



Staatliches Gewerbeaufsichtsamt
Hildesheim



Immissionsmessprogramm Niedersächsische Küste 2011 - 2012

**Staubniederschlag sowie
Schadstoffdepositionen
Schwefeldioxid-, Stickstoffdioxid-,
und Benzol-Konzentrationen**

**Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung,
Lärm und Gefahrstoffe - ZUS LLG**



Niedersachsen

Bericht Nr. 43-012-BI-006

Stand: 19.12.2012

Auftraggeber:

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz
Archivstraße 2, 30169 Hannover

Durchführung:

Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim
Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe - ZUS LLG
Dezernat 43

Postanschrift:	Dienstgebäude:
Goslarsche Straße 3	An der Scharlake 39
31134 Hildesheim	31135 Hildesheim



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Messgebiet, Messpunkte, Messdauer	3
1.2	Messkomponenten, Messplan.....	5
1.3	Beteiligung weiterer Institute	5
2	Beurteilungsgrundlagen	6
3	Messverfahren	8
3.1	Bestimmung des Staubniederschlags (Bergerhoff-Methode).....	8
3.2	Bestimmung der Schadstoffdepositionen Arsen, Blei, Cadmium und Nickel.....	8
3.3	Bestimmung von Schwefeldioxid.....	9
3.4	Bestimmung von Stickstoffdioxid.....	10
3.5	Bestimmung von Benzol	11
3.6	Verfahrenskenngrößen	12
3.6.1	Nachweisgrenzen	12
3.6.2	Datenverfügbarkeit.....	12
3.6.3	Messunsicherheit	12
4	Messergebnisse	15
4.1	Staubniederschlag und Schadstoffdepositionen Arsen, Blei, Cadmium und Nickel	15
4.2	Depositionen von Anionen im Vergleich mit Messergebnissen im Binnenland	16
4.3	Schwefeldioxid-, Stickstoffdioxid- und Benzol-Konzentration.....	18
5	Zusammenfassung	20



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der Messpunkte im Untersuchungsprogramm Niedersächsische Küste	4
Abbildung 2: Stickstoffdioxid- und Benzol-Konzentrationen im Jahresverlauf der Monatsmittelwerte (alle Messstellen) im Immissionsmessprogramm Küste	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bezeichnungen und Details zu den Messstellen	4
Tabelle 2: Immissionswert für Staubbiederschlag gemäß TA Luft Nr. 4.3.1 [3].....	6
Tabelle 3: Immissionswerte für Schadstoffdepositionen gemäß TA Luft Nr. 4.5.1 [3]	6
Tabelle 4: Immissionsgrenzwerte für gasförmige Luftschadstoffe gemäß 39. BImSchV [1] ..	7
Tabelle 5: Verfahrensnachweisgrenzen	12
Tabelle 6: Jahresmittelwerte des Staubbiederschlags und der Schadstoffdepositionen von Arsen, Blei, Cadmium und Nickel im Untersuchungsprogramm Küste	15
Tabelle 7: Jahresmittelwerte des Staubbiederschlags und der Schadstoffdepositionen an LÜN-Stationen im Rahmen der allgemeinen Umweltüberwachung in Niedersachsen zum Vergleich	16
Tabelle 8: Jahresmittelwerte der Anionen-Depositionen (Chlorid, Nitrat und Sulfat)	17
Tabelle 9: Jahresmittelwert der Anionen-Depositionen an LÜN-Standorten	17
Tabelle 10: Jahresmittelwerte der Schwefeldioxid-, Stickstoffdioxid- und Benzol-Konzentrationen	18

1 Einleitung

Sowohl aus den Gemeinden östlich des Dollarts als auch östlich des Jadebusens wurden in der Vergangenheit Befürchtungen über Belastungen der Luft durch die in westlicher Richtung in den Niederlanden bzw. in Wilhelmshaven ansässige Industrie, sowie über Schiffsemissionen durch die stark befahrenen Schifffahrtsrouten, geäußert.

