level II-Programm
F17	Weitzgrund	Bestand	5784485	4538501	Level II-Programm
F18	Neusorgefeld	Freiland	5741481	4608069	Level II-Programm
F19	Neusorgefeld	Bestand	5741481	4608069	Level II-Programm

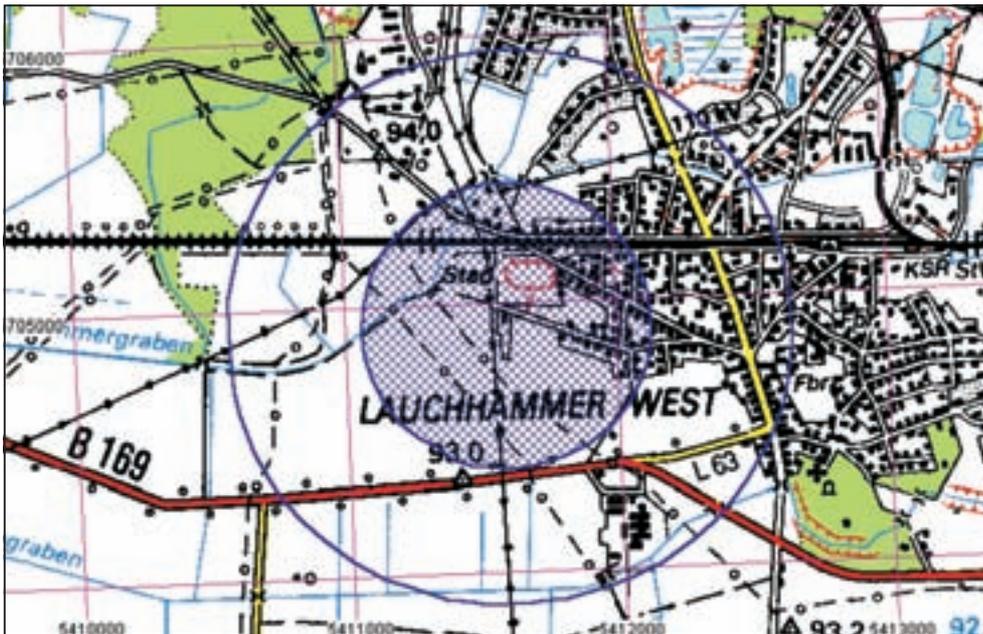
Hinweis: Alle Gauss-Krüger-Koordinaten beziehen sich auf den 4. Meridianstreifen und sind entsprechend transformiert.

Detaillierte Messstellenbeschreibung

Angaben zur Betriebszeit, zur probenahmetechnischen Ausstattung der einzelnen Messstellen, zu maßgeblichen Emittenten in deren Umfeld und Kartenausschnitte für das nähere und weitere Umfeld enthalten die nachfolgenden Messstellenkurzbeschreibungen.

Messstelle L 01 – Lauchhammer

<u>Betreiber:</u>	Landesumweltamt Brandenburg
<u>Ausstattung:</u>	Bulk-Sammler: LWF, O1, O2, O3, Dose, BERGERHOFF Wet-only Sammler: NSA 181 KE, ANTAS Klimamessstation
<u>Messbetrieb:</u>	seit 1983 lückenhaft, ab 1987 ununterbrochen
<u>Besonderheiten:</u>	Referenzmessstelle mit arbeitstäglicher Betreuung
<u>Emittenten:</u>	250 m Siedlungsgebiet im gesamten nordöstlichen und östlich Sektor
500 m Umkreis:	500 m südlich B 169 mit hohem Verkehrsaufkommen
1000 m Umkreis:	800 m südöstlich Milchviehanlage, ca. 1300 Tiere
5 km Umkreis:	nordöstlich Siedlungsgebiet Stadt Lauchhammer nördlich ehemaliger Kokereistandort



Lage (lokaler Bezug):

Westlich des Ortsteils Lauchhammer West, außerhalb der geschlossenen Siedlungsbebauung in offenem und ebenem Gelände. Das unmittelbare Umfeld ist Ackerland.



Lage (regionaler Bezug):

Die Messstelle liegt westlich des Industriestandortes Schwarzhöhe (chemische Industrie) sowie südlich des Braunkohlenabbaugebietes Kostebrau/Kleinleipisch (derzeit Sanierungsbergbau). Die südliche und östliche Umgebung ist überwiegend agrarisch geprägt.

Messstelle L 02 – Lebus

Betreiber: Landesumweltamt Brandenburg
Ausstattung: Bulk-Sammler: LWF, O1, O2, Dose, BERGERHOFF
 Wet-only Sammler: NSA 181 KE
 Hellmann-Regenmesser
Messbetrieb: seit 1994, Wet-only ab 1995, wöchentliche Betreuung

Emittenten:
 500 m Umkreis: Gebäudeheizung der LLS Lebus; unwesentlich
 1000 m Umkreis: 600 m westlich B 112; jedoch aufgrund der Geländeform stark abgeschirmt (Strasse verläuft jenseits der Hügelkette)
 5 km Umkreis: nördlich: Siedlungsgebiet Lebus; südlich: Ausläufer der Stadt Frankfurt / Oder

Lage (lokaler Bezug):

Direkt an der Oder in hügeligem, stark gegliedertem Gelände, das zur Oder hin ca. 30 m steil abfällt. Im unmittelbaren Umfeld befinden sich vereinzelte Gebäude der Landeslehrstätte sowie höheres Buschwerk.



Lage (regionaler Bezug):

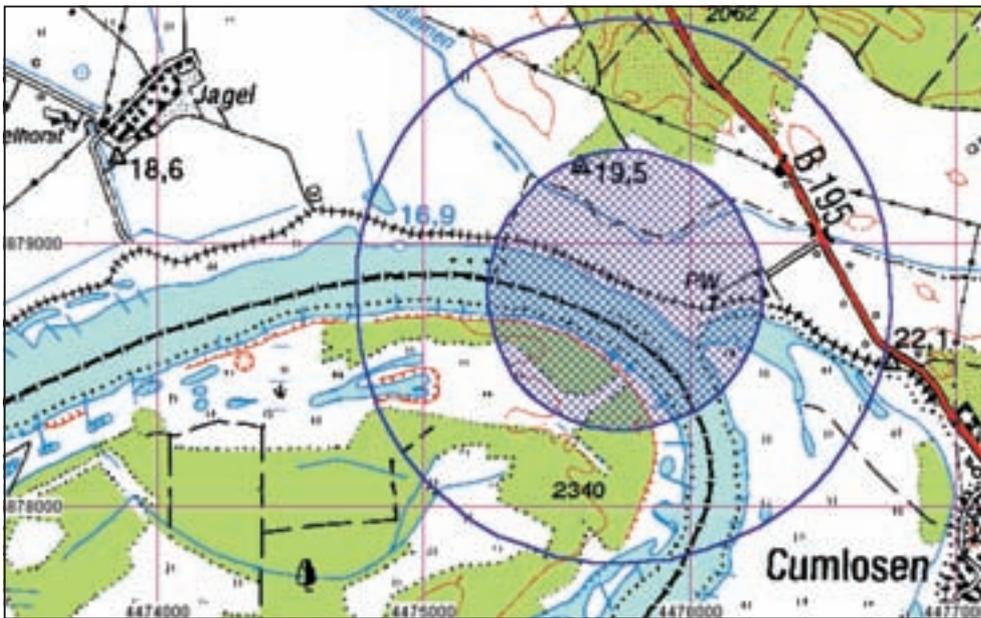
Die Messstelle liegt nördlich der Stadt Frankfurt/Oder. Die übrige Umgebung ist agrarisch geprägt.



Messstelle L 06 – Cumlosen

Betreiber: Landesumweltamt Brandenburg
Ausstattung: Bulk-Sammler: LWF, O1, O2, Dose, BERGERHOFF
 Wet-only Sammler: NSA 181 KE
 Hellmann-Regenmesser
Messbetrieb: seit 1994, wöchentliche Betreuung

Emittenten:
 500 m Umkreis: keine; es ist jedoch nicht auszuschließen, dass insbesondere bei starkem Wind abdriftende Tröpfchen der Elbe die Messungen verfälschen können
 1000 m Umkreis: 800 m nordöstlich B 195, jedoch nur geringes Verkehrsaufkommen
 5 km Umkreis: südöstlich Dorf Cumlosen



Lage (lokaler Bezug):

Auf dem Elbedeich, direkt neben dem Gebäude der automatischen Messstation in völlig offenem und ebenem Gelände. Das unmittelbare Umfeld ist Grünland.



Lage (regionaler Bezug):

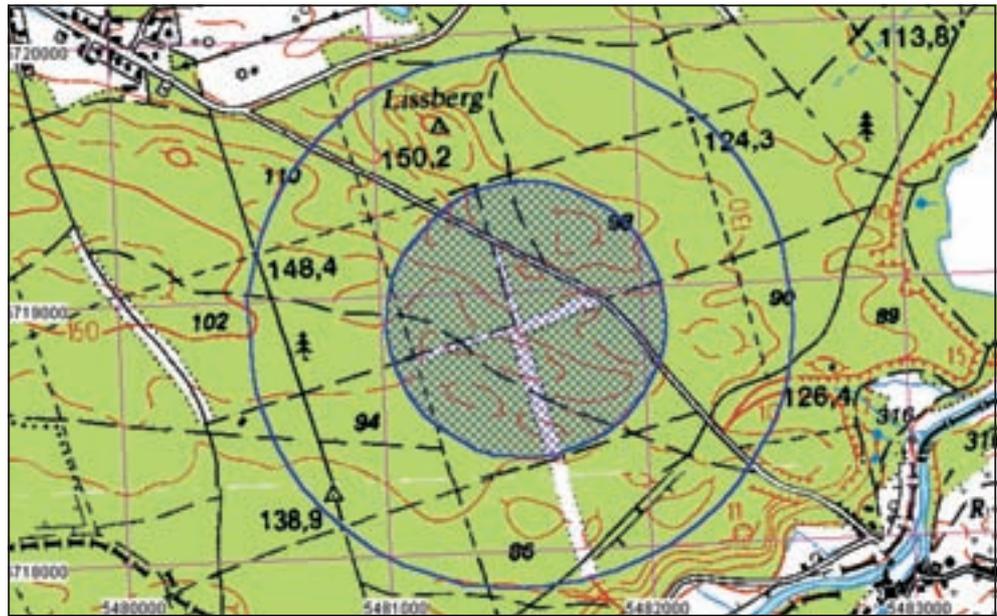
Die Messstelle liegt ca. 8 km nordwestlich von Wittenberge und ca. 14 km westlich von Perleberg. Die Region ist überwiegend agrarisch geprägt.

Messstelle L 07 – Jerischke

<u>Betreiber:</u>	Landesumweltamt Brandenburg
<u>Ausstattung:</u>	Bulk-Sammler: LWF Wet-only Sammler: keine Hellmann-Regenmesser seit 1994, wöchentliche Betreuung
<u>Messbetrieb:</u>	
<u>Emittenten:</u>	
500 m Umkreis:	keine
1000 m Umkreis:	keine
5 km Umkreis:	einige kleine Dörfer; unbedeutend

Lage (lokaler Bezug):

Auf einer Brandriegelkreuzung in leicht hügeligem Gelände. Das unmittelbare Umfeld ist Kiefernwald; die erforderlichen Hindernisabstände zum Waldgebiet sind eingehalten.



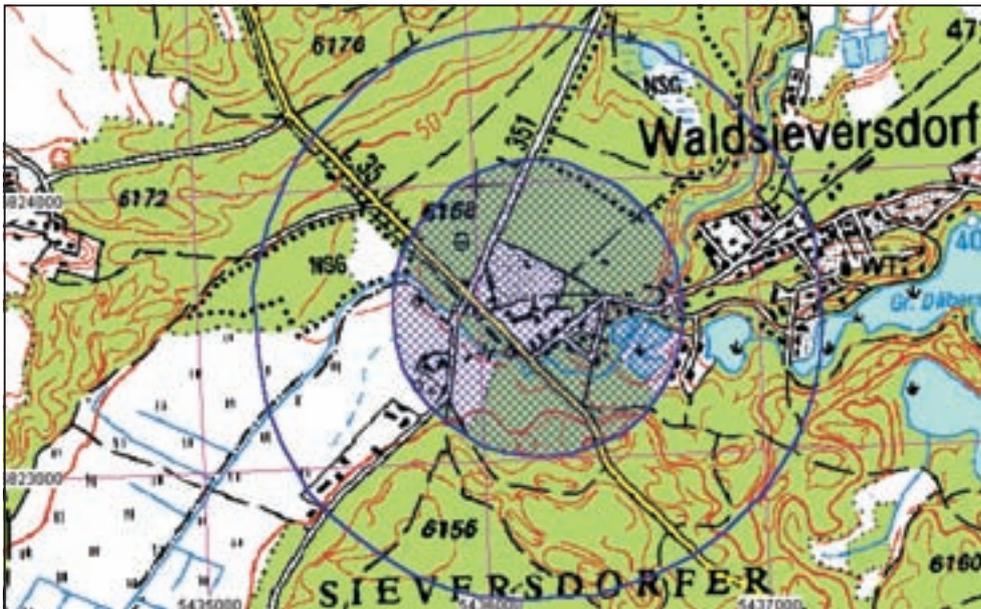
Lage (regionaler Bezug):

Die Messstelle liegt in einem größeren, zusammenhängenden Waldgebiet. Die Kleinstädte Döbern und Bad Muskau befinden sich 9 km westlich bzw. 6 km südlich von der Messstelle. 12 km südsüdwestlich liegt Weisswasser.



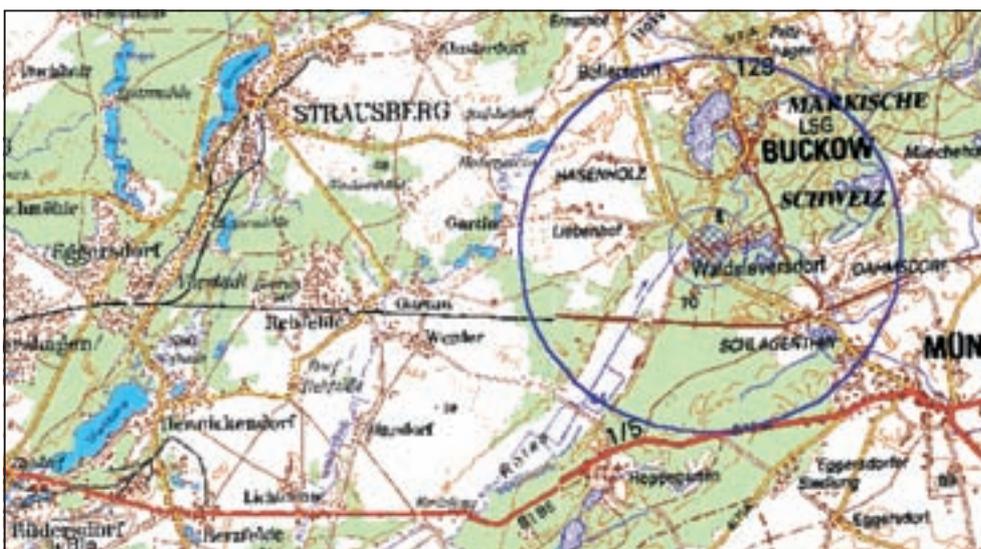
Messstelle L 28 – Waldsieversdorf

<u>Betreiber:</u>	Landesumweltamt Brandenburg
<u>Ausstattung:</u>	Bulk-Sammler: LWF, O1, O2, Dose, BERGERHOFF Wet-only Sammler: NSA 181 KE Hellmann-Regenmesser
<u>Messbetrieb:</u>	seit 1999, wöchentliche Betreuung
<u>Emittenten:</u>	
500 m Umkreis:	200 m westlich Landstrasse L35 mit mäßigem bis starkem Verkehrsaufkommen
1000 m Umkreis:	800 m östlich Ortslage Waldsieversdorf
5 km Umkreis:	keine



Lage (lokaler Bezug):

Westlich des Ortes Waldsieversdorf, auf einer waldumschlossenen Fläche außerhalb der geschlossenen Siedlungsbebauung. Das Gelände ist hügelig gegliedert, die Messstelle befindet sich in einer Senkenlage. Im unmittelbaren Umfeld sind forstliche Kultur- und Versuchsflächen sowie einzelne Gebäude.



Lage (regionaler Bezug):

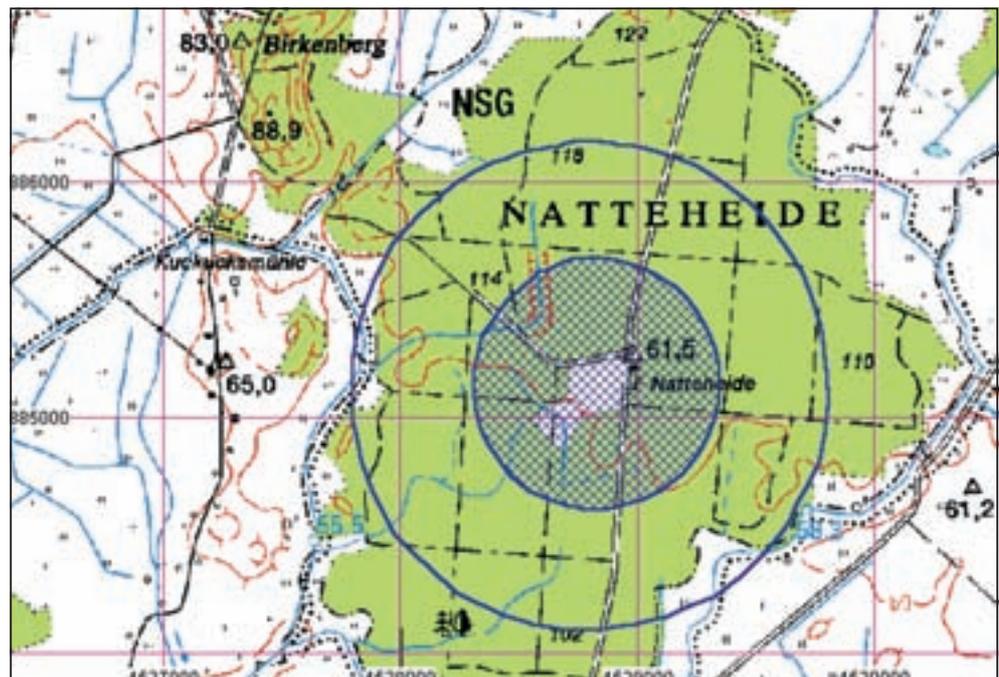
Die Messstelle liegt ca. 25 km östlich vom Rand des Ballungsraums Berlin entfernt. 12 km in westnordwestlicher Richtung liegt die Stadt Strausberg, 20 km in südwestlicher Richtung Rüdersdorf. Die Kleinstadt Müncheberg liegt 6 km südöstlich.

Die Umgebung ist durch Mischnutzungen des auslaufenden Ballungsraumes sowie Ackersandorte in westlicher Richtung geprägt.