Anhand von Untersuchungen an verschiedenen Standorten sollte die aktuelle Immissionssituation der Küstenregion repräsentativ ermittelt werden. Neben den bestehenden kontinuierlich messenden Luftüberwachungsstationen wurden zusätzliche Messstellen, bestückt mit Passivsammlern, entlang des Küstenstreifens eingerichtet.

Die Immissionsmessungen wurden im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz durch das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim durchgeführt. Der Zentralen Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe (ZUS LLG) im Staatlichen Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim obliegt die Zuständigkeit für die Ermittlung der Luftqualität in Niedersachsen

1.1 Messgebiet, Messpunkte, Messdauer

Das Messgebiet erstreckte sich entlang der Niedersächsischen Nordseeküste vom Dollart im Westen bis ins Alte Land an die Elbmündung im Osten. Regional begrenzt befinden sich im Bereich der Küste zum Teil ausgedehnte Industrieansiedlungen (Emden, Wilhelmshaven, Nordenham, Bremerhaven). Daneben existieren verschiedene Schifffahrtsrouten, die entsprechend der Befahrbarkeit der Flüsse weit in die Flussmündungen von Ems, Weser und Elbe hineinreichen. Die weitaus größeren Küstenabschnitte werden aber landwirtschaftlich und die Gebiete um die namhaften Küstenorte touristisch genutzt.

Neben den vorhandenen Messstationen des Luftüberwachungssystems Niedersachsen (LÜN) in Emden, Wilhelmshaven, (Bremerhaven - Messstelle des Bremer Luftüberwachungssystems (BLUES)), Cuxhaven und Jork wurden für das Untersuchungsprogramm sechs zusätzliche Messstellen eingerichtet. Neben den genannten LÜN-Messstationen existiert auf der Insel Norderney noch die Station „Ostfriesische Inseln“. Diese blieb im Rahmen des Immissionsmessprogramms Küste unberücksichtigt, da hier seit vielen Jahren Messungen vom LÜN zur Beurteilung der Luftqualität durchgeführt werden (siehe [13]), die z.B. auch die Erfassung von Schwefeldioxid umfassen, und an der insgesamt sehr geringe Schadstoffgehalte in der Luft ermittelt werden, die weit unterhalb der Grenzwerte liegen.

Die Messungen wurden vom 01.04.2011 – 31.03.2012 durchgeführt. Der Messzeitraum umfasste mit zwölf Monaten ein komplettes Beurteilungsjahr (2011/2012).

Der folgenden Übersichtskarte (Abbildung 1) kann die Lage der Messpunkte im Messgebiet entlang der niedersächsischen Nordseeküste entnommen werden. Die Standorte eines Teils des Lufthygienischen Überwachungssystem Niedersachsen (LÜN) sind in der Übersichtskarte zu-

sätzlich als gelbe Punkte, die ausschließlich als Passivsammler-Messstellen ausgestatteten Standorte durch orange Quadrate markiert.

Abbildung 1: Übersicht der Messpunkte im Untersuchungsprogramm Niedersächsische Küste



In der nachfolgenden Tabelle 4 werden Details zu den Messstellen sowie die geografischen Koordinaten (ETRS89) tabellarisch aufgelistet.

Tabelle 1: Bezeichnungen und Details zu den Messstellen

Standort	Nördl. Breite	Östl. Länge	Höhe über Grund
Butjadingen	53.57127°	8.24249°	1,5 m
Ostfriesland (LÜN)	53.36235°	7.20726°	3,5 m
Ostfriesland	53.36622°	7.13737°	1,5 m
Elbmündung (LÜN)	53.83017°	8.80122°	3,5 m
Altes Land (LÜN)	53.52418°	9.68503°	3,5 m
Kehdingen	53.77241°	9.36114°	1,5 m
Wurster Heide	53.69429°	8.49219°	1,5 m
Norderland	53.64771°	7.22336°	1,5 m
Harlingerland	53.70562°	7.88245°	1,5 m
Jadebusen (LÜN)	53.59617°	8.09059°	3,5 m



1.2 Messkomponenten, Messplan

An den ortsfesten Messstationen des LÜN, die in Cuxhaven, Emden, Jork und Wilhelmshaven schon seit vielen Jahren im Einsatz sind, werden diverse Luftschadstoffe kontinuierlich überwacht. Neben verschiedenen gasförmigen Luftschadstoffen, wie Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid werden die Feinstaubfraktionen PM_{10} und $PM_{2.5}$ gemäß den Vorgaben der Neununddreißigsten Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - 39. BImSchV [1] mit automatischen Messeinrichtungen in der Umgebungsluft gemessen.

Mit zusätzlichen Messstellen, als auch mit zusätzlichen Messeinrichtungen an den Messstationen des LÜN, wurden weitere Messkomponenten mit Passivsammlern ermittelt. In Butjadingen, Kehdingen, Wurster Heide, Norderland, Twixlum und Harlingerland wurden deshalb Staubniederschlagssammler sowie Passivsammler zur Ermittlung von Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid und Benzol installiert. An den Messstationen des LÜN wurden zusätzlich Staubniederschlagssammler angebracht und soweit gasförmige Komponenten im kontinuierlichen Überwachungsprogramm nicht vorgesehen waren, durch Passivsammler-Messungen ergänzt.

Während die Messergebnisse der automatischen Messeinrichtungen kontinuierlich aufgezeichnet werden, standen die Untersuchungsergebnisse der Passivsammler-Messungen aufgrund der notwendigen Laborarbeiten erst mit zeitlicher Verzögerung zur Verfügung. Die Passivsammler-Proben wurden monatlich gewechselt. Darauf folgte die analytische Aufarbeitung im Laboratorium.

1.3 Beteiligung weiterer Institute

Die Probenahmen zur Ermittlungen der Immissionen erfolgten ausschließlich durch das Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim. Die dazugehörige Probenvorbereitung, Analytik und Auswertung wurden bis auf die Komponente Schwefeldioxid ebenfalls im eigenen Labor durchgeführt. Die Schwefeldioxid-Sammler wurden einschließlich der analytischen Auswertung von IVL – Swedish Environmental Research Institute [2] bezogen.

2 Beurteilungsgrundlagen

In den folgenden Tabelle 2 und Tabelle 3 sind die Immissionswerte für den Staubniederschlag und die Schadstoffdepositionen der TA Luft [3] aufgeführt, die zum Schutz vor erheblichen Belästigungen oder erheblichen Nachteilen bzw. vor schädlichen Umwelteinwirkungen als Bewertungsgrundlage dienen.

In Tabelle 3 werden die Immissionsgrenzwerte für gasförmige Luftschadstoffe aufgeführt, die als Schutzziele für die menschliche Gesundheit gesetzlich geregelt sind. Hierbei sind sowohl Kurzzeitbegrenzungen als auch Jahresmittelwerte heranzuziehen. Die im Rahmen des Immissionsmessprogramms Niedersächsische Küste erzielten Ergebnisse basieren auf monatlichen Messungen, aus denen die jeweiligen Jahresmittelwerte berechnet wurden. Dabei weicht der Messzeitraum (April 2011 – März 2012) vom Zeitraum eines Kalenderjahres ab. Eine Einordnung anhand von Immissionsgrenzwerten, die als Mittelwert über ein Kalenderjahr definiert sind (z.B. Tabelle 4, Stickstoffdioxid) ist aber zulässig, da durch den 12monatigen Messzeitraum ein gesamtes Jahr abgedeckt ist und die Messungen dieses Messprogramms nicht zur Überwachung der Luftqualität im Rahmen der 39. BImSchV erfolgen. Wie in Kap. 1 dargestellt handelt es sich um zusätzliche Untersuchungen in einem ausgewählten Gebiet.