Messstelle F 08 – Natteheide

<u>Betreiber:</u>	Landesforstanstalt Eberswalde
<u>Ausstattung:</u>	Bulk-Sammler: LWF, Dose Wet-only Sammler: keine Klimamessstation Fa. Lambrecht
<u>Messbetrieb:</u>	seit 1996, wöchentliche Betreuung
<u>Besonderheiten:</u>	Der Freifläche ist eine Bestandsmessstelle in unmittelbarer Nähe zugeordnet (F 09).
<u>Emittenten:</u>	
500 m Umkreis:	Forsthaus 100 m östlich
1000 m Umkreis:	keine
5 km Umkreis:	3 km nordöstlich Bundesautobahn A 24 mit AB-Dreieck Wittstock sowie umliegend mehrere kleine Dörfer

Lage (lokaler Bezug):



Auf waldumschlossenem und ebenem Gelände. Das unmittelbare Umfeld ist ein Wildacker.

Lage (regionaler Bezug):



Die Messstelle liegt 8 km süd-südwestlich von der Stadt Wittstock, 17 km nördlich von Kyritz und 18 km südöstlich von Pritzwalk. Die Umgebung ist überwiegend agrarisch geprägt.

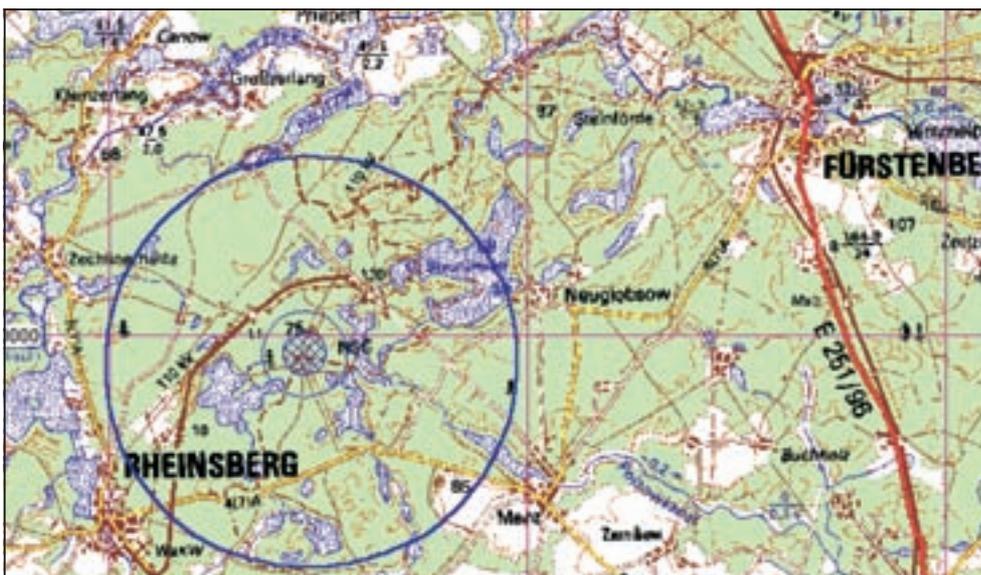
Messstelle F 10 – Beerenbusch

<u>Betreiber:</u>	Landesforstanstalt Eberswalde
<u>Ausstattung:</u>	Bulk-Sammler: LWF, Dose Wet-only Sammler: keine Klimamessstation Fa. Lambrecht
<u>Messbetrieb:</u>	seit 1996, wöchentliche Betreuung
<u>Besonderheiten:</u>	Der Freifläche ist eine Bestandsmessstelle in unmittelbarer Nähe zugeordnet (F 11).
<u>Emittenten:</u>	
500 m Umkreis:	keine
1000 m Umkreis:	keine
5 km Umkreis:	nordöstlich Demontage – Baustelle ehemaliges Kernkraftwerk



Lage (lokaler Bezug):

Inmitten eines größeren zusammenhängenden Forst- und Seengebietes auf einer allseits waldumschlossenen Fläche.



Lage (regionaler Bezug):

Die Messstelle liegt, abgesehen von der Kleinstadt Rheinsberg 6 km südwestlich, in nahezu emittentenfrier Umgebung. Die B 96 mit hohem Verkehrsaufkommen liegt ca. 12 km östlich, die Stadt Fürstenberg 13 km in nordöstlicher Richtung. Im Abstand von 16 km bis 24 km befinden sich im Sektor Nordwest bis Nordost drei Kleinstädte.

Messstelle F 12 – Kienhorst

<u>Betreiber:</u>	Landesforstanstalt Eberswalde
<u>Ausstattung:</u>	Bulk-Sammler: LWF, O1, O2, Dose, BERGERHOFF Wet-only Sammler: NSA 181 KE Klimamessstation Fa. Lambrecht
<u>Messbetrieb:</u>	seit 1996, wöchentliche Betreuung
<u>Besonderheiten:</u>	Der Freifläche ist eine Bestandsmessstelle in unmittelbarer Nähe zugeordnet (F 13).
<u>Emittenten:</u>	
500 m Umkreis:	keine
1000 m Umkreis:	keine
5 km Umkreis:	keine

Lage (lokaler Bezug):



Inmitten eines großen zusammenhängenden Forstgebietes auf einer allseits waldumschlossenen Fläche.

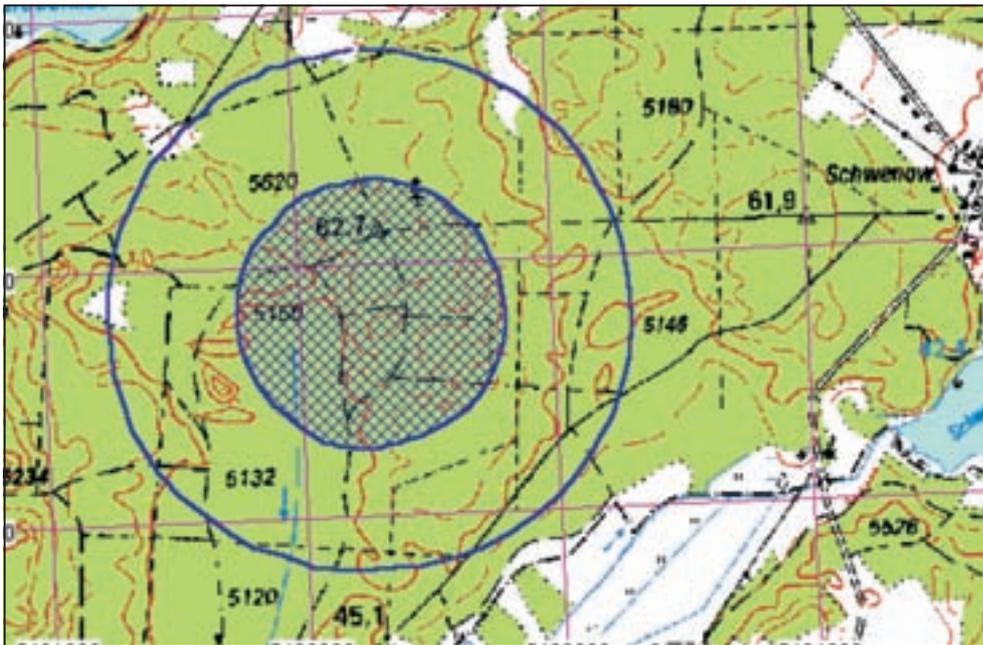
Lage (regionaler Bezug):



Die Messstelle liegt im Biosphärenreservat Schorfheide. 7 km in östlicher Richtung liegt der Ort Joachimsthal, in einer Distanz von ca. 10 km verläuft im Osten die Autobahn A 11. Die Stadt Eberswalde liegt ca. 16 km südlich.

Messstelle F 14 – Schwenow

<u>Betreiber:</u>	Landesforstanstalt Eberswalde
<u>Ausstattung:</u>	Bulk-Sammler: LWF, Dose Wet-only Sammler: keine Klimamessstation Fa. Lambrecht
<u>Messbetrieb:</u>	seit 1996, wöchentliche Betreuung
<u>Besonderheiten:</u>	Der Freifläche ist eine Bestandsmessstelle in unmittelbarer Nähe zugeordnet (F 15).
<u>Emittenten:</u>	
500 m Umkreis:	keine
1000 m Umkreis:	keine
5 km Umkreis:	einige Dörfer / Siedlungen in der Umgebung; unbedeutend



Lage (lokaler Bezug):

Inmitten eines großen zusammenhängenden Forstgebietes auf einer allseits waldumschlossenen Fläche.



Lage (regionaler Bezug):

Die Messstelle liegt am südöstlichen Ausläufer des märkischen Seen- und Heidegebietes. Der Sektor Nordwest bis Südwest ist bis auf die Kleinstadt Märkisch-Buchholz (17 km) weitgehend emittententfrei. Die Autobahn A 13 verläuft ca. 24 km westlich. Die östliche Umgebung ist überwiegend agrarisch geprägt und etwas dichter besiedelt. Die Stadt Beeskow liegt 16 km östlich.

Messstelle F 16 – Weitzgrund

<u>Betreiber:</u>	Landesforstanstalt Eberswalde
<u>Ausstattung:</u>	Bulk-Sammler: LWF, Dose, BERGERHOFF Wet-only Sammler: ab 2001 NSA 181 KE Klimamessstation Fa. Lambrecht
<u>Messbetrieb:</u>	seit 1996, wöchentliche Betreuung
<u>Besonderheiten:</u>	Der Freifläche ist eine Bestandsmessstelle in unmittelbarer Nähe zugeordnet (F 17).
<u>Emittenten:</u>	Direkt auf der Freifläche ein Sendemast; u.U. Quelle für Spurenmetalle
500 m Umkreis:	keine
1000 m Umkreis:	keine
5 km Umkreis:	östlich verläuft die B 102 mit mäßigem Verkehrsaufkommen

Lage (lokaler Bezug):

Inmitten eines zusammenhängenden Forstgebietes auf einer allseits waldumschlossenen Fläche.



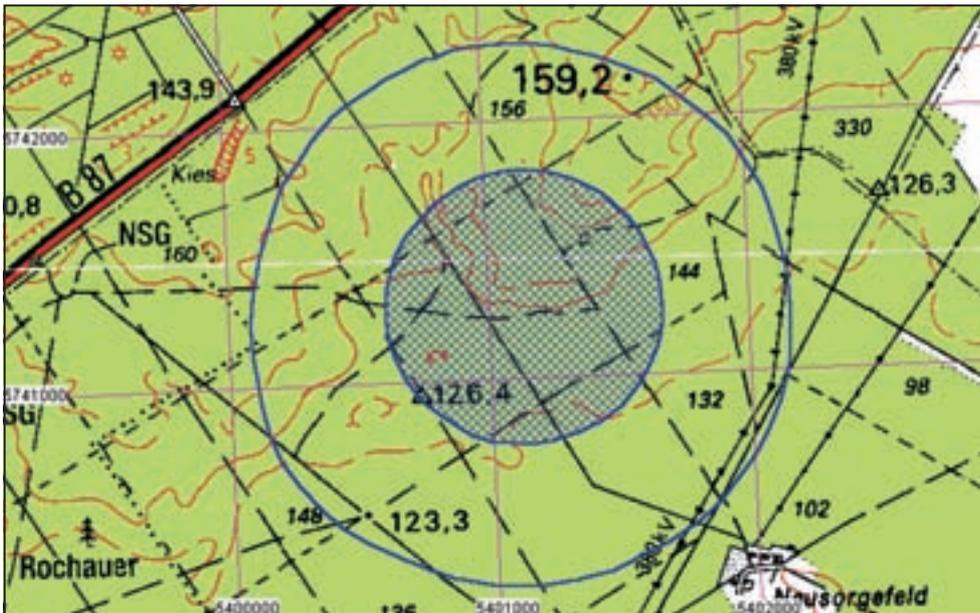
Lage (regionaler Bezug):

Die Messstelle liegt am nord-östlichen Rand des Hohen Fläming. Das Waldgebiet verläuft ca. 12 km in nordwestlicher Richtung bis zur Autobahn A2. Die Stadt Belzig liegt ca. 6 km südsüdöstlich. Die südliche und östliche Umgebung ist überwiegend agrarisch geprägt.



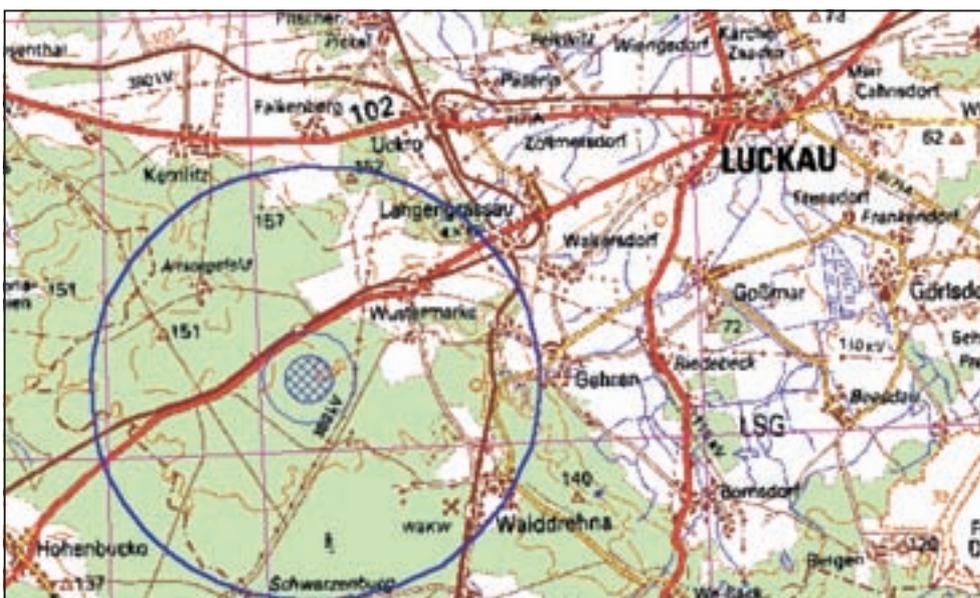
Messstelle F 18 - Neusorgefeld

<u>Betreiber:</u>	Landesforstanstalt Eberswalde
<u>Ausstattung:</u>	Bulk-Sammler: LWF, Dose Wet-only Sammler: keine Klimamessstation Fa. Lambrecht
<u>Messbetrieb:</u>	seit 1996, wöchentliche Betreuung
<u>Besonderheiten:</u>	Der Freifläche ist eine Bestandsmessstelle in unmittelbarer Nähe zugeordnet (F 19).
<u>Emittenten:</u>	
500 m Umkreis:	keine
1000 m Umkreis:	keine
5 km Umkreis:	in nordwestlichem Sektor B 87 mit geringem bis mäßigen Verkehrsaufkommen



Lage (lokaler Bezug):

Inmitten eines zusammenhängenden Forstgebietes auf einer allseits waldumschlossenen Fläche.



Lage (regionaler Bezug):

Die Messstelle liegt in einem wellig gegliederten Gelände (Niederlausitzer Grenzwall). Das Waldgebiet erstreckt sich von Nordwest nach Südost. Die südwestliche und nordöstliche Umgebung ist überwiegend agrarisch geprägt. Die Kleinstädte Luckau und Dahme befinden sich ca. 11 km nordöstlich bzw. ca. 12 km nordwestlich.

Anhang 2

I1-Befunde der Staubniederschlagsmessungen ausgewählter Bundesländer

Bundesland	Q	Jahr	Gesamtstaub (mg/(m ² · d))	Spurenelemente (µg/(m ² ·a))						
				Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Mangan	Nickel	Zink
Berlin (urbaner Hintergrund)	37	91	172 (58-359)		45 (10-139)	0,5 (0,2-1,3)				
Mecklenburg-Vorpommern	43	94	199 (41-384)	0,3 (0,2-0,6)	27 (6-50)	0,5 (0,2-0,7)	10 (3-17)		8 (3-18)	
	46	97	171 (52-313)	0,4 (0,2-0,7)	25 (8-62)	0,3 (0,1-0,7)	9 (2-16)		7 (3-11)	
Sachsen-Anhalt	38	91	360 (60-1590)							
	40	94	130 (20-470)	2,0 (0,7-8,6)	22 (5-280)	0,4 (0,2-3,5)	2 (0,6-8)		3 (1-18)	
	47	98	96 (40-230)	7,2 (2-30)	17 (5-230)	0,3 (0,1-2,5)	2 (0,5-20)	24 (8-86)	3 (1-13)	150 (77-790)
Sachsen		92	231 (120-430)							
	42	94	200 (80-460)							
	48	98	118 (38-338)		25 (10-89)	0,4 (0,1-1,7)				
Bayern	28	91	133 (41-385)		27 (5-76)	0,6 (0,3-1,2)	6 (1-27)	52 (13-335)	4 (1-15)	84 (20-246)
	41	94	131 (45-312)		17 (8-41)	0,5 (0,3-1,3)	5 (1-49)	42 (13-116)	4 (1-25)	83 (29-521)
	27	98	160 (34-541)		9 (5-20)	0,3 (0,1-0,9)	5 (1-58)	51 (10-440)	4 (1-36)	68 (25-310)
Niedersachsen	30	91	50 (30-90)		21 (10-40)	0,3 (0,2-0,6)				
	45	94	48 (40-60)		18 (10-30)	0,4 (0,2-0,5)				
	29	98	38 (32-61)		8 (4-12)	0,3 (0,2-0,9)				
Saarland (Gebietsmittelwerte)	33	92/93	109 (20-168)	1,9 (0,5-4,2)	20 (4-41)	0,7 (0,2-1,2)	20 (1-45)		10 (2-23)	92 (21-141)
		93/94	150 (29-236)	2,0 (0,5-4,2)	25 (1-50)	1,0 (0,1-2,0)	27 (0-59)		13 (0-32)	92 (18-126)
		94/95	127 (41-191)	1,5 (0,6-2,3)	27 (5-56)	0,4 (0,2-0,6)	23 (2-52)		9 (1-18)	57 (7-94)
		98/99	128 (73-158)	1,6 (1,2-1,9)	29 (9-50)	0,4 (0,3-0,5)	24 (3-47)		19 (2-47)	184 (29-468)
Schleswig-Holstein	32	91	71 (40-200)	0,7 (0,3-2,7)	23 (10-60)	0,4 (0,1-1,0)			2 (1-6)	77 (28 -204)
	44	94	113 (40-180)	0,7 (0,3-1,2)	39 (20-70)	0,3 (0,2-0,6)			3 (1-6)	
	31	98	67 (50-140)	0,4 (0,2-0,8)	16 (10-30)	0,2 (0,1-0,3)			2 (1-6)	
Hessen ¹⁾	72	93	(94-260)	(0,5-1,8)	(5-17)	(0,2-0,5)	(3-6)		(3-5)	

Q – Quellenangabe [...]

¹⁾ Gebietsmittel

Anhang 3 Niederschlagsdeposition – Hauptinhaltsstoffe

Tab. A 3.1: Gewogene Mittelwerte der Hauptinhaltsstoffe in der Niederschlagsdeposition (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Kalender- jahr	pH	H+ 5,65	H+ 7,00	Fluorid	Chlorid	Sulfat	Natrium	Kalium	Calcium	Magne- sium	Ammo- nium	Nitrat	Nitrit	N ges.	ortho- Phosphat-P	TOC
			mmol/l	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Kienhorst/1	1996	5,2	0,008	0,031	0,022	1,25	4,07	0,48	0,22	1,32	0,18	0,68	4,44	0,008		0,003	1,65
Kienhorst/1	1997	4,75	0,020	0,053	0,033	0,74	2,03	0,53	0,30	0,88	0,15	0,70	1,79	0,002	1,22	0,002	3,40
Kienhorst/1	1998	4,59	0,026	0,064	0,013	1,20	2,79	0,66	0,33	0,86	0,11	0,71	2,67	0,002	1,38	0,002	2,67
Kienhorst/1	1999	4,67	0,014	0,045	0,003	1,09	2,04	0,66	0,27	0,46	0,09	0,65	2,50	0,007	1,42	0,004	2,80
Zepernick/1	1997	5,70	0,002	0,024	0,023	1,33	2,97	0,74	0,54	3,03	0,19	0,89	1,95	0,013	1,31	0,003	3,13
Zepernick/1	1998	5,96	0,000	0,030	0,020	2,16	3,55	0,76	1,39	3,91	0,25	0,75	2,47	0,005	1,34	0,023	9,02
Zepernick/1	1999	5,99	0,000	0,025	0,006	1,86	3,38	0,80	0,95	3,16	0,26	0,68	2,62	0,001	1,31	0,007	2,50
Lebus/2	1996	4,50	0,047	0,093	0,010	0,82	4,03	0,38	0,31	0,77	0,10	0,75	2,97	0,003			2,53
Lebus/2	1997	4,61	0,025	0,065	0,035	0,96	3,28	0,68	0,34	1,16	0,13	0,94	2,61	0,004	1,21	0,002	3,29
Lebus/2	1998	4,62	0,027	0,076	0,018	1,23	3,34	0,66	0,57	1,39	0,13	0,83	2,87	0,004	1,52	0,004	2,88
Lebus/2	1999	4,84	0,013	0,048	0,009	1,11	2,41	0,59	0,58	0,68	0,10	0,94	3,02	0,002	1,59	0,014	2,28
Schwenow/2	1996	4,55	0,024	0,054	0,026	0,94	4,03	0,41	0,34	0,86	0,11	1,05	3,09	0,003		0,012	2,28
Schwenow/2	1997	4,66	0,024	0,060	0,035	0,94	3,36	0,56	0,31	0,87	0,09	1,11	2,79	0,006	0,39	0,004	4,20
Schwenow/2	1998	4,74	0,016	0,046	0,010	0,85	2,71	0,50	0,27	1,34	0,14	0,79	2,19	0,001	1,38	0,005	2,33
Schwenow/2	1999	4,60	0,022	0,049	0,013	0,91	2,81	0,54	0,22	0,78	0,12	0,70	2,74	0,000	1,38	0,007	2,45
Jerischke/3	1996	4,40	0,041	0,080	0,039	0,77	4,40	0,33	0,25	0,90	0,11	1,18	3,26	0,002			1,76
Jerischke/3	1997	4,45	0,043	0,086	0,022	0,40	2,66	0,28	0,14	0,64	0,07	0,87	2,10	0,001	1,60	0,003	2,63
Jerischke/3	1998	4,48	0,040	0,079	0,018	0,58	2,82	0,35	0,16	1,24	0,11	0,90	2,46	0,002	1,40	0,004	1,47
Jerischke/3	1999	4,49	0,037	0,075	0,012	0,87	3,02	0,44	0,14	0,49	0,09	0,95	3,43	0,014	1,63	0,005	1,64
Lauchhammer/3	1996	4,40	0,041	0,085	0,029	0,84	4,91	0,38	0,22	1,42	0,14	1,58	4,77	0,004			3,57
Lauchhammer/3	1997	4,89	0,018	0,063	0,037	0,90	3,35	0,51	0,25	1,08	0,15	1,54	3,46	0,014	1,44	0,004	2,75
Lauchhammer/3	1998	4,77	0,021	0,061	0,014	0,78	3,03	0,45	0,23	1,31	0,15	1,40	3,32	0,005	2,00	0,021	2,28
Lauchhammer/3	1999	4,76	0,019	0,052	0,010	0,76	2,78	0,44	0,19	0,66	0,10	1,29	3,15	0,003	1,79	0,013	2,16
Neusorgefeld/3	1996	4,4	0,035	0,070	0,019	0,59	3,49	0,33	0,29	0,61	0,10	0,88	2,54	0,004		0,002	1,96
Neusorgefeld/3	1997	4,79	0,026	0,061	0,022	0,72	2,50	0,44	0,24	0,80	0,11	1,00	2,31	0,005	1,42	0,003	3,61
Neusorgefeld/3	1998	4,57	0,027	0,065	0,013	0,72	2,30	0,43	0,21	0,78	0,10	0,88	2,35	0,003	1,25	0,002	1,61
Neusorgefeld/3	1999	4,63	0,019	0,053	0,006	0,81	2,73	0,39	0,12	0,71	0,09	0,88	2,70	0,001	1,34	0,006	1,79
Buckow/4	1996	5,40	0,001	0,029	0,025	2,13	4,78	0,66	1,27	2,25	0,31	1,21	3,27	0,011			2,09
Buckow/4	1997	5,09	0,008	0,054	0,021	3,99	2,50	0,69	3,50	1,75	0,23	1,01	2,34	0,009	1,32	0,008	3,11
Buckow/4	1998	4,85	0,014	0,055	0,013	1,98	4,12	0,64	0,89	1,73	0,16	1,10	3,25	0,004	1,76	0,040	3,57
Buckow/4	1999	4,82	0,013	0,044	0,006	1,68	3,43	0,79	0,58	1,76	0,23	0,83	4,08	0,011	1,63	0,050	1,83
Weitzgrund/4	1996	4,6	0,025	0,059	0,022	1,06	4,45	0,47	0,25	0,85	0,11	1,12	4,26	0,003		0,010	2,43
Weitzgrund/4	1997	4,85	0,021	0,059	0,022	0,82	2,72	0,56	0,21	1,08	0,12	0,96	2,15	0,004	1,44	0,005	3,33

Fortsetzung Tab. A 3.1: Gewogene Mittelwerte der Hauptinhaltsstoffe in der Niederschlagsdeposition (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Kalender- jahr	pH	H+ 5,65	H+ 7,00	Fluorid	Chlorid	Sulfat	Natrium	Kalium	Calcium	Magne- sium	Ammo- nium	Nitrat	Nitrit	N ges.	ortho- Phosphat-P	TOC
			mmol/l	mmol/l												mg/l	
Weitzgrund/4	1998	4,56	0,034	0,081	0,016	1,20	3,10	0,64	0,27	1,24	0,17	1,08	2,89	0,001	1,81	0,015	3,68
Weitzgrund/4	1999	4,64	0,021	0,051	0,008	1,14	3,55	0,79	0,15	0,99	0,17	1,05	3,39	0,001	1,62	0,093	2,14
Beerenbusch/5	1996	4,6	0,023	0,060	0,022	1,26	4,51	0,78	0,35	0,95	0,17	1,08	3,21	0,006		0,003	2,11
Beerenbusch/5	1997	4,72	0,022	0,058	0,031	1,11	2,15	0,91	0,30	0,79	0,15	0,94	1,84	0,005	1,41	0,004	4,70
Beerenbusch/5	1998	4,59	0,025	0,060	0,009	1,09	2,01	0,76	0,27	0,88	0,14	0,39	1,17	0,000	0,80	0,006	3,41
Beerenbusch/5	1999	4,71	0,019	0,048	0,003	1,35	2,22	0,78	0,20	0,55	0,12	0,59	2,20	0,002	1,19	0,003	2,34
Cumlosen/5	1996	5,10	0,014	0,060	0,015	1,57	3,98	0,79	0,35	1,14	0,19	1,34	3,70	0,006			2,10
Cumlosen/5	1997	5,03	0,011	0,053	0,017	0,87	2,66	0,64	0,30	1,62	0,17	1,02	2,39	0,007	1,61	0,008	2,94
Cumlosen/5	1998	4,95	0,010	0,053	0,011	1,45	2,60	0,84	0,27	1,89	0,17	0,96	3,02	0,003	1,68	0,016	1,67
Cumlosen/5	1999	5,14	0,006	0,036	0,006	1,91	2,70	1,29	0,30	1,33	0,23	1,23	3,40	0,001	1,89	0,032	2,24
Natteheide/5	1996	4,6	0,024	0,060	0,022	1,23	3,63	0,61	0,38	0,57	0,12	1,12	3,99	0,010		0,004	2,65
Natteheide/5	1997	4,53	0,032	0,066	0,023	1,00	2,69	0,78	0,28	1,20	0,13	0,80	2,15	0,001	1,59	0,003	3,88
Natteheide/5	1998	4,61	0,017	0,050	0,010	0,93	1,74	0,71	0,33	0,92	0,17	0,55	1,70	0,001	1,03	0,004	1,84
Natteheide/5	1999	4,77	0,013	0,039	0,003	0,87	1,76	0,52	0,13	0,48	0,08	0,70	2,30	0,000	1,20	0,039	1,36

H+ 5,65 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 5,65

H+ 7,00 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 7,00

A 3.2: Frachten der Hauptinhaltsstoffe in der Niederschlagsdeposition (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg (Angaben in kg/(ha · a))

Messstelle/ Region	Kalen- derjahr	H+ 5,65	H+ 7,00	Fluorid	Chlorid	Sulfat	Natrium	Calcium	Ammo- nium	Nitrat	TOC
Kienhorst/1	1996	0,038	0,143	0,099	5,685	18,6	2,20	6,03	3,08	20,3	7,5
Kienhorst/1	1997	0,119	0,316	0,196	4,377	12,0	3,11	5,23	4,15	10,6	20,1
Kienhorst/1	1998	0,145	0,360	0,073	6,795	15,8	3,73	4,89	4,02	15,1	15,1
Kienhorst/1	1999	0,084	0,264	0,017	6,422	12,1	3,93	2,73	3,87	14,8	16,6
Zepernick/1	1996	0,009	0,070	0,121	7,3	23,7	3,50	12,80	4,12	11,7	(28)
Zepernick/1	1997	0,009	0,124	0,119	6,7	15,0	3,72	15,34	4,52	9,9	15,9
Zepernick/1	1998	0,001	0,200	0,133	14,3	23,5	5,07	25,96	4,99	16,4	(60)
Zepernick/1	1999	0,001	0,145	0,036	10,7	19,4	4,60	18,12	3,90	15,0	14,3
Lebus/2	1996	0,193	0,383	0,043	3,41	16,7	1,59	3,20	3,10	12,3	10,5
Lebus/2	1997	0,124	0,322	0,174	4,78	16,3	3,40	5,75	4,66	13,0	16,4
Lebus/2	1998	0,147	0,413	0,100	6,72	18,2	3,58	7,59	4,54	15,7	15,7
Lebus/2	1999	0,059	0,213	0,038	4,97	10,7	2,62	3,04	4,18	13,5	10,2
Schwenow/2	1996	0,110	0,244	0,118	4,282	18,4	1,89	3,93	4,79	14,1	10,4
Schwenow/2	1997	0,139	0,356	0,208	5,536	19,8	3,29	5,14	6,51	16,4	24,8
Schwenow/2	1998	0,113	0,335	0,074	6,185	19,7	3,66	9,72	5,73	15,9	16,9
Schwenow/2	1999	0,121	0,272	0,070	5,016	15,5	3,01	4,30	3,85	15,1	13,5
Jerischke/3	1996	0,219	0,433	0,208	4,14	23,7	1,76	4,87	6,37	17,6	9,5
Jerischke/3	1997	0,252	0,497	0,129	2,31	15,4	1,64	3,70	5,06	12,2	15,3
Jerischke/3	1998	0,281	0,559	0,130	4,08	20,0	2,44	8,74	6,39	17,4	10,4
Jerischke/3	1999	0,174	0,350	0,054	4,05	14,1	2,08	2,31	4,44	16,0	7,7
Lauchhammer/3	1996	0,181	0,372	0,126	3,69	21,5	1,69	6,22	6,92	20,9	15,7
Lauchhammer/3	1997	0,083	0,288	0,169	4,10	15,3	2,32	4,94	7,01	15,8	12,5
Lauchhammer/3	1998	0,108	0,315	0,075	4,02	15,6	2,33	6,75	7,23	17,2	11,8
Lauchhammer/3	1999	0,093	0,257	0,049	3,73	13,7	2,15	3,25	6,37	15,5	10,6
Neusorgefeld/3	1996	0,185	0,372	0,101	3,157	18,6	1,77	3,25	4,70	13,6	10,4
Neusorgefeld/3	1997	0,139	0,331	0,119	3,910	13,5	2,39	4,32	5,43	12,5	19,5
Neusorgefeld/3	1998	0,178	0,426	0,083	4,723	15,1	2,84	5,10	5,80	15,4	10,6
Neusorgefeld/3	1999	0,107	0,296	0,032	4,519	15,2	2,15	3,99	4,90	15,1	10,0
Buckow/4	1996	0,005	0,116	0,102	8,57	19,23	2,67	9,05	4,86	13,1	8,4
Buckow/4	1997	0,036	0,231	0,088	(17)	10,65	2,93	7,46	4,32	10,0	13,2
Buckow/4	1998	0,081	0,312	0,074	8,95	16,37	3,59	8,08	4,05	18,3	15,0
Buckow/4	1999	0,062	0,207	0,029	7,98	16,27	3,75	8,35	3,94	19,4	8,7
Weitzgrund/4	1996	0,113	0,259	0,097	4,695	19,7	2,08	3,74	4,96	18,8	10,7
Weitzgrund/4	1997	0,107	0,309	0,113	4,254	14,2	2,90	5,61	4,99	11,2	17,4
Weitzgrund/4	1998	0,151	0,366	0,073	5,385	13,9	2,88	5,55	4,83	13,0	16,5
Weitzgrund/4	1999	0,086	0,206	0,031	4,627	14,4	3,21	4,03	4,26	13,8	8,7
Beerenbusch/5	1996	0,103	0,266	0,097	5,586	19,9	3,43	4,22	4,78	14,2	9,3
Beerenbusch/5	1997	0,109	0,281	0,151	5,411	10,5	4,45	3,83	4,55	9,0	22,9
Beerenbusch/5	1998	0,188	0,452	0,067	8,233	15,1	5,75	6,61	2,92	8,8	25,5
Beerenbusch/5	1999	0,121	0,313	0,019	8,824	14,4	5,08	3,59	3,85	14,3	15,2
Cumlosen/5	1996	0,049	0,211	0,053	5,51	14,0	2,76	4,01	4,70	13,0	7,4
Cumlosen/5	1997	0,043	0,205	0,065	3,38	10,3	2,47	6,28	3,96	9,3	11,4
Cumlosen/5	1998	0,055	0,292	0,060	7,94	14,2	4,56	10,29	5,22	16,5	9,1
Cumlosen/5	1999	0,027	0,175	0,031	9,18	13,0	6,18	6,37	5,89	16,3	10,8
Natteheide/5	1996	0,090	0,223	0,081	4,552	13,4	2,25	2,12	4,15	14,8	9,8
Natteheide/5	1997	0,141	0,292	0,104	4,429	11,9	3,46	5,34	3,55	9,5	17,2
Natteheide/5	1998	0,132	0,382	0,076	7,082	13,3	5,37	7,02	4,16	13,0	14,0
Natteheide/5	1999	0,085	0,262	0,020	5,785	11,8	3,49	3,23	4,68	15,4	9,1

H+ 5,65 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 5,65
H+ 7,00 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 7,00

A 3.3: Gewogene Mittelwerte der Hauptinhaltsstoffe in der Niederschlagsdeposition (Wet-only-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Kalenderjahr	Sammelgerät	pH	H+ 5,65	H+ 7,00	Fluorid	Chlorid	Sulfat	Natrium	Kalium	Calcium	Magnesium	Ammonium	Nitrat	Nitrit	N ges.	ortho-Phosphat-P	TOC
				mmol/l	mmol/l												mg/l	mg/l
Kienhorst/1	1996	F12 wet	5,10	0,011	0,036	0,014	0,81	3,05	0,32	0,12	0,75	0,10	0,79	2,72	0,006		0,130	1,33
Kienhorst/1	1997	F12 wet	4,91	0,013	0,044	0,012	0,48	1,66	0,33	0,13	0,73	0,11	0,92	1,62	0,003	1,10	0,001	2,24
Kienhorst/1	1998	F12 wet	4,67	0,018	0,053	0,008	0,82	2,32	0,43	0,13	0,70	0,08	0,83	2,36	0,000	1,16	0,003	1,47
Kienhorst/1	1999	F12 wet	4,82	0,005	0,016	0,002	0,89	1,79	0,48	0,11	0,66	0,12	0,92	2,58	0,006	1,35	0,002	1,02
Zepernick/1	1998	ANTAS	4,90	0,012	0,043	0,009	0,65	1,96	0,32	0,14	1,28	0,10	0,96	2,56	0,003	1,17	0,011	1,12
Zepernick/1	1999	ANTAS	4,95	0,010	0,039	0,004	0,76	1,86	0,38	0,22	0,73	0,08	0,84	2,39	0,002	1,20	0,013	2,10
Lebus/2	1996	Eigenbrodt	4,70	0,021	0,048	0,008	0,62	3,21	0,28	0,15	0,51	0,07	1,13	2,70	0,008			1,44
Lebus/2	1997	Eigenbrodt	4,88			0,026	0,59	2,40	0,32	0,22	0,87	0,12	1,38	2,22	0,005	1,24		3,10
Lebus/2	1998	Eigenbrodt	4,96			0,018	0,66	2,72	0,31	0,14	1,45	0,11	1,31	2,65	0,010	1,54		1,25
Lebus/2	1999	Eigenbrodt	4,80			0,004	0,95	2,12	0,37	0,17	0,50	0,08	1,12	2,69	0,001	1,27		1,35
Lauchhammer/3	1996	Eigenbrodt	4,40	0,042	0,081	0,010	0,49	3,86	0,36	0,11	0,58	0,09	1,37	3,28	0,007			1,95
Lauchhammer/3	1997	Eigenbrodt	5,03			0,014	0,51	2,41	0,38	0,11	0,84	0,11	1,34	2,51	0,015	0,54		1,06
Lauchhammer/3	1998	Eigenbrodt	4,86			0,014	0,59	2,45	0,32	0,13	0,93	0,10	1,24	2,82	0,002	1,61		1,58
Lauchhammer/3	1999	Eigenbrodt	4,79			0,034	0,65	2,67	0,25	0,10	0,61	0,08	1,21	2,69	0,003	1,52		1,19
Lauchhammer/3	1996	ANTAS	4,40	0,074	0,094	0,011	0,53	4,12	0,22	0,13	0,70	0,08	1,40	4,01	0,027			2,37
Lauchhammer/3	1997	ANTAS	4,83	0,020	0,058	0,020	0,65	2,45	0,32	0,13	0,79	0,10	1,37	2,57	0,013	1,20	0,003	2,93
Lauchhammer/3	1998	ANTAS	4,68	0,028	0,068	0,009	0,56	2,45	0,27	0,12	1,16	0,11	1,21	2,74	0,001	1,62	0,009	1,58
Lauchhammer/3	1999	ANTAS	4,68	0,021	0,054	0,006	0,45	1,93	0,20	0,06	0,44	0,05	1,12	2,53	0,004	1,41	0,005	1,09
Cumlosen/5	1996	Eigenbrodt	4,80	0,013	0,044	0,018	1,04	2,45	0,56	0,17	0,51	0,10	1,47	3,06	0,013			1,36
Cumlosen/5	1997	Eigenbrodt	4,91			0,018	0,75	2,01	0,45	0,12	0,99	0,09	1,31	2,39	0,011	0,32	0,010	2,45
Cumlosen/5	1998	Eigenbrodt	5,02			0,007	0,98	1,98	0,49	0,14	1,26	0,16	1,24	2,62	0,008	1,54		1,42
Cumlosen/5	1999	Eigenbrodt	5,12			0,002	1,41	2,25	0,79	0,14	0,47	0,11	1,49	3,36	0,002	1,57		1,47