Tabelle 2: Immissionswert für Staubniederschlag gemäß TA Luft Nr. 4.3.1 [3]

Stoffgruppe	Immissionswert	Mittelungszeitraum	Bezugszeitraum
Staubniederschlag (nicht gefährdender Staub)	0,35 g/(m ² d)	Jahr	01.04.2011 bis 31.03.2012

Tabelle 3: Immissionswerte für Schadstoffdepositionen gemäß TA Luft Nr. 4.5.1 [3]

Stoff/Stoffgruppe	Immissionswert	Mittelungszeitraum	Bezugszeitraum
Arsen und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Arsen	4 µg/(m ² d)	Jahr	01.04.2011 bis 31.03.2012
Blei und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Blei	100 µg/(m ² d)	Jahr	01.04.2011 bis 31.03.2012
Cadmium und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Cadmium	2 µg/(m ² d)	Jahr	01.04.2011 bis 31.03.2012
Nickel und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Nickel	15 µg/(m ² d)	Jahr	01.04.2011 bis 31.03.2012

Tabelle 4: Immissionsgrenzwerte für gasförmige Luftschadstoffe gemäß 39. BImSchV [1]

Schadstoff	Grenzwert	Mittelungszeitraum	Bezugszeitraum
Schwefeldioxid	350 µg/m ³ dürfen nicht öfter als vierundzwanzigmal im Kalenderjahr überschritten werden	Stunde	01.04.2011 bis
	125 µg/m ³ dürfen nicht öfter als dreimal im Kalenderjahr überschritten werden	Tag	31.03.2012
Schwefeldioxid	20 µg/m ³ (Zum Schutz der Vegetation)	Kalenderjahr	01.04.2001 bis 31.03.2012
Stickstoffdioxid	40 µg/m ³	Kalenderjahr	01.04.2011 bis 31.03.2012
Benzol	5 µg/m ³	Kalenderjahr	01.04.2011 bis 31.03.2012

Für Schwefeldioxid existieren im Rahmen der Luftüberwachung in erster Linie Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit als Stunden- bzw. Tagesmittelwerte, deren zulässige Überschreitungshäufigkeiten in Bezug auf das Kalenderjahr definiert sind. Wie aktuelle und zurückliegende Messungen von Schwefeldioxid zeigen [13] liegen die heutigen Außenluftkonzentrationen aber weit unter den Immissionsgrenzwerten.

Zum Schutz der Vegetation existiert in der 39. BImSchV [1] daneben auch ein Grenzwert für die Schwefeldioxid-Konzentration in Höhe von 20 µg/m³. Dieser gilt allerdings nur für emissionsferne Gebiete, d. h. 20 km von Ballungsräumen oder 5 km von anderen bebauten Flächen, Industrieanlagen oder Autobahnen oder Hauptstraßen mit einem täglichen Verkehrsaufkommen von mehr als 50.000 Fahrzeugen entfernt und ist im Jahresmittel sowie im Winterhalbjahr einzuhalten. Dieser Grenzwert wird nur zur Orientierung und Vergleich für die Einordnung der in diesem Messprogramm erzielten Ergebnisse verwendet, da er streng genommen für die hier untersuchten Standorte nicht anwendbar wäre.

3 Messverfahren

3.1 Bestimmung des Staubniederschlags (Bergerhoff-Methode)

Die Bestimmungen des Staubniederschlags erfolgten auf Grundlage der VDI-Richtlinie 2119 Blatt 2 [4] und der entsprechenden Standardarbeitsanweisung (SOP). Zum Sammeln der nassen und trockenen Niederschläge aus der Atmosphäre werden zylindrische Auffanggefäße aus Kunststoff in Schutzkörben auf 1,5 m hohen Stangen im freien Gelände aufgestellt. Zur Probenahme wurden Kunststoff-Auffanggefäße des Typs LOCK&LOCK mit einem Volumen von 1,8 l verwendet.