H+ 5,65 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 5,65

H+ 7,00 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 7,00

A 3.4: Frachten der Hauptinhaltsstoffe in der Niederschlagsdeposition (Wet-only-Probenahme) im Land Brandenburg (Angaben in kg/(ha • a))

Messstelle/Region	Kalenderjahr	Sammelgerät	H+ 5,65	H+ 7,00	Fluorid	Chlorid	Sulfat	Natrium	Calcium	Ammonium	Nitrat	TOC
Kienhorst/1	1996	Eigenbrodt	0,048	0,162	0,063	3,716	13,9	1,45	3,40	3,60	12,4	6,1
Kienhorst/1	1997	Eigenbrodt	0,077	0,260	0,073	2,852	9,8	1,98	4,30	5,42	9,6	13,3
Kienhorst/1	1998	Eigenbrodt	0,099	0,288	0,044	4,449	12,6	2,35	3,81	4,53	12,8	8,0
Kienhorst/1	1999	Eigenbrodt	0,031	0,095	0,014	5,270	10,6	2,84	3,93	5,43	15,3	6,0
Zepernick/1	1996	ANTAS	0,085	0,199	0,055	3,25	10,9	1,65	4,51	3,67	11,3	5,6
Zepernick/1	1997	ANTAS	0,048	0,195	0,060	3,53	9,2	2,24	6,49	5,58	9,4	10,1
Zepernick/1	1998	ANTAS	0,076	0,275	0,059	4,21	12,6	2,07	8,21	6,17	16,4	7,2
Zepernick/1	1999	ANTAS	0,053	0,219	0,025	4,26	10,3	2,09	4,05	4,68	13,3	11,7
Lebus/2	1996	Eigenbrodt	0,088	0,200	0,035	2,58	13,3	1,16	2,11	4,67	11,2	6,0
Lebus/2	1997	Eigenbrodt			0,128	2,96	11,9	1,61	4,30	6,89	11,0	15,4
Lebus/2	1998	Eigenbrodt			0,095	3,56	14,6	1,66	7,80	7,05	14,2	6,7
Lebus/2	1999	Eigenbrodt			0,019	4,18	9,3	1,61	2,20	4,93	11,8	6,0
Lauchhammer/3	1996	Eigenbrodt	0,183	0,350	0,045	2,12	16,7	1,56	2,51	5,93	14,2	8,5
Lauchhammer/3	1997	Eigenbrodt			0,063	2,32	11,0	1,71	3,83	6,09	11,4	4,8
Lauchhammer/3	1998	Eigenbrodt			0,070	3,05	12,6	1,66	4,81	6,41	14,6	8,2
Lauchhammer/3	1999	Eigenbrodt			0,166	3,17	13,0	1,20	2,96	5,91	13,1	5,8
Lauchhammer/3	1996	ANTAS	0,321	0,408	0,070	2,29	17,8	0,96	3,05	6,05	17,4	10,2
Lauchhammer/3	1997	ANTAS	0,091	0,264	0,091	2,96	11,2	1,47	3,60	6,25	11,7	13,3
Lauchhammer/3	1998	ANTAS	0,142	0,347	0,046	2,87	12,6	1,38	5,95	6,23	14,1	8,1
Lauchhammer/3	1999	ANTAS	0,104	0,267	0,029	2,21	9,5	0,99	2,15	5,51	12,5	5,4
Cumlosen/5	1996	Eigenbrodt	0,044	0,153	0,062	3,65	8,6	1,96	1,78	5,16	10,7	4,8
Cumlosen/5	1997	Eigenbrodt			0,071	2,90	7,8	1,74	3,81	5,07	9,3	9,5
Cumlosen/5	1998	Eigenbrodt			0,037	5,14	10,4	2,57	6,63	6,53	13,8	7,5
Cumlosen/5	1999	Eigenbrodt			0,008	6,80	10,8	3,80	2,24	7,19	16,2	7,1

H+ 5,65 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 5,65

H+ 7,00 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 7,00

A 3.5: Gewogene Mittelwerte der Hauptinhaltsstoffe in der Niederschlagsdeposition (Kronendurchlass) in Kiefernbeständen (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Kalenderjahr	pH	H+ 5,65	H+ 7,00	Fluorid	Chlorid	Sulfat	Natrium	Kalium	Calcium	Magnesium	Ammonium	Nitrat	Nitrit	N ges.	ortho-Phosphat-P	TOC
			mmol/l	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Kienhorst/1	1996	4,4	0,042	0,078	0,034	1,39	5,10	0,56	1,08	1,78	0,26	0,67	3,99	0,005		0,009	9,96
Kienhorst/1	1997	4,40	0,050	0,097	0,038	1,56	3,93	0,94	1,22	1,41	0,31	0,91	2,51	0,005	2,31	0,004	11,19
Kienhorst/1	1998	4,26	0,064	0,112	0,025	2,15	4,37	1,11	1,41	1,22	0,23	0,67	3,33	0,003	1,93	0,005	13,45
Kienhorst/1	1999	4,38	0,038	0,092	0,009	1,54	2,71	0,79	1,15	0,75	0,17	0,56	2,97	0,003	1,70	0,004	10,89
Schwenow/2	1996	3,85	0,069	0,116	0,051	1,32	5,76	0,51	1,34	1,23	0,21	0,64	3,07	0,001		0,004	11,96
Schwenow/2	1997	4,16	0,067	0,114	0,053	1,42	4,58	0,79	1,19	1,48	0,22	0,86	3,57	0,002	1,91	0,003	11,80
Schwenow/2	1998	4,34	0,044	0,081	0,021	1,31	3,51	0,71	0,98	1,45	0,18	0,73	2,78	0,004	1,79	0,005	9,48
Schwenow/2	1999	4,36	0,043	0,076	0,022	1,45	3,63	0,77	1,22	1,06	0,20	0,90	4,16	0,000	2,21	0,007	10,61
Neusorgefeld/3	1996	4,2	0,051	0,089	0,037	1,13	4,73	0,45	1,43	0,98	0,17	0,66	2,42	0,004		0,004	9,31
Neusorgefeld/3	1997	4,09	0,066	0,112	0,058	1,56	4,61	0,78	1,75	1,77	0,22	1,03	3,40	0,003	2,36	0,004	12,40
Neusorgefeld/3	1998	4,21	0,057	0,095	0,027	1,29	3,71	0,66	1,25	1,10	0,17	0,79	2,84	0,002	1,79	0,006	11,03
Neusorgefeld/3	1999	4,31	0,047	0,087	0,020	1,32	3,47	0,64	1,29	0,79	0,16	0,99	3,74	0,001	2,10	0,005	12,31
Weitzgrund/4	1996	4,2	0,085	0,120	0,036	1,39	5,99	0,60	1,44	1,07	0,21	1,14	3,92	0,003		0,004	14,69
Weitzgrund/4	1997	4,28	0,049	0,099	0,043	1,64	4,10	0,98	1,32	1,23	0,22	1,16	3,58	0,004	2,31	0,002	13,29
Weitzgrund/4	1998	4,44	0,056	0,118	0,030	2,17	4,59	1,15	1,63	1,77	0,28	1,24	4,59	0,002	3,11	0,013	15,91
Weitzgrund/4	1999	4,39	0,042	0,087	0,022	2,03	3,98	1,04	1,36	1,15	0,24	1,84	6,43	0,000	3,36	0,028	15,05
Beerenbusch/5	1996	4,25	0,053	0,087	0,030	1,83	5,07	0,69	1,13	0,89	0,19	0,77	3,13	0,002		0,004	10,44
Beerenbusch/5	1997	4,35	0,050	0,098	0,032	2,14	3,14	1,52	1,43	1,90	0,29	1,01	3,10	0,002	2,23	0,004	13,64
Beerenbusch/5	1998	4,32	0,042	0,079	0,014	1,69	2,36	1,10	1,02	1,11	0,19	0,66	1,83	0,001	1,40	0,006	11,59
Beerenbusch/5	1999	4,55	0,029	0,064	0,011	1,94	2,32	1,04	1,13	0,79	0,20	0,72	3,23	0,001	1,93	0,029	10,44
Natteheide/5	1996	4,1	0,083	0,138	0,050	2,38	7,10	1,06	1,87	1,08	0,31	1,41	4,47	0,002		0,005	17,13
Natteheide/5	1997	4,27	0,065	0,115	0,049	2,43	4,35	1,64	1,65	1,69	0,31	1,39	3,75	0,001	0,66	0,007	14,91
Natteheide/5	1998	4,50	0,031	0,073	0,022	1,87	2,93	1,04	1,28	1,13	0,23	0,91	2,47	0,002	1,93	0,011	10,70
Natteheide/5	1999	4,70	0,025	0,060	0,018	2,27	2,98	1,23	1,16	0,86	0,26	1,30	4,18	0,002	2,46	0,108	11,00

H+ 5,65 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 5,65

H+ 7,00 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 7,00

A 3.6: Frachten der Hauptinhaltsstoffe in der Niederschlagsdeposition (Kronendurchlass) in Kiefernbeständen (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg (Angaben in kg/(ha • a))

Messstelle / Region	Kalenderjahr	H+ 5,65	H+ 7,00	Fluorid	Chlorid	Sulfat	Natrium	Calcium	Ammonium	Nitrat	TOC
Kienhorst/1	1996	0,191	0,358	0,155	6,3	23,3	2,58	8,11	3,06	18,2	45,4
Kienhorst/1	1997	0,298	0,572	0,223	9,3	23,2	5,58	8,32	5,36	14,8	66,2
Kienhorst/1	1998	0,342	0,599	0,136	11,5	23,4	5,96	6,52	3,57	17,9	72,1
Kienhorst/1	1999	0,227	0,545	0,056	9,1	16,0	4,69	4,42	3,33	17,6	64,5
Schwenow/2	1996	0,315	0,531	0,233	6,0	26,3	2,34	5,60	2,91	14,0	54,6
Schwenow/2	1997	0,395	0,672	0,309	8,3	27,0	4,65	8,73	5,07	21,0	69,5
Schwenow/2	1998	0,320	0,585	0,154	9,5	25,4	5,18	10,50	5,27	20,2	68,8
Schwenow/2	1999	0,229	0,406	0,116	7,7	19,4	4,09	5,63	4,78	22,2	56,6
Neusorgefeld/3	1996	0,274	0,475	0,196	6,0	25,2	2,41	5,24	3,51	12,9	49,7
Neusorgefeld/3	1997	0,355	0,603	0,314	8,4	24,9	4,21	9,58	5,56	18,4	67,1
Neusorgefeld/3	1998	0,373	0,627	0,177	8,5	24,4	4,37	7,23	5,17	18,7	72,6
Neusorgefeld/3	1999	0,264	0,487	0,110	7,4	19,4	3,60	4,42	5,55	20,9	68,8
Weitzgrund/4	1996	0,374	0,532	0,160	6,2	26,5	2,65	4,72	5,04	17,3	64,9
Weitzgrund/4	1997	0,255	0,514	0,225	8,5	21,4	5,09	6,43	6,02	18,7	69,3
Weitzgrund/4	1998	0,232	0,485	0,124	8,9	18,9	4,71	7,26	5,10	18,8	65,4
Weitzgrund/4	1999	0,173	0,356	0,089	8,3	16,2	4,27	4,70	7,50	26,3	61,4
Beerenbusch/5	1996	0,233	0,387	0,135	8,1	22,4	3,06	3,94	3,40	13,9	46,1
Beerenbusch/5	1997	0,245	0,478	0,157	10,4	15,3	7,42	9,23	4,89	15,1	66,4
Beerenbusch/5	1998	0,316	0,598	0,103	12,7	17,8	8,26	8,39	5,00	13,8	87,2
Beerenbusch/5	1999	0,186	0,419	0,073	12,6	15,1	6,75	5,14	4,69	21,0	68,0
Natteheide/5	1996	0,308	0,510	0,186	8,8	26,3	3,94	3,99	5,22	16,5	63,4
Natteheide/5	1997	0,290	0,510	0,218	10,8	19,3	7,29	7,52	6,17	16,6	66,2
Natteheide/5	1998	0,231	0,548	0,164	14,1	22,1	7,79	8,49	6,88	18,6	80,5
Natteheide/5	1999	0,164	0,404	0,122	15,1	19,9	8,19	5,77	8,68	27,9	73,5

H+ 5,65 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 5,65

H+ 7,00 Wasserstoffionenüberschuss (Protonenüberschuss) im Vergleich zu Wasser mit pH 7,00

Anhang 4 Niederschlagsdepositionsbefunde – Spurenelemente

Tab. A 4.1: Spurenelementfrachten in der Niederschlagsdeposition (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Fracht (g/ha)																
	1996				1997				1998				1999				GM
	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	
Arsen																	
Kienhorst/1	4,2	4,4	0,5	3,9	4,8	5,0	2,0	2,9	5,3	3,5	1,2	2,3	2,4	4,6	1,1	3,5	4,2
Lebus/2									5,8	4,4	2,9	1,6	3,8	5,6	2,3	3,3	4,8
Schwenow/2	5,0		2,8		4,5	4,0	2,1	1,9	4,3	4,3	2,1	2,3	2,7	3,2	1,3	1,9	4,1
Mittelwert Region 2	5,0		2,8		4,5	4,0	2,1	1,9	5,1	4,4	2,5	1,9	3,2	4,4	1,8	2,6	4,4
Lauchhammer/3					5,7		3,8		5,8	6,3	4,3	2,0	3,3	3,5	1,7	1,8	4,9
Neusorgefeld/3	7,3		3,1		6,5	6,4	2,9	3,4	5,0	4,5	2,1	2,4	2,5	3,7	1,3	2,4	5,3
Mittelwert Region 3	7,3		3,1		6,1	6,4	3,4	3,4	5,4	5,4	3,2	2,2	2,9	3,6	1,5	2,1	5,4
Natteheide/5	4,8		1,3		3,9	4,6	2,3	2,3	5,0	3,3	1,9	1,5	3,4	5,1	1,5	3,6	4,3
Beerenbusch/5	5,0		2,1		3,5	4,4	2,2	2,2	4,1	3,9	2,2	1,7	2,8	3,4	1,3	2,1	3,8
Mittelwert Region 5	4,9		1,7		3,7	4,5	2,3	2,2	4,5	3,6	2,1	1,6	3,1	4,2	1,4	2,8	4,1
Blei																	
Kienhorst/1	23	22	13	10	25	26	11	15	25	24	10	14	20	22	8	14	23
Lebus/2									32	25	14	12	16	23	8	15	24
Schwenow/2	39		16		30	32	16	15	28	29	14	15	20	22	9	14	29
Mittelwert Region 2	39		16		30	32	16	15	30	27	14	13	18	23	8	14	29
Lauchhammer/3					33		23		30	34	21	13	22	21	12	9	28
Neusorgefeld/3	42		19		30	27	12	15	24	26	12	14	20	23	10	13	29
Mittelwert Region 3	42		19		32	27	17	15	27	30	16	14	21	22	11	11	30
Natteheide/5	32		9		25	32	13	18	27	25	13	12	24	26	11	15	27
Beerenbusch/5	31		16		31	34	15	19	26	25	12	13	22	24	9	14	27
Mittelwert Region 5	31		12		28	33	14	18	26	25	13	13	23	25	10	15	27

Fortsetzung Tab. A 4.1: Spurenelementfrachten in der Niederschlagsdeposition (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Fracht (g/ha)																GM
	1996				1997				1998				1999				
	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	
Cadmium																	
Kienhorst/1	0,4	0,4	0,2	0,1	2,2	2,0	1,0	1,0	0,2	0,2	0,2	0,1	1,2	0,8	0,2	0,6	1,0
Lebus/2									0,4	0,6	0,2	0,4	2,4	2,7	2,0	0,7	1,4
Schwenow/2	1,2		0,5		0,9	0,7	0,2	0,5	0,6	0,8	0,3	0,5	0,5	0,7	0,2	0,5	0,8
Mittelwert Region 2	1,2		0,5		0,9	0,7	0,2	0,5	0,5	0,7	0,2	0,4	1,4	1,7	1,1	0,6	1,0
Chrom																	
Lauchhammer/3					2,3		1,6		0,4	0,5	0,3	0,2	0,4	0,4	0,2	0,1	1,0
Neusorgefeld/3	1,8		0,7		2,5	2,6	1,7	0,9	0,3	0,7	0,2	0,5	0,4	0,4	0,2	0,2	1,3
Mittelwert Region 3	1,8		0,7		2,4	2,6	1,6	0,9	0,3	0,6	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	0,2	1,2
Natteheide/5	0,9		0,3		1,1	1,1	0,7	0,4	0,6	0,4	0,2	0,2	0,6	0,8	0,3	0,6	0,8
Beerenbusch/5	0,5		0,3		0,7	0,6	0,2	0,4	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,5	0,2	0,4	0,5
Mittelwert Region 5	0,7		0,3		0,9	0,9	0,4	0,4	0,6	0,5	0,3	0,2	0,5	0,7	0,2	0,5	0,6
Chrom																	
Kienhorst/1	5,1	4,4	2,8	1,6	4,6	5,1	2,1	3,1	2,7	2,8	0,8	2,1	2,0	2,0	0,5	1,5	3,6
Lebus/2									6,8	6,4	5,2	1,2	5,6	2,7	1,1	1,6	6,2
Schwenow/2	4,4		1,6		3,0	2,7	1,0	1,8	3,4	3,4	1,4	2,0	1,8	2,3	0,6	1,7	3,1
Mittelwert Region 2	4,4		1,6		3,0	2,7	1,0	1,8	5,1	4,9	3,3	1,6	3,7	2,5	0,8	1,7	4,1
Chrom																	
Lauchhammer/3					3,2		1,7		3,9	4,6	3,2	1,4	1,8	1,8	1,0	0,8	3,0
Neusorgefeld/3	6,1		3,2		5,3	5,3	2,6	2,6	2,0	2,5	1,1	1,4	1,6	1,7	0,5	1,2	3,8
Mittelwert Region 3	6,1		3,2		4,2	5,3	2,2	2,6	3,0	3,6	2,2	1,4	1,7	1,8	0,8	1,0	3,8
Natteheide/5	3,2		0,8		3,9	3,9	1,7	2,2	2,8	3,4	1,1	2,2	1,9	1,8	0,7	1,1	3,0
Beerenbusch/5	2,7		1,0		4,2	4,2	1,8	2,4	2,7	2,5	1,3	1,3	2,8	3,5	0,6	2,9	3,1
Mittelwert Region 5	3,0		0,9		4,0	4,1	1,8	2,3	2,8	3,0	1,2	1,8	2,3	2,6	0,6	2,0	3,0
Mangan																	
Kienhorst/1	41	37	31	6	70	68	41	26	80	75	54	21	39	47	30	18	57
Lebus/2									82	73	50	23	57	39,3	29,8	9,5	70
Schwenow/2	52		28		65	65	46	20	88	88	64	24	67	75	56	19	68
Mittelwert Region 2	52		28		65	65	46	20	85	81	57	24	62	57	43	14	66

Fortsetzung Tab. A 4.1: Spurenelementfrachten in der Niederschlagsdeposition (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Fracht (g/ha)																GM
	1996				1997				1998				1999				
	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	
Lauchhammer/3					60		40		82	86	73	13	48	41	23	18	63
Neusorgefeld/3	58		24		97	87	53	33	143	103	43	60	41	87	27	60	85
Mittelwert Region 3	58		24		79	87	47	33	113	95	58	36	44	64	25	39	74
Natteheide/5	48		24		90	85	45	40	75	61	46	15	41	52	31	20	64
Beerenbusch/5	29		18		83	75	45	30	56	54	33	21	41	48	31	17	52
Mittelwert Region 5	39		21		87	80	45	35	66	58	39	18	41	50	31	19	58
Nickel																	
Kienhorst/1	5,1	3,6	1,4	2,2	8,3	8,7	4,9	3,9	10,8	7,1	3,4	3,7	8,4	10,2	2,0	8,2	8,2
Lebus/2									14,9	11,7	6,9	4,8	5,7	7,7	2,6	5,1	10,3
Schwenow/2	7,1		3,1		7,0	6,2	2,6	3,5	8,7	9,3	3,6	5,7	6,7	7,6	3,1	4,6	7,4
Mittelwert Region 2	7,1		3,1		7,0	6,2	2,6	3,5	11,8	10,5	5,2	5,3	6,2	7,7	2,8	4,8	8,0
Lauchhammer/3					7,4		3,5		13,1	11,7	5,7	6,0	7,5	9,9	3,7	6,1	9,3
Neusorgefeld/3	8,4		3,8		7,0	7,1	3,4	3,7	10,8	10,5	4,4	6,1	7,4	7,3	2,0	5,3	8,4
Mittelwert Region 3	8,4		3,8		7,2	7,1	3,5	3,7	12	11,1	5,0	6,0	7,5	8,6	2,9	5,7	8,8
Natteheide/5	5,8		1,6		5,6	5,7	2,0	3,8	11,6	11,3	3,6	7,7	10,1	9,4	3,9	5,5	8,3
Beerenbusch/5	6,0		1,5		6,4	8,2	2,9	5,3	14,0	13,8	5,2	8,6	15,6	16,1	3,9	12,2	10,5
Mittelwert Region 5	5,9		1,6		6,0	7,0	2,4	4,5	12,8	12,6	4,4	8,2	12,9	12,7	3,9	8,8	9,4
Zink																	
Kienhorst/1	83	62	46	16	187	155	99	57	126	112	44	68	171	184	48	136	142
Lebus/2									179	155	51	104	127	122	34	88	153
Schwenow/2	219		88		127	152	60	91	138	123	71	52	115	127	54	73	150
Mittelwert Region 2	219		88		127	152	60	91	159	139	61	78	121	124	44	80	156
Lauchhammer/3					207		96		211	272	168	103	133	131	50	81	184
Neusorgefeld/3	222		93		148	161	61	100	194	172	53	119	150	175	44	130	179
Mittelwert Region 3	222		93		178	161	79	100	202	222	111	111	141	153	47	106	186
Natteheide/5	102		41		161	142	67	76	297	285	88	197	170	215	48	168	183
Beerenbusch/5	177		41		127	177	52	125	169	172	58	114	138	135	43	91	153

Fortsetzung Tab. A 4.1: Spurenelementfrachten in der Niederschlagsdeposition (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Fracht (g/ha)																
	1996				1997				1998				1999				GM
	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	
Mittelwert Region 5	140		41		144	160	59	101	233	228	73	156	154	175	46	129	
Cobalt																	
Kienhorst/1									1,3	0,5			1,1	1,1	0,3	0,8	1,2
Lebus/2									1,5	1,5	0,6	0,8	1,1	1,3	0,6	0,7	1,3
Lauchhammer/3									0,3	0,2			0,8	0,7	0,3	0,3	0,5
Eisen																	
Kienhorst/1	323	441	93	348	399	457	188	269	407	406	204	202	316	327	147	180	361
Lebus/2									1585	1554	1409	145	230	274	133	141	908
Schwenow/2	383		213		463	429	178	251	367	385	218	166	256	266	147	119	367
Mittelwert Region 2	383		213		463	429	178	251	976	969	814	156	243	270	140	130	516
Lauchhammer/3					735	426			1589	1656	1412	243	560	675	346	329	961
Neusorgefeld/3	744		382		392	451	196	256	420	417	240	177	270	283	156	126	457
Mittelwert Region 3	744		382		564	451	311	256	1005	1036	826	210	415	479	251	228	682
Natteheide/5	306		111		861	771	374	398	580	582	408	174	356	372	178	194	526
Beerenbusch/5	222		127		526	487	201	286	362	373	214	160	310	312	140	172	355
Mittelwert Region 5	264		119		693	629	288	342	471	478	311	167	333	342	159	183	440
Molybdän																	
Kienhorst/1									3,7	0,2			0,8	3,8	0,4	3,5	2,2
Lebus/2									1,2	1,0	0,5	0,4	1,9	2,3	1,3	0,9	1,5
Lauchhammer/3									1,4	0,8			0,8	1,0	0,5	0,5	1,1

Fortsetzung Tab. A 4.1: Spurenelementfrachten in der Niederschlagsdeposition (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg

Fracht (g/ha)																	
Messstelle/Region	1996				1997				1998				1999				GM
	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	
Barium																	
Kienhorst/1									23		10		16	23	7	16	19
Lebus/2									39	31	24	6	28	33	11	22	34
Lauchhammer/3									32		32		19	18	11	7	26
Kupfer																	
Kienhorst/1	36	32	19	13	30	35	12	23	28	21	13	9	39	39	12	27	33
Lebus/2									56	43	30	13	32	36	8	28	44
Schwenow/2	40		22		101	81	14	67	38	34	21	13	38	42	17	25	54
Mittelwert Region 2	40		22		101	81	14	67	47	38	25	13	35	39	13	26	56
Lauchhammer/3					19		10		35	38	29	9	33	31	18	12	29
Neusorgefeld/3	100		43		47	64	13	52	27	25	15	10	45	43	16	28	55
Mittelwert Region 3	100		43		33	64	11	52	31	32	22	10	39	37	17	20	51
Natteheide/5	66		23		44	49	11	37	44	34	19	14	40	48	17	31	48
Beerenbusch/5	45		15		67	70	9	61	35	33	16	17	39	36	13	23	46
Mittelwert Region 5	56		19		55	59	10	49	40	33	18	16	39	42	15	27	47
Selen																	
Kienhorst/1									1,9		0,4		1,2	1,5	0,4	1,1	1,5
Lebus/2									1,8	1,7	0,9	0,8	2,1	2,4	1,4	1,0	1,9
Lauchhammer/3									1,7		0,9		1,1	1,2	0,6	0,6	1,4

KJ Fracht im Kalenderjahr

HJ Fracht im hydrologischen Jahr

HS Fracht im hydrologischen Sommer

HW Fracht im hydrologischen Winter

GM Mittel der Jahresfrachten für den Zeitraum 1996–1999

Tab. A 4.2: Spurenelementfrachten in der Niederschlagsdeposition (Wet-only-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Fracht (g/ha)																
	1996				1997				1998				1999				GM
	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	
Arsen																	
Lebus/2								8,4	8,0	6,3	1,7	2,1	3,0	0,8	2,3	5,3	
Lauchhammer/3	12,1		9,3		4,6	4,7	3,0	1,7	6,6	7,2	2,2	5,0	2,6	5,9	1,6	4,3	6,5
Blei																	
Lebus/2								29	29	18,1	11,4	12,2	12,8	6,0	6,8	21	
Lauchhammer/3	25		17,0		27	27	18,4	8,1	26	47	15,2	32	18,2	18,5	10,1	8,4	24
Cadmium																	
Lebus/2								2,0	2,2	1,3	0,8	2,0	1,3	1,0	0,3	2,0	
Lauchhammer/3	4,2		2,8		3,3	3,6	0,6	3,0	0,5	1,2	0,2	1,0	0,8	0,8	0,6	0,3	2,2
Chrom																	
Lebus/2								5,9	6,3	4,4	1,9	1,9	2,1	0,8	1,3	3,9	
Lauchhammer/3	6,6		5,0		5,5	5,3	3,5	1,8	4,0	8,0	2,6	5,4	4,7	5,0	0,8	4,1	5,2
Mangan																	
Lebus/2								24	25	15,1	9,9	16,8	15,9	10,5	5,4	20	
Lauchhammer/3	27		18,8		32	31	23	7,7	20	45	13,9	31	14,4	13,9	8,2	5,7	23
Nickel																	
Lebus/2								13,4	14,9	6,8	8,1	10,6	9,9	5,0	4,8	12,0	
Lauchhammer/3	22		15,7		23	24	16,1	7,8	21	38	12,7	25,6	11,3	11,1	6,3	4,8	19,6
Zink																	
Lebus/2								212	227	92	135	203	189	90	99	208	
Lauchhammer/3	252		127		450	406	316	91	311	670	204	466	180	181	100	81	298
Cobalt																	
Lebus/2								3,3	3,0	1,3	1,7	1,4	1,5	0,7	0,8	2,3	
Lauchhammer/3								2,3		1,6		1,6	1,5	1,0	0,5	1,9	

Fortsetzung Tab. A 4.2: Spurenelementfrachten in der Niederschlagsdeposition (Wet-only-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Fracht (g/ha)																
	1996				1997				1998				1999				GM
	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	
Eisen																	
Lebus/2								227	243	105	138		127	122	57	65	177
Lauchhammer/3	287		205		381	377	286	91	314	571	165	406	218	260	102	158	300
Molybdän																	
Lebus/2								5,0	4,0	3,6	0,4		1,7	2,8	1,0	1,8	3,3
Lauchhammer/3								2,2		1,7			4,5	4,4	4,2	0,3	3,4
Barium																	
Lebus/2								27	23	11,3	11,3		18,2	21,4	10,2	11,1	23
Lauchhammer/3								21		16,9			17,9	16,6	10,8	5,8	19,5
Kupfer																	
Lebus/2								46	46	26	20		49	40	26	14	47
Lauchhammer/3	127		88		202	212	60	151	43	106	30	76	44	42	27	15	104
Selen																	
Lebus/2								6,7	6,2	5,4	0,8		1,8	2,1	0,7	1,4	4,2
Lauchhammer/3								3,0		2,1			3,2	3,4	2,1	1,3	3,1

KJ Fracht im Kalenderjahr

HJ Fracht im hydrologischen Jahr

HS Fracht im hydrologischen Sommer

HW Fracht im hydrologischen Winter

GM Mittel der Jahresfrachten für den Zeitraum 1996–1999

Tab. A 4.3: Spurenelementfrachten in der Niederschlagsdeposition (Kronendurchlass) in Kiefernbeständen (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Fracht (g/ha)																
	1996				1997				1998				1999				GM
	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	
Arsen																	
Kienhorst/1	3,8	2,9	1,2	1,7	14,3	12,3	2,4	9,9	3,4	2,9	1,3	1,6	2,9	3,3	1,1	2,1	6,1
Schwenow/2	6,6		2,4		4,8	5,6	3,2	2,5	4,0	4,0	1,8	2,2	2,7	3,3	1,5	1,8	4,5
Neusorgefeld/3	12,0		4,3		5,9	6,2	3,0	3,3	3,9	3,8	1,8	2,1	3,6	4,3	2,0	2,3	6,4
Beerenbusch/5	5,2		2,3		4,4	5,2	2,1	3,1	3,4	2,9	1,5	1,4	2,9	3,4	1,2	2,2	4,0
Blei																	
Kienhorst/1	20	17	8	9	20	23	11	12	15	12	5	7	15	17	4	12	18
Schwenow/2	83		54		17	17	7	10	14	16	7	9	11	12	5	7	31
Neusorgefeld/3	34		12		19	18	7	11	13	15	6	9	13	14	6	9	20
Beerenbusch/5	21		9		13	17	7	10	16	14	8	6	13	15	6	9	16
Cadmium																	
Kienhorst/1	0,8	0,9	0,4	0,5	1,2	1,1	0,7	0,4	0,6	0,5	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2	0,7
Schwenow/2	1,6		0,9		0,8	0,7	0,4	0,3	0,5	0,6	0,2	0,4	0,3	0,4	0,2	0,2	0,8
Neusorgefeld/3	5,4		0,9		2,5	4,8	2,0	2,8	0,8	0,9	0,2	0,7	0,6	0,9	0,3	0,6	2,3
Beerenbusch/5	0,8		0,2		0,8	1,1	0,5	0,6	0,9	0,4	0,3	0,1	0,4	0,8	0,1	0,7	0,7
Chrom																	
Kienhorst/1	5,6	4,9	3,1	1,8	5,1	5,8	2,5	3,3	2,6	2,5	1,5	1,0	3,7	3,1	1,7	1,4	4,2
Schwenow/2	16,9		9,3		4,2	5,8	2,0	3,8	5,5	3,1	2,0	1,1	4,1	5,5	1,8	3,6	7,7
Neusorgefeld/3	11,4		5,5		4,9	6,1	3,8	2,3	2,3	2,5	1,5	1,1	5,9	5,3	3,0	2,3	6,1
Beerenbusch/5	5,8		3,5		4,7	5,9	2,9	3,0	5,4	2,6	2,0	0,6	4,1	5,8	1,8	4,1	5,0
Mangan																	
Kienhorst/1	953	639	504	135	709	973	456	517	1041	864	657	207	711	774	400	374	853
Schwenow/2	1608		644		693	922	324	598	1621	1357	997	360	1073	1158	502	656	1249
Neusorgefeld/3	1129		484		932	997	598	399	912	990	582	407	668	665	401	264	910
Beerenbusch/5	1190		484		1264	1640	867	773	2115	1563	1239	325	1446	1850	949	901	1504

Fortsetzung Tab. A 4.3: Spurenelementfrachten in der Niederschlagsdeposition (Kronendurchlass) in Kiefernbeständen (Bulk-Probenahme) im Land Brandenburg

Messstelle/Region	Fracht (g/ha)																GM
	1996				1997				1998				1999				
	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	KJ	HJ	HS	HW	
Nickel																	
Kienhorst/1	5,1	3,7	1,8	1,9	7,8	7,9	4,5	3,4	8,9	7,8	3,0	4,8	10,2	11,2	4,6	6,6	8,0
Schwenow/2	10,5		5,1		7,8	8,2	4,4	3,9	7,0	7,2	3,6	3,6	7,7	8,1	3,1	4,9	8,3
Neusorgefeld/3	10,7		5,6		6,7	6,3	3,6	2,8	10,9	10,9	4,7	6,3	10,4	11,4	5,2	6,2	9,7
Beerenbusch/5	7,1		4,6		6,4	6,4	4,2	2,2	11,1	9,5	4,8	4,7	11,8	12,1	4,4	7,7	9,1
Zink																	
Kienhorst/1	125	111	75	36	120	128	75	54	160	111	66	44	166	202	52	150	143
Schwenow/2	148		74		147	153	85	69	153	134	48	87	111	118	35	83	140
Neusorgefeld/3	225		108		125	121	51	70	226	210	108	102	168	186	84	102	186
Beerenbusch/5	134		54		125	142	80	62	230	164	87	77	126	180	58	122	154
Eisen																	
Kienhorst/1	269	256	136	120	351	347	147	201	229	212	97	114	274	275	115	160	281
Schwenow/2	484		232		410	390	187	204	260	267	146	122	229	227	131	96	346
Neusorgefeld/3	508		252		397	379	163	216	291	293	159	134	264	286	153	133	365
Beerenbusch/5	332		195		473	452	153	299	307	270	169	100	262	281	148	133	343
Kupfer																	
Kienhorst/1	29	23	14	9	28	32	13	19	26	19	9	10	40	39	17	22	31
Schwenow/2	120		68		62	67	15	52	24	22	12	10	33	32	14	17	60
Neusorgefeld/3	108		70		46	43	17	27	31	28	16	12	40	41	22	19	56
Beerenbusch/5	65		32		41	62	12	49	31	28	21	8	42	34	17	17	45

KJ Fracht im Kalenderjahr

HJ Fracht im hydrologischen Jahr

HS Fracht im hydrologischen Sommer

HW Fracht im hydrologischen Winter

GM Mittel der Jahresfrachten für den Zeitraum 1996–1999

Tab. A 4.4: Spurenelementfrachten in der Wet-only-Niederschlagsdeposition an Messstellen des UBA im Land Brandenburg (nach [112])

Messstelle	Element	Jahresfracht (g/ha · a) ¹⁾					
		1994	1995	1996	1997	1998	1999
Angermünde (Region 1)	Cd	0,9	0,7	2,1	0,6	0,4	
	Cu	8	12	10		7	
	Mn	23	18	14		16	
	Pb	9	11	14	10	7	
	Zn	66	68	64		62	
Lindenberg/Falkenberg (Region 2)	Cd	1,0	1,4	2,4	1,3		0,3
	Cu	13	15	41			
	Mn	24	22	20			10
	Pb	13	24	16	19		8
	Zn	105	74	78			77
Doberlug-Kirchhain (Region 3)	Cd	0,9	0,9	0,6	0,2	0,3	0,6
	Cu	15	17	21		11	6
	Mn	25	24	18		16	9
	Pb	13	13	12	4	10	6
	Zn	204	97	139		69	47
Wiesenburg (Region 4)	Cd	1,2	0,8	0,5	0,4	0,4	0,3
	Cu	11	19	7		7	8
	Mn	29	24	17		20	19
	Pb	18	12	7	5	7	7
	Zn	118	124	102		95	85
Neuglobsow (Region 5)	Cd	0,9	0,7	0,6	0,3	0,3	0,2
	Cu	86	59	43		41	56
	Mn	23	13	14		18	11
	Pb	15	9	7	5	8	7
	Zn	179	172	121		139	163