Die Expositionszeit beträgt 30 ± 2 Tage. Nach dieser Zeit werden die Sammelproben eingeholt und neue Auffanggefäße in die Halterungen eingesetzt. Das Probengut, die gesamte trockene und feuchte Phase, wird im Labor quantitativ in Abdampfschalen überführt und diese dann im Trockenschrank bei $105 \text{ }^\circ\text{C}$ solange erhitzt, bis alles Wasser verdampft ist (bis zur Trockne). Die Abdampfschalen werden vorher jeweils leer und anschließend mit dem trockenen Probenrückstand gewogen. Die Differenz aus beiden Wägungen ergibt die Staubniederschlagsmasse, die bezogen auf die Fläche eines Quadratmeters und auf die Zeiteinheit eines Tages in $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ angegeben wird. Bezugsgrößen sind der wirksame Querschnitt des Auffanggefäßes und die Anzahl der Probenahmetage.

Die Qualitätssicherung bei den Staubniederschlagsproben berücksichtigt mehrere Maßnahmen, wie Blindwertbestimmungen, zum Teil parallele Probenahmen (Doppelbestimmungen) und die Verifizierung der in der Richtlinie genannten Nachweisgrenze. Für die Wägung der Abdampfschalen wurde eine vom Deutschen Kalibrierdienst (DKD) kalibrierte Waage in einem klimatisierten Wägelabor eingesetzt.

3.2 Bestimmung der Schadstoffdepositionen Arsen, Blei, Cadmium und Nickel

Die Bestimmung der Schadstoffdepositionen (Staubinhaltsstoffe) aus den Staubniederschlagsproben erfolgte auf der Grundlage der VDI-Richtlinie 2267 Blatt 15 (ICP-MS) [5] sowie einer entsprechenden Standardarbeitsanweisung.

Zur Bestimmung der partikelgebundenen Staubinhaltsstoffe Arsen, Blei, Cadmium und Nickel im Trockenrückstand, werden die Staubniederschlagsproben mit Salpetersäure und Wasserstoffperoxid einem oxidierenden Mikrowellendruckaufschluss unterzogen und anschließend mit der ICP/MS vermessen. Die Kalibrierung der ICP/MS erfolgt über drei Kalibrierlösungen und einer Blindlösung, die mit einem internen Standard (Rh) dotiert sind.

Anhand der analysierten Menge pro Probe der untersuchten Elemente werden die Depositionen der Staubinhaltsstoffe, unter Berücksichtigung der Öffnungsfläche des Auffanggefäßes und der Expositionszeit, berechnet. Angegeben werden die Depositionen in $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$.

Im Rahmen der analytischen Qualitätssicherung werden ausnahmslos zertifizierte Standardlösungen für die Kalibrierung verwendet. Daneben werden mit Hilfe zertifizierten Referenzmaterials (NIST SRM 1648) die Wiederfindungsraten der Elemente regelmäßig überprüft. Arbeitstäglich wird die Kalibrierung mit einer Kontrolllösung überprüft, indem diese innerhalb der Routineanalysen mit vermessen und ausgewertet wird. Zudem erfolgt eine regelmäßige Teilnahme an Ringversuchen (WASP) [6].

3.3 Bestimmung von Schwefeldioxid

Schwefeldioxid (SO_2) wird mit FERM-Passivsammlern nach dem Diffusionsprinzip an einem Rezeptor gesammelt. Als Rezeptor dienen in Kunststoffröhrchen fixierte und mit Natriumhydroxid präparierte Cellulose-Filter. Nach dem Passieren einer durchlässigen Membran an der Eintrittsseite des Röhrchens und dem Durchströmen einer definierten Einlaufstrecke bis an den Rezeptor am verschlossenen Ende des Röhrchens, werden die Schwefeldioxidmoleküle als Sulfat gebunden. Die Sammelröhrchen werden mit der Eintrittsseite nach unten in Schutzgehäusen über einen genau zu bestimmenden Zeitraum im Freien exponiert. Nach den Probenahmen werden die Filter ausgebaut und in wässriger Lösung eluiert. Die Bestimmung der Sulfat-Ionen erfolgt mittels Ionenchromatographie. Die Bestimmung der Schwefeldioxid-Konzentration kann durch Bestimmung der Aufnahmezeit bei Diffusionsvorgängen, oder durch Kalibrierung mittels Vergleichsmessungen mit dem Referenzmessverfahren erfolgen.