¹⁾ Angaben ohne Niederschlagsmengen-Korrektur

Anhang 5 Niederschlagsdepositionsbefunde – Organica

Tab. A 5.1.1: Organica-Befundauswertung Messstelle Lauchhammer (L01) – 1997

Sammler			Bulk							WE						
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)				(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)
Monochloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,10	<0,1	3,1	36	17	69									
Dichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,10	<0,1	28,7	36	60	69	5,25								
Trichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,10	<0,1	19,8	36	69	69	6,28								
Phenol	ng/l	100	<100	830	9	67	70	0,48	1.198	<100	6.250	8	75	15	0,89	
Pentachlorphenol	ng/l	100	<100	100	9	0	70			<100	<100	8	0	15		
4-Nitrophenol	ng/l	100	<100	2140	9	78	70	0,83	2.086	<100	670	8	63	15	0,20	
2-Methylphenol	ng/l	100	<100	460	9	33	70			<100	420	8	13	15		
3-Methylphenol	ng/l	100	<100	<100	9	0	70			<100	<100	8	0	15		
4-Methylphenol	ng/l	100	<100	3040	9	33	70			<100	1.700	8	13	15		
Summe 6 PCB	ng/l	30	<30	856	10	50	77	0,091	272	<30	41	10	10	19		
Lindan	ng/l	5	<5	564	10	10	77			<5	25	10	20	19		
p,p-DDT	ng/l	5	<5	403	10	60	77	0,060	179	<5	44	10	30	19		
HCB	ng/l	5	<5	39	10	20	77			<5	<5	10	0	19		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	1	7	124	13	100	100	0,014	55	8	211	13	100	25	0,024	93
Benzo (a) pyren	ng/l	1	6	96	13	100	100	0,012	45	6	161	13	100	25	0,019	74
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1	2	178	13	100	100	0,029	114	<2	283	13	100	25	0,045	177
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	4	57	13	100	100	0,008	31	6	124	13	100	25	0,015	58
Indeno (123) pyren	ng/l	1	3	59	13	100	100	0,008	33	<2	101	13	100	25	0,007	27
Fluoranthen	ng/l	1	7	284	13	100	100	0,038	149	10	545	13	100	25	0,042	164
Benzol	ng/l	5	<5	244	36	78	70	0,079	200							
Chlorbenzol	ng/l	5	<5	180	35	54	70	0,030	74							
Ethylbenzol	ng/l	5	<5	150	24	67	46	0,023								
mp - Xylol	ng/l	5	<5	148	36	50	70	0,057	135							
o - Xylol	ng/l	5	<5	567	36	61	70	0,062	155							
Toluol	ng/l	5	<5	444	36	78	70	0,066	166							
o - Dichlorbenzol	ng/l	10	<10	210	24	21	46									
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	181	24	21	46									
Diethylbenzol	ng/l	5	<5	40	25	12	48									
Bromdichlormethan	ng/l	1	<1	22	32	31	61			<1	9	31	32	59		
Dibromchlormethan	ng/l	1	<1	6	32	16	61			<1	9	31	6	59		
Tetrachlorethen	ng/l	1	<1	68	44	34	84			<1	104	43	50	82	0,003	12
Tetrachlormethan	ng/l	1	<1	62	44	66	84	0,008	23	<1	49	43	81	82	0,005	16
Trichlormethan	ng/l	1	<1	2700	44	66	84	0,399	1174	<1	876	43	81	82	0,480	1443
Trichlorethen	ng/l	1	<1	136	44	57	84	0,013	39	<1	72	43	50	82	0,007	22
Tribrommethan	ng/l	1	<1	214	32	28	61			<1	91	31	23	59		
1.1.1 - Trichlorethen	ng/l	1	<1	14	32	19	61			<1	7	31	23	59		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze

² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.1.2: Organica-Befundauswertung Messstelle Lauchhammer (L01) – 1998

Sammeler			Bulk							WE						
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$)				(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$)
Monochloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,10	<0,1	26,2	41	50	79	1,74	4.253	<0,1	2,7	30	30	58		
Dichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,06	<0,06	32,8	41	76	79	3,47	9.736	<0,06	5,9	30	53	58	1,18	
Trichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	7,9	41	60	79	0,95	2.657	<0,04	0,3	30	50	58	0,98	
Phenol	ng/l	200	<200	20.000	11	91	90	2,40	7.194	<200	5.010	12	83	100	3,85	13.853
Pentachlorphenol	ng/l	200	<200	500	10	40	82			<200	700	12	36	100		
4-Nitrophenol	ng/l	200	<200	16.400	11	82	90	3,38	10.011	<200	7.560	12	75	100	3,33	11.977
2-Methylphenol	ng/l	200	<200	<200	11	0	90			<200	910	12	8	100		
3-Methylphenol	ng/l	200	<200	<200	11	0	90			<200	<200	12	0	100		
4-Methylphenol	ng/l	200	<200	560	11	27	90			<200	4.640	12	8	100		
Summe 6 PCB	ng/l	30	<30	47	11	27	90			<30	45	9	30	74		
Lindan	ng/l	4	<4	541	11	91	90	0,146	452	<4	954	9	78	74	0,223	603
p,p-DDT	ng/l	4	<4	7	11	27	90			<4	5	9	22	74		
HCB	ng/l	4	<4	4	11	9	90			<4	75	9	22	74		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	2	<2	25	12	58	99	0,004	15	<2	9	12	58	100	0,003	12
Benzo (a) pyren	ng/l	4	<4	10	12	42	99			<4	4	12	42	100		
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1	<1	33	12	33	99			<1	13	12	33	100		
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	<1	9	12	25	99			<1	2	12	42	100		
Indeno (123) pyren	ng/l	1	<1	17	12	42	99			<1	5	12	17	100		
Fluoranthen	ng/l	1	<1	58	12	83	99	0,022	83	<1	23	12	83	100	0,012	44
Benzol	ng/l	6	<6	2.090	42	95	81	0,142	416	<6	4.642	34	97	70	0,212	519
Chlorbenzol	ng/l	7	<7	56	42	60	81	0,034	99	<7	63	34	65	70	0,027	67
Ethylbenzol	ng/l	6	<6	194	42	60	81	0,027	81	<6	259	34	79	70	0,150	368
mp - Xylol	ng/l	5	<5	618	42	79	81	0,050	160	<5	984	34	85	70	0,075	183
o - Xylol	ng/l	5	<5	164	42	26	81			<5	384	34	47	70		
Toluol	ng/l	6	<5	1.490	42	76	81	0,092	272	<5	2.723	34	85	70	0,150	368
o - Dichlorbenzol	ng/l	16	<16	156	42	50	81	0,041	121	<16	93	34	47	70		
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	78	42	24	81			<20	35	34	24	70		
Diethylbenzol	ng/l	5	<5	35	42	59	81	0,015	45	<5	35	34	56	70	0,02	51
Bromdichlormethan	ng/l	2	<2	13	49	43	94			<2	12	45	33	86		
Dibromchlormethan	ng/l	1,6	<1,6	110	49	24	94			<1,6	38	45	24	86		
Tetrachlorethen	ng/l	0,4	<0,4	32	49	29	94			<0,4	10	45	16	86		
Tetrachlormethan	ng/l	1	<1	525	49	41	94			<1	20	45	40	86		
Trichlormethan	ng/l	0,4	<0,4	7.360	49	84	94	0,205	689	<0,4	5.030	45	84	86	0,194	626
Trichlorethen	ng/l	1	<1	311	49	63	94	0,015	57	<1	216	45	58	86	0,011	37
Tribrommethan	ng/l	8	<8	206	49	41	94			<8	210	45	24	86		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	2	<2	37	49	41	94			<2	44	45	40	86		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze

² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.1.3: Organica-Befundauswertung Messstelle Lauchhammer (L01) – 1999

Sammeler			Bulk						WE							
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)				(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)
Monochloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	8,84	44	57	84	0,67	2.010	<0,04	2,34	30	55	58	0,59	
Dichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,06	<0,06	4,36	44	50	84	0,61	1.840	<0,06	4,95	30	48	58	0,71	
Trichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	7,68	44	43	84			<0,04	1,97	30	40	58		
Phenol	ng/l	30	<30	4.134	45	67	86	1,27	3.904	<30	4.538	26	58	50	1,44	2.612
Pentachlorphenol	ng/l	104	<104	585	43	9	82			<104	205	25	12	48		
4-Nitrophenol	ng/l	490	<490	8.460	45	31	86			<490	5.104	27	26	52		
2-Methylphenol	ng/l	56	<56	809	45	27	86			<56	271	27	19	52		
3-Methylphenol	ng/l	40	<40	732	45	42	86			<40	525	27	22	52		
4-Methylphenol	ng/l	44	<44	5.279	45	31	86			<44	3.424	27	11	52		
Summe 6 PCB	ng/l	30	<30	110	44	36	84			<30	101	23	39	44		
Lindan	ng/l	14	<14	300	42	64	81	0,031	113	<14	157	22	27	42		
p,p-DDT	ng/l	6	<6	60	43	14	82			<6	<6	27	0	52		
HCB	ng/l	1	<1	35	42	7	81			<1	1	27	4	52		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	1	<1	59	47	94	90	0,012	39	<1	48	44	91	84	0,011	33
Benzo (a) pyren	ng/l	1	<1	17	47	81	90	0,006	21	<1	15	44	77	84	0,006	19
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1,6	<1,6	72	47	40	90			<1,6	96	44	36	84		
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	<1	21	47	55	90	0,004	13	<1	20	44	50	84	<0,004	<11
Indeno (123) pyren	ng/l	1,6	<1,6	90	47	47	90			<1,6	79	44	43	84		
Fluoranthen	ng/l	2,4	<2,4	149	47	83	90	0,038	123	<2,4	99	44	80	84	0,029	88
Benzol	ng/l	8	<8	229	47	96	90	0,137	449	<8	171	39	87	75	0,127	347
Chlorbenzol	ng/l	8	<8	91	47	26	90			<8	138	39	33	75		
Ethylbenzol	ng/l	8	<8	698	47	70	90	0,079	259	<8	566	39	64	75	0,104	283
mp - Xylol	ng/l	8	<8	2.527	47	87	90	0,277	911	<8	2.516	39	89	75	0,383	1.018
o - Xylol	ng/l	6	<6	809	47	68	90	0,087	286	<6	643	39	59	75	0,120	328
Toluol	ng/l	8	<8	587	47	91	90	0,188	620	<8	427	39	85	75	0,166	453
o - Dichlorbenzol	ng/l	16	<16	197	47	23	90			<16	59	39	21	75		
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	61	47	19	90			<20	62	39	11	75		
Diethylbenzol	ng/l	6	<6	58	47	36	90			<6	112	39	36	75		
Dibromchlormethan	ng/l	1,6	<1,6	22,1	46	17	88			<1,6	20,8	45	20	86		
Tetrachlorethen	ng/l	0,4	<0,4	7,8	47	49	90	0,001	4	<0,4	10,7	46	59	88	0,002	5
Tetrachlormethan	ng/l	1	<1	2,6	47	21	90			<1	3,4	46	15	88		
Trichlormethan	ng/l	0,4	<0,4	1.208	47	89	90	0,254	836	<0,4	1.165	46	87	88	0,204	656
Trichlorethen	ng/l	1	<1	20,3	46	41	88			<1	12,6	46	37	88		
Tribrommethan	ng/l	8	<8	95	47	26	90			<8	96,6	45	27	86		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	2	<2	12,7	47	6	90			<2	13,4	46	4	88		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.1.4: Organica-Befundauswertung Messstelle Lauchhammer (L01) – 2000

Sammler			Bulk							WE						
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	(µg/(m ² ·d))	(mg/(ha·a))				(%)	(%)	(µg/(m ² ·d))	(mg/(ha·a))
Ameisensäure	µg/l	4	<4	5.100	41	98	79	82,03	235.415	<4	150	37	95	71	48,50	125.620,30
Essigsäure	µg/l	10	<10	150	24	83	46	50,75		<10	87	21	81	40	37,87	
Propionsäure	µg/l	10	<10	92	46	13	88			<10	84	43	10	82		
Buttersäure	µg/l	10	<10	70	36	8	69			<10	5	43	9	82		
Oxalsäure	µg/l	50	<50	200	38	29	73			<50	110	30	37	58		
Monochloressigsäure	µg/l	0,04	<0,04	5,66	46	96	88	1,50	4.725	<0,04	23,94	26	96	50	5,07	
Dichloressigsäure	µg/l	0,06	<0,06	5,2	45	51	86	1,17	3.609	<0,06	4,72	26	42	50		
Trichloressigsäure	µg/l	0,04	<0,04	10,6	45	89	86	0,82	2.552	<0,04	29,9	26	88	50	4,32	
Benzylbutylphthalat	ng/l	280	<280	1.650	39	8	75			<280	280	22	5	42		
Ethylhexylphthalat	ng/l	928	<928	2.100	39	10	75			<928	1.000	22	5	42		
Diethylphthalat	ng/l	148	<148	4.130	39	18	75			<148	440	22	14	42		
Dimethylphthalat	ng/l	274	274	1.096	39	18	75			<274	1.064	22	23	42		
Dibutylphthalat	ng/l	558	<558	2.600	39	26	75			<558	1.240	22	14	42		
Diethylphthalat	ng/l	224	<224	<224	39	0	75			<224	<224	22	0	42		
Phenol	ng/l	66	<66	2.601	41	50	79	0,73	2.052	<66	2.769	29	66	56	1,18	
Pentachlorphenol	ng/l	110	<110	<110	41	0	79			<110	427	29	3	56		
2-Nitrophenol	ng/l	198	<198	1.268	41	15	79			<198	103	29	7	56		
4-Nitrophenol	ng/l	116	<116	14.611	41	24	79			<116	7.809	29	24	56		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	1	<1	55	48	71	92	0,009	29	<1	93	43	70	82	0,009	27
Benzo (a) pyren	ng/l	1	<1	29	48	50	92	0,004	14	<1	28	43	42	82		
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1,6	<1,6	98	48	27	92			<1,6	57	43	14	82		
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	<1	21	48	50	92	0,003	10	<1	16	43	37	82		
Indeno (123) pyren	ng/l	1,6	<1,6	21	48	21	92			<1,6	47	43	12	82		
Fluoranthen	ng/l	2,4	<2,4	162	48	96	92	0,033	108	<2,4	110	43	98	82	0,020	68
Benzol	ng/l	8	<8	245	42	98	81	0,130	381	28	184	38	100	73	0,136	361
Chlorbenzol	ng/l	8	<8	56	42	12	81			<8	11	39	15	75		
Ethylbenzol	ng/l	8	<8	138	42	74	81	0,023	77	<8	61	38	63	73	0,030	82
mp - Xylol	ng/l	8	<8	83	42	91	81	0,066	194	<8	89	38	82	73	0,060	157
o - Xylol	ng/l	6	<6	48	42	83	81	0,030	78	<6	98	38	71	73	0,030	80
Toluol	ng/l	6	<6	180	42	98	81	0,088	258	<6	168	38	95	73	0,090	250
o - Dichlorbenzol	ng/l	16	<16	330	42	14	81			<16	60	38	11	73		
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	31	42	10	81			<20	31	38	8	73		
Diethylbenzol	ng/l	6	<6	43	42	24	81			<6	231	38	26	73		
Bromdichlormethan	ng/l	4,4	<4,4	29,4	49	4	94			<4,4	<4,4	44	0	84		
Dibromchlormethan	ng/l	5,2	<5,2	2,6	49	0	94			<5,2	6,6	44	2	84		
Tetrachlorethen	ng/l	1,8	<1,8	2,1	49	4	94			<1,8	1,9	44	2	84		
Tetrachlormethan	ng/l	1,8	<1,8	8,1	49	37	94			<1,8	43,6	44	36	84		
Trichlormethan	ng/l	4,4	28,3	572	49	100	94	0,100	343	<4,4	1.150	44	98	84	0,130	409
Trichlorethen	ng/l	3,2	<3,2	35,8	49	35	94			<3,2	28,4	44	27	84		
Tribrommethan	ng/l	13,6	<13,6	66,6	49	33	94			<13,6	46,4	44	34	84		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	3,2	<3,2	10	49	2	94			<3,2	20,3	44	10	84		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenz

² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.2.1: Organica-Befundauswertung Messstelle Lebus (L02) – 1997

Sammler			Bulk							WE						
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)				(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)
Monochloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,10	<0,1	2,4	21	60	40	1,38								
Dichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,10	<0,1	6,7	28	80	54	6,11								
Trichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,10	<0,1	22,3	28	80	54	2,50								
Phenol	ng/l	100	<100	10.800	11	73	21	1,30	3.995	<100	1.570	5	80	38	0,89	
Pentachlorphenol	ng/l	100	<100	<100	11	0	21			<100	150	5	40	38		
4-Nitrophenol	ng/l	100	<100	480	11	64	21	0,39	1.210	300	1.170	5	100	38	0,18	
2-Methylphenol	ng/l	100	<100	900	11	9	21			<100	<100	5	0	38		
3-Methylphenol	ng/l	100	<100	<100	11	0	21			<100	<100	5	0	38		
4-Methylphenol	ng/l	100	<100	<100	11	0	21			<100	<100	5	0	38		
Summe 6 PCB	ng/l	30	<30	233	13	38	25			<30	55	5	20	38		
Lindan	ng/l	5	<5	52	13	46	25			<5	<5	5	0	38		
p,p-DDT	ng/l	5	<5	81	13	62	25	0,019	71	<5	12	5	30	38		
HCB	ng/l	5	<5	51	13	15	25			<5	<5	5	0	38		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	1	7	135	13	100	25	0,035	128	1	49	8	100	61	0,028	
Benzo (a) pyren	ng/l	1	6	107	13	100	25	0,030	109	2	26	8	100	61	0,024	
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1	6	115	13	100	25	0,047	170	2	141	8	100	61	0,082	
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	4	63	13	100	25	0,018	66	1	82	8	100	61	0,032	
Indeno (123) pyren	ng/l	1	3	178	13	100	25	0,029	104	<1	26	8	63	61	0,010	
Fluoranthen	ng/l	1	17	419	13	100	25	0,089	324	11	110	8	100	61	0,054	
Benzol	ng/l	5	<5	96	40	75	77	0,048	132							
Chlorbenzol	ng/l	5	<5	166	39	51	75	0,031	83							
Ethylbenzol	ng/l	5	<5	85	31	84	59	0,039								
mp - Xylol	ng/l	5	<5	304	40	78	77	0,079	216							
o - Xylol	ng/l	5	<5	105	40	58	77	0,058	163							
Toluol	ng/l	5	<5	249	40	73	77	0,050	137							
o - Dichlorbenzol	ng/l	10	<10	202	39	45	75									
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	215	40	45	77									
Diethylbenzol	ng/l	5	<5	94	40	19	77									
Bromdichlormethan	ng/l	1	<1	14	34	32	65			<1	6	23	26	44		
Dibromchlormethan	ng/l	1	<1	6	34	18	65			<1	3	23	13	44		
Tetrachlorethen	ng/l	1	<1	14	43	33	82			<1	7	23	30	44		
Tetrachlormethan	ng/l	1	<1	23	43	60	82	0,003	11	<1	53	23	70	44	0,006	
Trichlormethan	ng/l	1	31	1.670	43	100	82	0,297	893	<1	468	23	96	44	0,228	
Trichlorethen	ng/l	1	<1	81	43	50	82	0,011	32	<1	13	23	30	44		
Tribrommethan	ng/l	1	<1	50	34	15	65			<1	46	23	17	44		
1,1,1 - Trichlorethan	ng/l	1	<1	9	43	28	82			<1	6	23	13	44		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.2.2: Organica-Befundauswertung Messstelle Lebus (L02) – 1998

Sammler			Bulk							WE						
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)				(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)
Monochloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,10	<0,1	2,3	38	29	73			<0,1	2,9	24	26	46		
Dichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,06	<0,06	11,7	38	63	73	1,05	2.637	<0,06	1,9	24	50	46	0,86	
Trichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	2,4	38	63	73	0,37	966	<0,04	0,2	24	54	46	0,16	
Phenol	ng/l	200	<200	4.200	12	83	23	1,51	6.067	<200	6.500	12	75	23	2,26	8138
Pentachlorphenol	ng/l	200	<200	<200	12	0	23			<200	<200	7	0	13		
4-Nitrophenol	ng/l	200	<500	6.000	12	42	23			<200	1.300	12	67	23	0,90	3249
2-Methylphenol	ng/l	200	<200	460	12	8	23			<200	430	12	17	23		
3-Methylphenol	ng/l	200	<200	260	12	8	23			<200	250	12	8	23		
4-Methylphenol	ng/l	200	<200	320	12	17	23			<200	<200	12	0	23		
Summe 6 PCB	ng/l	30	<30	65	11	30	21			<30	133	9	33	17		
Lindan	ng/l	4	<4	191	11	45	21			<4	178	9	33	17		
p,p-DDT	ng/l	4	<4	9	11	27	21			<4	13	9	50	17	0,005	14
HCB	ng/l	4	<4	29	11	9	21			<4	7	9	11	17		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	2	<2	35	12	67	23	0,008	21	<2	15	12	42	23		
Benzo (a) pyren	ng/l	4	<4	11	12	50	23	0,006	17	<4	5	12	33	23		
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1	<1	47	12	42	23			<1	43	12	25	23		
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	<1	12	12	58	23	0,003	8	<1	9	12	33	23		
Indeno (123) pyren	ng/l	1	<1	29	12	58	23	0,006	11	<1	8	12	25	23		
Fluoranthen	ng/l	1	<1	135	12	75	23	0,038	166	<1	47	12	83	23	0,020	66
Benzol	ng/l	6	<6	60	46	80	88	0,030	94	<6	52	30	70	58	0,041	87
Chlorbenzol	ng/l	7	<7	83	46	70	88	0,035	111	<7	62	30	63	58	0,042	88
Ethylbenzol	ng/l	6	<6	71	46	65	88	0,019	59	<6	70	30	70	58	0,040	81
mp - Xylol	ng/l	5	<5	108	46	76	88	0,032	99	<5	95	30	60	58	0,045	94
o - Xylol	ng/l	5	<5	27	46	33	88			<5	76	30	33	58		
Toluol	ng/l	6	<5	150	46	89	88	0,071	220	<5	210	30	97	58	0,153	322
o - Dichlorbenzol	ng/l	16	<16	84	46	57	88	0,026	81	<16	93	30	53	58	0,059	111
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	126	46	15	88			<20	148	30	23	58		
Diethylbenzol	ng/l	5	<5	44	46	61	88	0,017	55	<5	24	30	60	58	0,020	41
Bromdichlormethan	ng/l	2	<2	10,8	49	39	94			<2	12	45	31	86		
Dibromchlormethan	ng/l	1,6	<1,6	18	49	27	94			<1,6	24	45	24	86		
Tetrachlorethen	ng/l	0,4	<0,4	9	49	33	94			<0,4	5,3	45	38	86		
Tetrachlormethan	ng/l	1	<1	15	49	37	94			<1	39	45	36	86		
Trichlormethan	ng/l	0,4	<0,4	2.813	49	92	94	0,201	660	<0,4	2.096	45	93	86	0,222	684
Trichlorethen	ng/l	1	<1	204	49	67	94	0,010	32	<1	82	45	47	86	0,011	34
Tribrommethan	ng/l	8	<8	263	49	24	94			<8	120	45	20	86		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	2	<2	19,2	49	43	94			<2	39	45	40	86		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze

² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.2.3: Organica-Befundauswertung Messstelle Lebus (L02) – 1999

Sammler			Bulk							WE						
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl.Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl.Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)				(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)
Monochloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	7,50	41	78	79	1,17	3.350	<0,04	5,00	27	63	52	0,82	1.930
Dichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,06	<0,06	2,19	41	71	79	0,565	1.620	<0,06	1,40	27	41	52		
Trichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	11,95	41	46	79			<0,04	7,37	27	46	52		
Phenol	ng/l	30	<30	2.880	39	67	75	1,066	2.909	<30	6.173	27	70	52	1,607	3.037
Pentachlorphenol	ng/l	104	<104	3.450	39	5	75			<104	438	26	12	50		
4-Nitrophenol	ng/l	490	<490	3.510	39	18	75			<490	3.850	27	19	52		
2-Methylphenol	ng/l	56	<56	696	39	18	75			<56	795	27	19	52		
3-Methylphenol	ng/l	40	<40	483	39	31	75			<40	420	27	33	52		
4-Methylphenol	ng/l	44	<44	312	39	10	75			<44	429	27	11	52		
Summe 6 PCB	ng/l	30	<30	126	41	27	79			<30	184	26	46	50		
Lindan	ng/l	14	<14	130	41	27	79			<14	111	25	36	48		
p,p-DDT	ng/l	6	<6	11	41	12	79			<6	<6	26	0	50		
HCB	ng/l	1	<1	12	41	7	79			<1	<1	26	0	50		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	1	<1	104	47	98	90	0,017	57	<1	27	41	95	79	0,002	6
Benzo (a) pyren	ng/l	1	<1	35	47	94	90	0,008	25	<1	10	41	80	79	0,002	5
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1,6	<1,6	144	47	55	90	0,014	45	<1,6	26	41	41	79		
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	<1	35	47	83	90	0,006	19	<1	9	41	61	79	0,001	3
Indeno (123) pyren	ng/l	1,6	<1,6	91	47	60	90	0,011	35	<1,6	31	41	49	79		
Fluoranthen	ng/l	2,4	<2,4	212	47	89	90	0,058	189	<2,4	48	41	78	79	0,007	20
Benzol	ng/l	8	<8	122	42	52	81	0,039	115	<8	111	36	53	69	0,033	84
Chlorbenzol	ng/l	8	<8	124	42	38	81			<8	95	36	47	69		
Ethylbenzol	ng/l	8	<8	107	42	50	81	0,029	85	<8	92	36	36	69		
mp - Xylol	ng/l	8	<8	181	42	55	81	0,055	162	<8	314	36	78	69	0,069	175
o - Xylol	ng/l	6	<6	95	42	31	81			<6	76	36	39	69		
Toluol	ng/l	8	<8	283	42	67	81	0,078	232	<8	199	36	81	69	0,093	234
o - Dichlorbenzol	ng/l	16	<16	160	42	29	81			<16	128	36	17	69		
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	125	42	17	81			<20	236	36	22	69		
Diethylbenzol	ng/l	6	<6	63	42	29	81			<6	76	36	8	69		
Dibromchlormethan	ng/l	1,6	<1,6	20,2	47	15	90			<1,6	10,1	42	19	81		
Tetrachlorethen	ng/l	0,4	<0,4	28	47	34	90			<0,4	43	42	29	81		
Tetrachlormethan	ng/l	1	<1	5,7	47	19	90			<1	9,5	42	17	81		
Trichlormethan	ng/l	0,4	<0,4	1.750	47	96	90	0,127	417	<0,4	492	42	90	81	0,096	283
Trichlorethen	ng/l	1	<1	23,7	47	43	90			<1	19,8	42	38	81		
Tribrommethan	ng/l	8	<8	100	47	32	90			<8	106,3	42	19	81		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	2	<2	11,9	47	15	90			<2	25,7	42	14	81		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.2.4: Organica-Befundauswertung Messstelle Lebus (L02) – 2000

Sammler			Bulk							WE						
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$)				(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$)
Ameisensäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	4	<4	5.700	38	92	73	117,40	312.285	<4	180	34	82	65	42,64	
Essigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	10	<10	650	34	82	65	113,40	261.931	<10	170	36	72	69	47,94	
Propionsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	10	<10	34	46	15	88			<10	<10	43	0	82		
Buttersäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	10	<10	24	44	7	84			<10	5	43	0	82		
Oxalsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	50	<50	160	36	28	69			<50	120	35	9	67		
Monochloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	11,3	42	93	81	4,04	11.869	0,04	11,8	28	100	54	4,06	
Dichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,06	<0,06	8,31	39	50	75	1,59	4.343	<0,06	10,01	30	57	58	1,80	
Trichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	24,48	36	97	69	3,96	9.696	<0,04	26,7	30	87	58	7,19	
Benzylbutylphthalat	ng/l	280	<280	3.400	36	8	69			<280	1.360	29	7	56		
Ethylhexylphthalat	ng/l	928	<928	8.800	36	17	69			<928	1.100	29	10	56		
Diethylphthalat	ng/l	148	<148	3.060	36	14	69			<148	691	29	7	56		
Dimethylphthalat	ng/l	274	<274	357	36	11	69			<274	238	29	14	56		
Dibutylphthalat	ng/l	558	<558	6.440	36	11	69			<558	1.811	29	10	56		
Diethylphthalat	ng/l	224	<224	3.400	36	6	69			<224	1.320	29	10	56		
Phenol	ng/l	66	<66	979	42	33	81			<66	756	30	47	58		
Pentachlorphenol	ng/l	110	<110	<110	42	0	81			<110	436	30	3	58		
2-Nitrophenol	ng/l	198	<198	2.244	42	12	81			<198	1.430	30	3	58		
4-Nitrophenol	ng/l	116	<16	307	42	2	81			<116	1.005	30	7	58		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	1	<1	66	43	84	82	0,011	34,5	<1	30	46	85	88	0,009	30,4
Benzo (a) pyren	ng/l	1	<1	62	43	56	82	0,006	16,7	<1	74	46	54	88	0,007	22,8
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1,6	<1,6	50	43	30	82			<1,6	299	46	30	88		
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	<1	34	43	61	82	0,004	13,5	<1	8	46	46	88		
Indeno (123) pyren	ng/l	1,6	<1,6	42	43	40	82			<1,6	19	46	28	88		
Fluoranthen	ng/l	2,4	<2,4	812	43	93	82	0,036	110	<2,4	66	46	96	88	0,024	76,4
Benzol	ng/l	8	<8	72	44	71	84	0,022	66,6	<8	179	43	79	82	0,038	115
Chlorbenzol	ng/l	8	<8	21	44	16	84			<8	66	43	5	82		
Ethylbenzol	ng/l	8	<8	198	44	41	84			<8	45	43	35	82		
mp - Xylol	ng/l	8	<8	163	44	63	84	0,028	85,3	<8	48	43	72	82	0,023	68,7
o - Xylol	ng/l	6	<6	131	44	34	84			<6	28	43	42	82		
Toluol	ng/l	6	<6	181	44	86	84	0,042	131	<6	111	43	98	82	0,053	159
o - Dichlorbenzol	ng/l	16	<16	88	44	9	84			<16	17	43	5	82		
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	90	44	11	84			<20	66,2	43	7	82		
Diethylbenzol	ng/l	6	<6	32	44	11	84			<6	69	43	16	82		
Bromdichlormethan	ng/l	4,4	<4,4	5,8	46	2	88			<4,4	<4,4	47	4	90		
Dibromchlormethan	ng/l	5,2	<5,2	6,4	46	2	88			<5,2	16,8	47	4	90		
Tetrachlorethen	ng/l	1,8	<1,8	0,9	46	0	88			<1,8	4,5	47	2	90		
Tetrachlormethan	ng/l	1,8	<1,8	5,6	46	28	88			<1,8	232	47	36	90		
Trichlormethan	ng/l	4,4	<4,4	282	46	96	88	0,096	310	<4,4	317	47	94	90	0,095	312
Trichlorethen	ng/l	3,2	<3,2	23,7	46	28	88			<3,2	34	47	28	90		
Tribrommethan	ng/l	13,6	<13,6	54	46	17	88			<13,6	79,5	47	30	90		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	3,2	<3,2	12	46	2	88			<3,2	12,1	47	4	90		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze ² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.3.1: Organica-Befundauswertung Messstelle Cumlosen (L06) – 1997

Sammler			Bulk						WE							
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$)				(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$)
Monochloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,10	<0,1	0,9	14	64	27	0,35								
Dichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,10	<0,1	5,6	14	100	27	3,29								
Trichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,10	<0,1	42	14	100	27	2,82								
Phenol	ng/l	100	<100	680	3	100	6	0,33		<100	690	4	75	31	0,38	
Pentachlorphenol	ng/l	100	<100	<100	3	0	6			<100	<100	4	0	31		
4-Nitrophenol	ng/l	100	<100	380	3	66	6	0,38		100	1.600	4	100	31	0,48	
2-Methylphenol	ng/l	100	<100	<100	3	0	6			<100	<100	4	0	31		
3-Methylphenol	ng/l	100	<100	<100	3	0	6			<100	<100	4	0	31		
4-Methylphenol	ng/l	100	<100	<100	3	0	6			<100	400	4	25	31		
Summe 6 PCB	ng/l	30	<30	33	5	20	10			<30	35	4	25	31		
Lindan	ng/l	5	<5	<5	5	0	10			<5	<5	5	0	38		
p,p-DDT	ng/l	5	<5	131	5	40	10			<5	25	5	25	38		
HCB	ng/l	5	<5	<5	5	0	10			<5	<5	5	0	38		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	1	7	21	6	100	12	0,014		1	19	5	100	38	0,018	
Benzo (a) pyren	ng/l	1	5	15	6	100	12	0,010		4	41	5	100	38	0,022	
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1	19	32	6	100	12	0,030		5	121	5	100	38	0,073	
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	5	11	6	100	12	0,008		1	13	5	100	38	0,011	
Indeno (123) pyren	ng/l	1	<1	12	6	80	12	0,007		3	15	5	60	38	0,005	
Fluoranthen	ng/l	1	8	128	6	100	12	0,038		12	55	5	100	38	0,036	
Benzol	ng/l	5	<5	164	16	81	31	0,049								
Chlorbenzol	ng/l	5	<5	283	16	50	31	0,015								
Ethylbenzol	ng/l	5	<5	218	16	69	31	0,024								
mp - Xylol	ng/l	5	<5	268	16	63	31	0,047								
o - Xylol	ng/l	5	<5	39	16	56	31	0,011								
Toluol	ng/l	5	<5	604	16	88	31	0,087								
o - Dichlorbenzol	ng/l	10	<10	62	16	19	31									
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	155	16	20	31									
Diethylbenzol	ng/l	5	<5	<5	16	0	31									
Bromdichlormethan	ng/l	1	<1	6	19	26	36			<1	5	17	18	33		
Dibromchlormethan	ng/l	1	<1	3	19	5	36			<1	24	17	12	33		
Tetrachlorethen	ng/l	1	<1	3	19	50	36	0,001		<1	3	17	53	33	0,001	
Tetrachlormethan	ng/l	1	<1	10	19	84	36	0,004		<1	3	17	88	33	0,004	
Trichlormethan	ng/l	1	<1	602	19	95	36	0,250		<1	1.670	17	94	33	0,253	
Trichlorethen	ng/l	1	<1	<1	19	0	36			<1	2	17	12	33		
Tribrommethan	ng/l	1	<1	<1	19	0	36			<1	<1	17	0	33		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	1	<1	2	19	16	36			<1	<1	17	0	33		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.3.2: Organica-Befundauswertung Messstelle Cumlosen (L06) – 1998

Sammler			Bulk							WE						
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	(µg/(m ² d))	(mg/(ha-a))				(%)	(%)	(µg/(m ² d))	(mg/(ha-a))
Monochloressigsäure	µg/l	0,10	<0,1	8,3	29	34	56			<0,1	9,3	25	28	48		
Dichloressigsäure	µg/l	0,06	<0,06	9,9	38	71	73	2,08	5542	<0,06	5,9	25	56	48	2,09	
Trichloressigsäure	µg/l	0,04	<0,04	1,1	38	53	73	0,25	654	<0,04	0,9	25	60	48	0,41	
Phenol	ng/l	200	<200	2.870	12	75	99	1,68	6.049	<200	3.900	9	78	74	2,48	9.050
Pentachlorphenol	ng/l	200	<200	<200	11	0	90			<200	<200	8	0	66		
4-Nitrophenol	ng/l	200	<500	9.600	12	92	99	2,50	8.994	<200	1.000	9	44	74		
2-Methylphenol	ng/l	200	<200	<200	12	8	99			<200	3.160	9	11	74		
3-Methylphenol	ng/l	200	<200	440	12	8	99			<200	<100	9	11	74		
4-Methylphenol	ng/l	200	<200	500	12	25	99			<200	<200	9	11	74		
Summe 6 PCB	ng/l	30	<30	65	11	30	90			<30	133	9	33	74		
Lindan	ng/l	4	<4	334	12	50	99	0,103	373	<4	1.493	8	63	66	0,143	
p,p-DDT	ng/l	4	<4	6	12	42	99			<4	33	8	38	66		
HCB	ng/l	4	<4	26	12	25	99			<4	4	8	0	66		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	2	<2	215	12	50	99	0,023	82	<2	41	12	50	99	0,006	22
Benzo (a) pyren	ng/l	4	<4	28	12	50	99	0,006	22	<4	5	12	17	99		
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1	<1	126	12	42	99			<1	30	12	42	99		
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	<1	174	12	50	99	0,017	60	<1	7	12	33	99		
Indeno (123) pyren	ng/l	1	<1	28	12	58	99	0,018	65	<1	13	12	23	99		
Fluoranthen	ng/l	1	<1	31	12	83	99	0,016	57	<1	32	12	83	99	0,010	37
Benzol	ng/l	6	<6	102	44	77	84	0,032	98	<6	114	31	94	59	0,038	148
Chlorbenzol	ng/l	7	<7	51	44	61	84	0,034	105	<7	39	31	61	59	0,030	62
Ethylbenzol	ng/l	6	<6	221	44	64	84	0,038	117	<6	65	31	74	59	0,040	86
mp - Xylol	ng/l	5	<5	89	44	70	84	0,036	112	<5	66	31	94	59	0,045	107
o - Xylol	ng/l	5	<5	78	44	27	84			<5	59	31	39	59		
Toluol	ng/l	6	<5	212	44	82	84	0,071	218	<5	227	31	94	59	0,106	236
o - Dichlorbenzol	ng/l	16	<16	84	46	57	1	0,031	96	<16	65	31	65	59	0,045	118
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	28	44	7	84			<20	770	31	29	59		
Diethylbenzol	ng/l	5	<5	93	44	50	84	0,015	46	<5	17	31	55	59	0,018	42
Bromdichlormethan	ng/l	2	<2	28	47	45	90			<2	14	43	25	82		
Dibromchlormethan	ng/l	1,6	<1,6	30	47	45	90			<1,6	17	43	16	82		
Tetrachlorethen	ng/l	0,4	<0,4	191	47	34	90			<0,4	5	43	12	82		
Tetrachlormethan	ng/l	1	<1	29	47	15	90			<1	22	43	5	82		
Trichlormethan	ng/l	0,4	<0,4	3.890	47	98	90	0,340	1118	<0,4	2.908	43	98	82	0,251	755
Trichlorethen	ng/l	1	<1	191	47	62	90	0,013	51	<1	185	43	25	82		
Tribrommethan	ng/l	8	<8	125	47	32	90			<8	179	43	37	82		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	2	<2	28,9	47	30	90			<2	31	43	25	82		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze

² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.3.3: Organica-Befundauswertung Messstelle Cumlosen (L06) – 1999