Zur Probenahme wurden die Passivsammler in Schutzgehäusen befestigt und in Höhen zwischen 1,5 m bis 3,5 m über Grund am Messort aufgehängt. Die Sammler wurden dafür aus den gasdichten Transportbehältnissen entnommen, indem sie auch nach der Probenahme wieder ins Labor zurückgebracht wurden. Ein Passivsammler blieb als Feldblindwert über die gesamte Expositionszeit der Proben (30 +/- 2 Tage) im verschlossenen Transportbehälter. Bis zur analytischen Aufarbeitung bei der Fa. IVL in Schweden wurden die Passivsammler zum Schutz vor Kontaminationen in den Transportbehältern gelagert.

Die Berechnung der Schwefeldioxid-Konzentration bei Passivsammlern wird anhand der analytisch ermittelten SO_2 -Massen, dem spezifischen Diffusionskoeffizienten für SO_2 in Bezug auf die Probenahmebedingungen, der geometrischen Abmessungen des Passivsammlers und der Probenahmezeit vorgenommen. Die Messergebnisse werden in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bezogen auf 293 K und 1013 hPa angegeben.

Die Probenahmen zur Ermittlung der Schwefeldioxid-Konzentrationen erfolgten durch die ZUS LLG. Die Bereitstellung der für die Probenahme vorbereiteten Passivsammler und die analytische Auswertung wurden extern von der Fa. IVL – Swedish Environmental Research Institute vorgenommen. Zum Vergleich mit dem Referenzmessverfahren DIN EN 14212 [7] wurden in Bremerhaven Parallelmessungen an der Luftmessstation BHV1 (Station des Bremer Luftüberwachungssystems BLUES) vorgenommen, da in Niedersachsen nur noch an einigen wenigen Stationen im Landesinneren Schwefeldioxid kontinuierlich gemessen wird und daher kein anderer Standort, der im Bereich des Messprogramms liegt, zur Verfügung stand.

Zwischen den Ergebnissen dieser Vergleichsmessungen in Bremerhaven (Passivsammler bzw. Referenzmessverfahren) waren bei der Gegenüberstellung der monatlichen Ergebnisse syste-

matische Unterschiede von wenigen $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erkennbar. Diese sind darauf zurückzuführen, dass allgemein die zur kontinuierlichen Überwachung der Schwefeldioxid-Konzentrationen verwendeten Messgeräte an der unteren Grenze ihres Messbereichs arbeiten, an der von einer höheren Messunsicherheit ausgegangen werden kann. Die Messgeräte sind so ausgelegt, dass sie vor allem die Grenzwerte zum Schutz der Gesundheit des Menschen ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u. $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siehe auch Kap. 2 Tab. 4) überwachen können. Oft liegen die Schwefeldioxid-Konzentrationen in der Außenluft aber auch unterhalb der Nachweisgrenze dieser Messgeräte. Auf eine nachträgliche Kalibrierung der mittels Passivsammler-Messungen erzielten sehr niedrigen Schwefeldioxid-Konzentrationen konnte daher verzichtet werden.

3.4 Bestimmung von Stickstoffdioxid

Die Bestimmung des Stickstoffdioxids (NO_2) mittels Passivsammlern nach PALMES erfolgte auf Grundlage der derzeit als Entwurf vorliegenden Richtlinie DIN EN 16339 photometrisch nach der Saltzman-Methode [8]. Die kontinuierlichen Messergebnisse von den LÜN-Stationen (siehe Kapitel 1.6) basieren auf dem Referenzmessverfahren DIN EN 14211 (Chemilumineszenz-Methode) [9].