Sammler			Bulk							WE						
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$)				(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$)
Monochloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	4,95	45	71	86	0,95	2.979	<0,04	2,50	23	70	44	1,02	
Dichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,06	<0,06	3,58	45	60	86	0,43	1.358	<0,06	3,06	23	61	44	0,77	
Trichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	1,92	45	47	86			<0,04	1,02	23	39	44		
Phenol	ng/l	30	<30	3358	40	73	77	0,73	2033	<30	2.098	25	68	48	0,50	
Pentachlorphenol	ng/l	104	<104	713	40	5	77			<104	254	25	4	48		
4-Nitrophenol	ng/l	490	<490	2981	40	28	77			<490	3.860	25	28	48		
2-Methylphenol	ng/l	56	<56	485	40	25	77			<56	479	25	20	48		
3-Methylphenol	ng/l	40	<40	213	40	43	77			<40	238	25	40	48		
4-Methylphenol	ng/l	44	<44	799	40	20	77			<44	215	25	12	48		
Summe 6 PCB	ng/l	30	<30	126	43	27	82			<30	184	25	8	48		
Lindan	ng/l	14	<14	307	43	33	82			<14	337	25	36	48		
p,p-DDT	ng/l	6	<6	19	43	12	82			<6	84	25	12	48		
HCB	ng/l	1	<1	4	43	2	82			<1	27	25	4	48		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	1	<1	23	49	96	94	0,006	17	<1	68	44	93	84	0,006	18
Benzo (a) pyren	ng/l	1	<1	15	49	86	94	0,006	18	<1	38	44	84	84	0,006	19
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1,6	<1,6	22	49	43	94			<1,6	92	44	39	84		
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	<1	7	49	83	94	0,002	4	<1	20	44	30	84		
Indeno (123) pyren	ng/l	1,6	<1,6	29	49	49	94	0,004	12	<1,6	56	44	39	84		
Fluoranthen	ng/l	2,4	<2,4	121	49	71	94	0,010	35	<2,4	104	44	39	84		
Benzol	ng/l	8	<8	162	39	51	75	0,042	115	<8	132	35	54	67	0,048	117
Chlorbenzol	ng/l	8	<8	156	39	38	75			<8	86	35	34	67		
Ethylbenzol	ng/l	8	<8	379	39	72	75	0,143	390	<8	362	35	83	67	0,130	362
mp - Xylol	ng/l	8	<8	346	39	72	75	0,089	243	<8	251	35	86	67	0,092	251
o - Xylol	ng/l	6	<6	304	39	51	75	0,049	133	<6	96	35	54	67	0,031	96
Toluol	ng/l	8	<8	195	39	79	75	0,099	270	<8	603	35	86	67	0,156	383
o - Dichlorbenzol	ng/l	16	<16	210	39	36	75			<16	74	35	11	67		
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	195	39	21	75			<20	103	35	17	67		
Diethylbenzol	ng/l	6	<6	84	39	28	75			<6	38	25	25	48		
Dibromchlormethan	ng/l	1,6	<1,6	14,8	45	24	86			<1,6	12,8	40	20	77		
Tetrachlorethen	ng/l	0,4	<0,4	25	45	50	86	0,002	6	<0,4	2,5	40	43	77		
Tetrachlormethan	ng/l	1	<1	250	45	13	86			<1	1,6	40	8	77		
Trichlormethan	ng/l	0,4	<0,4	581	45	98	86	0,152	469	<0,4	2.837	40	90	77	0,160	476
Trichlorethen	ng/l	1	<1	21,1	45	50	86	0,006	18	<1	24,8	40	43	77		
Tribrommethan	ng/l	8	<8	66	45	38	86			<8	38,9	40	18	77		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	2	<2	16,6	45	11	86			<2	7,65	40	10	77		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.3.4: Organica-Befundauswertung Messstelle Cumlosen (L06) – 2000

Sammler			Bulk							WE						
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	(µg/(m ² ·d))	(mg/(ha·a))				(%)	(%)	(µg/(m ² ·d))	(mg/(ha·a))
Ameisensäure	µg/l	4	<4	140	43	88	82	26,67	80.291	<4	920	29	83	56	36,09	
Essigsäure	µg/l	10	<10	190	29	62	56	46,42		<10	500	23	83	44	55,95	
Propionsäure	µg/l	10	<10	100	48	6	92			<10	<10	41	5	79		
Buttersäure	µg/l	10	<10	39	48	4	92			<10	5	41	0	79		
Oxalsäure	µg/l	50	<50	140	39	8	75			<50	80	31	7	59		
Monochloressigsäure	µg/l	0,04	<0,04	10	45	96	86	4,52	14.552	<0,04	49,78	28	93	54	6,49	
Dichloressigsäure	µg/l	0,06	<0,06	4,68	48	50	92	0,90	3.013	<0,06	1,72	28	71	54	0,39	
Trichloressigsäure	µg/l	0,04	<0,04	30	48	83	92	2,49	8.360	<0,04	14,02	28	89	54	1,93	
Benzylbutylphthalat	ng/l	280	<280	2.800	46	11	88			<280	1.440	26	12	50		
Ethylhexylphthalat	ng/l	928	<928	7.500	46	15	88			<928	2.310	26	8	50		
Diethylphthalat	ng/l	148	<148	12.760	46	11	88			<148	2.380	26	12	50		
Dimethylphthalat	ng/l	274	<274	7.140	46	11	88			<274	510	26	19	50		
Dibutylphthalat	ng/l	558	<558	5.998	45	16	86			<558	7.000	26	12	50		
Diocetylphthalat	ng/l	224	<224	6.160	46	7	88			<224	550	26	4	50		
Phenol	ng/l	66	<66	2.614	47	50	90	0,50	1.645	<66	826	29	50	56		
Pentachlorphenol	ng/l	110	<110	509	46	2	88			<110	<110	29	0	56		
2-Nitrophenol	ng/l	198	<198	217	47	11	90			<198	<198	29	3	56		
4-Nitrophenol	ng/l	116	<116	7.793	47	15	90			<116	12.381	29	24	56		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	1	<1	40	48	65	92	0,007	24,7	<1	41	48	63	92	0,005	16,8
Benzo (a) pyren	ng/l	1	<1	14	47	45	90	0,004	12,5	<1	14	48	40	92	0,003	10,7
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1,6	<1,6	45	48	33	92			<1,6	40	48	8	92		
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	<1	11	48	46	92	0,003	9,2	<1	11	48	19	92	0,002	5,6
Indeno (123) pyren	ng/l	1,6	<1,6	23	48	25	92			<1,6	21	48	10	92		
Fluoranthen	ng/l	2,4	<2,4	72	48	96	92	0,017	57,9	<2,4	60	48	73	92	0,009	29,9
Benzol	ng/l	8	<8	80	46	98	88	0,048	156	<8	126	46	98	88	0,063	202
Chlorbenzol	ng/l	8	<8	15	46	17	88			<8	86	46	15	88		
Ethylbenzol	ng/l	8	<8	452	46	83	88	0,090	289	<8	333	46	96	88	0,130	419
mp - Xylol	ng/l	8	<8	102	46	91	88	0,056	180	<8	117	46	94	88	0,067	217
o - Xylol	ng/l	6	<6	73	46	70	88	0,027	87,2	<6	74	46	89	88	0,034	109
Toluol	ng/l	6	<6	521	46	98	88	0,138	444	<6	245	46	98	88	0,154	496
o - Dichlorbenzol	ng/l	16	<16	167	46	13	88			<16	29	46	9	88		
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	301	46	11	88			<20	110	46	13	88		
Diethylbenzol	ng/l	6	<6	21	46	22	88			<6	60	46	33	88		
Bromdichlormethan	ng/l	4,4	<4,4	6,8	48	2	92			<4,4	<4,4	48	2	92		
Dibromchlormethan	ng/l	5,2	<5,2	15,1	48	10	92			<5,2	8,8	48	4	92		
Tetrachlorethen	ng/l	1,8	<1,8	3,7	48	8	92			<1,8	4	48	8	92		
Tetrachlormethan	ng/l	1,8	<1,8	5	48	35	92			<1,8	6,2	48	35	92		
Trichlormethan	ng/l	4,4	<4,4	743,3	48	98	92	0,127	426	8	454,6	48	100	92	0,089	300
Trichlorethen	ng/l	3,2	<3,2	42,3	48	25	92			<3,2	26	48	33	92		
Tribrommethan	ng/l	13,6	<13,6	43,8	48	33	92			<13,6	91,1	48	27	92		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	3,2	<3,2	26,7	48	4	92			<3,2	26,4	48	8	92		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze

² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.4.1: Organica-Befundauswertung Messstelle Kienhorst (L12) – 1999

Sammler			Bulk						WE							
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	($\mu/(m^2 \cdot d)$)	($mg/(ha \cdot a)$)				(%)	(%)	($\mu g/(m^2 \cdot d)$)	($mg/(ha \cdot a)$)
Monochloressigsäure	$\mu g/l$	0,04	<0,04	0,45	25	78	48	0,28		<0,04	1,84	17	82	32	1,57	
Dichloressigsäure	$\mu g/l$	0,06	<0,06	1,09	26	71	50	0,22		<0,06	1,52	17	59	32	0,58	
Trichloressigsäure	$\mu g/l$	0,04	<0,04	0,45	26	46	50			<0,04	2,14	17	65	32	0,91	
Phenol	ng/l	30	<30	1.387	28	61	54	0,39		<30	3.333	19	50	37	0,290	
Pentachlorphenol	ng/l	104	<104	52	27	0	52			<104	<104	19	0	37		
4-Nitrophenol	ng/l	490	<490	6.042	28	29	54			<490	1.289	19	11	37		
2-Methylphenol	ng/l	56	<56	390	28	14	54			<56	827	19	11	37		
3-Methylphenol	ng/l	40	<40	251	28	25	54			<40	73	19	21	37		
4-Methylphenol	ng/l	44	<44	122	28	10	54			<44	<44	19	0	37		
Summe 6 PCB	ng/l	30	<30	86	28	0	54			<30	104	17	18	33		
Lindan	ng/l	14	<14	36	26	12	50			<14	26	17	18	33		
p,p-DDT	ng/l	6	<6	69	26	4	50			<6	21	17	12	33		
HCB	ng/l	1	<1	6	26	4	50			<1	5	17	6	33		
Benzo (b) fluoranthen	ng/l	1	<1	65	29	90	56	0,015		<1	8	29	86	56	0,006	
Benzo (a) pyren	ng/l	1	<1	17	29	90	56	0,009		<1	19	29	86	56	0,007	
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1,6	<1,6	57	29	31	56			<1,6	12	29	34	56		
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	<1	22	29	45	56			<1	3	29	31	56		
Indeno (123) pyren	ng/l	1,6	<1,6	70	29	45	56			<1,6	13	29	34	56		
Fluoranthen	ng/l	2,4	<2,4	114	29	66	56	0,028		<2,4	32	29	52	56	0,012	
Benzol	ng/l	8	<8	154	29	59	56	0,040		<8	117	26	58	50	0,057	
Chlorbenzol	ng/l	8	<8	43	29	28	56			<8	71	26	23	50		
Ethylbenzol	ng/l	8	<8	223	29	62	56	0,051		<8	156	26	42	50		
mp - Xylol	ng/l	8	<8	616	29	83	56	0,152		<8	1.029	26	62	50	0,152	
o - Xylol	ng/l	6	<6	198	29	62	56	0,090		<6	547	26	56	50	0,069	
Toluol	ng/l	8	<8	1.010	29	93	56	0,205		<8	369	26	85	50	0,141	
o - Dichlorbenzol	ng/l	16	<16	123	29	10	56			<16	226	26	12	50		
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	105	29	14	56			<20	212	26	15	50		
Diethylbenzol	ng/l	6	<6	18	29	7	56			<6	73	26	16	50		
Dibromchlormethan	ng/l	1,6	<1,6	9,3	29	28	56			<1,6	22,6	29	31	56		
Tetrachlorethen	ng/l	0,4	<0,4	2,6	29	34	56			<0,4	4,3	29	28	56		
Tetrachlormethan	ng/l	1	<1	4,8	29	10	56			<1	2,3	29	28	56		
Trichlormethan	ng/l	0,4	<0,4	654	29	97	56	0,087		<0,4	705	29	89	56	0,073	
Trichlorethen	ng/l	1	<1	19,9	29	62	56	0,008		<1	11,6	29	59	56	0,006	
Tribrommethan	ng/l	8	<8	222	29	31	56			<8	165	29	45	56		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	2	<2	3,6	29	10	56			<2	10	29	26	56		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze² der vorliegenden Proben

Tab. A 5.4.2: Organica-Befundauswertung Messstelle Kienhorst (L12) – 2000

Sammler			Bulk							WE						
Parameter	Einheit	NG	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²	Min	Max	Anzahl Proben	Befunde ¹	Anteil der Tage des Messjahres	Mittl. Tagesfracht ²	Jahresfracht ²
						(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)				(%)	(%)	($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	($\text{mg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$)
Ameisensäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	4	<4	1.100	45	96	86	148,60	468.022	<4	270	35	91	67	48,00	
Essigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	10	<10	1.800	21	95	40	293,00		<10	190	23	91	44	59,50	
Propionsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	10	<10	32	44	9	84			<10	<10	38	0	73		
Buttersäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	10	<10	14	45	2	86			<10	14	39	3	75		
Oxalsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	50	<50	120	29	65	56	40,00		<50	120	28	14	54		
Monochloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	22,5	44	100	84	2,52	7.233	<0,04	10,7	32	97	61	4,46	
Dichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,06	<0,06	7,39	44	60	84	0,81	2.488	<0,06	13	28	50	54	2,10	
Trichloressigsäure	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,04	<0,04	12,2	44	87	84	1,19	3.673	<0,04	8,98	29	93	56	4,22	
Benzylbutylphthalat	ng/l	280	<280	<280	42	0	81			<280	4.930	33	6	63		
Ethylhexylphthalat	ng/l	928	<928	2.880	42	21	81			<928	1.900	33	3	63		
Diethylphthalat	ng/l	148	<148	720	42	19	81			<148	368	33	6	63		
Dimethylphthalat	ng/l	274	<274	396	42	17	81			<274	137	33	6	63		
Dibutylphthalat	ng/l	558	<558	3.450	41	22	79			<558	813	33	6	63		
Diocetylphthalat	ng/l	224	<224	<112	42	0	81			<224	1.540	33	6	63		
Phenol	ng/l	66	<66	1.800	46	52	88	0,51	776	<66	1.074	32	42	61	<0,50	<1.000
Pentachlorphenol	ng/l	110	<110	136	45	4	86			<110	120	32	2	61		
2-Nitrophenol	ng/l	198	<198	<198	46	0	88			<198	<198	31	3	59		
4-Nitrophenol	ng/l	116	<116	1.604	46	24	88			<116	884	31	6	59		
2-Methylphenol	ng/l	1	<1	46	48	77	92	0,010	31	<1	51	46	65	88	0,006	12
Benzo (a) pyren	ng/l	1	<1	17	48	50	92	0,006	17	<1	18	46	39	88		
Benzo (ghi) perylen	ng/l	1,6	<1,6	27	48	25	92			<1,6	24	46	15	88		
Benzo (k) fluoranthen	ng/l	1	<1	14	48	54	92	0,004	10	<1	13	46	37	88		
Indeno (123) pyren	ng/l	1,6	<1,6	34	48	38	92			<1,6	12	46	15	88		
Fluoranthen	ng/l	2,4	<2,4	86	48	96	92	0,026	56	<2,4	92	46	98	88	0,015	49,7
Benzol	ng/l	8	<8	51	46	71	88	0,023	83	<8	68	43	77	82	0,024	72,2
Chlorbenzol	ng/l	8	<8	290	46	17	88			<8	19	43	12	82		
Ethylbenzol	ng/l	8	<8	286	46	43	88			<8	107	43	40	82		
mp - Xylol	ng/l	8	<8	871	46	76	88	0,082	318	<8	266	43	88	82	0,047	142
o - Xylol	ng/l	6	<6	178	46	30	88			<6	86	43	51	82	0,016	48,6
Toluol	ng/l	6	<6	268	46	95	88	0,092	432	<6	193	43	93	82	0,078	236
o - Dichlorbenzol	ng/l	16	<16	39	46	6	88			<16	45	43	12	82		
mp - Dichlorbenzol	ng/l	20	<20	210	46	11	88			<20	1.180	43	16	82		
Diethylbenzol	ng/l	6	<6	40	46	21	88			<6	54	43	26	82		
Bromdichlormethan	ng/l	4,4	<4,4	<4,4	46	0	88			<4,4	<4,4	44	0	84		
Dibromchlormethan	ng/l	5,2	<5,2	12,7	46	2	88			<5,2	8	44	2	84		
Tetrachlorethen	ng/l	1,8	<1,8	2,7	46	2	88			<1,8	8,3	44	4	84		
Tetrachlormethan	ng/l	1,8	<1,8	42	46	13	88			<1,8	5,5	44	34	84		
Trichlormethan	ng/l	4,4	<4,4	249,2	46	99	88	0,106	176	4,4	401	44	100	84	0,098	303
Trichlorethen	ng/l	3,2	<3,2	28,5	46	61	88	0,010	16	<3,2	25,8	44	43	84		
Tribrömmethan	ng/l	13,6	<13,6	164	46	20	88			<13,6	94	44	30	84		
1.1.1 - Trichlorethan	ng/l	3,2	<3,2	26,8	46	4	88			<3,2	26,6	44	5	84		

¹ Anteil der Proben oberhalb der Nachweisgrenze

² der vorliegenden Proben



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

- Band 1 Geotechnik im Deponiebau (1994)
- Band 2 Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg (1993)
- Band 3 Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg (1994)
- Band 4 Abfallwirtschaft und Bergbau (1995)
- Band 5 Luftqualität 1975–1990 (1995)
- Band 6 Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen (1995)
- Band 7 Rüstungsaltslasten (1995)
- Band 8 Die Havel (1995)
- Band 9 Rieselfelder Brandenburg-Berlin (1995)
- Band 10 Ausweisung von Gewässerrandstreifen (1996)
- Band 11 Brandenburger Ökologietage I (1996)
- Band 12 Radioaktive Altlasten auf WGT-Flächen (1996)
- Band 13/14 Rieselfelder südlich Berlins (1996)
- Band 15 Die sensiblen Fließgewässer und das Fließgewässerschutzsystem im Land Brandenburg (1998)
- Band 16 Das Sommerhochwasser an der Oder 1997 – Brandenburger Ökologietage II (1998)
- Band 17 Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft – Leitbildentwicklung – (1998)
- Band 18 Landschaftsökologische Untersuchungen am ...Niedermoor in Nuthe-Nieplitz-Niederung (1998)
- Band 19 Umweltradioaktivität – Bericht 1998 (1999)
- Band 20/21 Untersuchungen der Oder zur Belastung der Schwebstoff- bzw. Sedimentphase ... 1998 (1999)
- Band 22 Schadstoffbelastung von Böden im NP Unteres Odertal vor/nach Oderhochwasser 1997 (1999)
- Band 23 Geogene Grundbelastung der Fließgewässer Spree/Schwarze Elster und Einzugsgebiete (1999)
- Band 24 Brandenburgisches Symposium zur bodenschutzbezogenen Forschung (2000)
- Band 25 Humanarzneimittel in der Umwelt (2000)
- Band 26 Endokrin wirksame Stoffe in der Umwelt (2001)
- Band 27 Flächendeckende Modellierung von Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg (2001)
- Band 28 Ökologietage III – Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg (2001)
- Band 29 Tierarzneimittel in der Umwelt (2001)
- Band 30 Pflanzenschutzmittel in der Umwelt (2001)
- Band 31 Grundlagen für die wasserwirtschaftliche Rahmen-/Bewirtschaftungsplanung im Oderbruch (2001)
- Band 32 Weiterentwicklung von Schutzgebietssystemen auf naturräumlicher Grundlage... (2001)
- Band 33 Morphologische Referenzzustände in Bächen im Land Brandenburg (2001)
- Band 34 Humantoxikologisches Potenzial von Holzstäuben (2001)
- Band 35 Tagebaurestseen: Wasserbeschaffenheit und wassergütewirtschaftliche Sanierung... (2001)
- Band 36 Staubbiederschlag und Niederschlagsdeposition im Land Brandenburg (2002)

Herausgeber:

Landesumweltamt Brandenburg (LUA) • Berliner Straße 21–25 • 14467 Potsdam
FON: 0331/23 23 259 • FAX: 0331/29 21 08 • E-Mail: infoline@lua.brandenburg.de
Schutzgebühr je Band 7,- €, Doppelband 10,- €