Stickstoffdioxid wird mit PALMES-Passivsammlern nach dem Diffusionsprinzip an einem Rezeptor gesammelt. Als Rezeptor dienen in Kunststoffröhrchen fixierte und mit Triethanolamin präparierte Edelstahlnetze. Nach dem Passieren einer durchlässigen Membran an der Eintrittsseite des Röhrchens und dem Durchströmen einer definierten Einlaufstrecke bis an die Edelstahlnetze am verschlossenen Ende des Röhrchens, werden die Stickstoffdioxidmoleküle durch Reaktion mit Triethanolamin als Nitrit gebunden. Die Sammelröhrchen werden mit der Eintrittsseite nach unten in Schutzgehäusen über einen genau zu bestimmenden Zeitraum im Freien exponiert. Nach den Probenahmen werden die Edelstahlnetze ausgebaut und in wässriger Lösung eluiert. Die Zugabe von Reagenzlösungen führt zur Bildung eines Azofarbstoffes (Griess-Saltzman-Methode). Anschließend werden die Proben einschließlich des Feldblindwertes photometrisch bei 540 nm vermessen. Die Berechnung der Nitrit-Massen erfolgt anhand einer Kalibrierfunktion, die arbeitstäglich mit einer zertifizierten Nitrit-Standardlösung ermittelt wird.

Zur Probenahme wurden drei präparierte Passivsammelröhrchen in einem Schutzgehäuse befestigt und in Höhen zwischen 1,5 m bis 3,5 m über Grund am Messort aufgehängt. Zwei Sammler wurden für ca. einen Monat (Expositionszeit 30 ± 2 Tage) geöffnet, während das dritte Röhrchen verschlossen blieb und als Feldblindwert ausgewertet wurde. Sowohl beim Transport von und zur Messstelle als auch während der gekühlten Lagerung wurden die Sammler gasdicht verschlossen aufbewahrt.

Die Berechnung der Stickstoffdioxid-Konzentration bei Passivsammlern wird anhand der analytisch ermittelten NO_2 -Massen, dem spezifischen Diffusionskoeffizienten für NO_2 in Bezug auf die Probenahmebedingungen, der geometrischen Abmessungen des Passivsammlers und der Probenahmezeit vorgenommen. Die Messergebnisse werden in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bezogen auf das Referenzmessverfahren und die Luftzustandsgrößen 293 K und 1013 hPa angegeben.



Zur Qualitätssicherung der Stickstoffdioxid-Bestimmung werden jeweils Doppelbestimmungen bei den Messungen durchgeführt und miteinander verglichen. Daneben erfolgt die analytische Rückführung der Stickstoffdioxid-Massen mit einer zertifizierten Nitrit-Standardlösung (NIST®), die für die Erstellung der Photometer-Eichkurve eingesetzt wird.

Die Ergebnisse der Stickstoffdioxid-Konzentration aus den Passivsammlermessungen wurden anhand der, aus den Vergleichsmessungen mit dem Referenzmessverfahren resultierenden, Kalibrierfunktion bestimmt. Sie sind somit direkt mit den Messergebnissen der automatischen Messgeräte zur Luftüberwachung (LÜN) und dem Grenzwert (Jahresmittelwert) vergleichbar.

3.5 Bestimmung von Benzol

Die Bestimmung des Benzols in der Außenluft erfolgte auf der Grundlage der Europäischen Norm DIN EN 14662-5 (08-2005) [10] sowie einer entsprechenden Standardarbeitsanweisung.

Flüchtige organische Luftinhaltsstoffe (VOC) werden durch passive Probenahme mittels Diffusionsamplern (Typ: ORSA 5 – Dräger, Lübeck) über den Zeitraum eines Monats (30 ⁺/ 2 Tage) an Aktivkohle adsorbiert. Im Labor erfolgt die Aufarbeitung durch Desorption mit Schwefelkohlenstoff. Die Trennung und Quantifizierung der Komponenten erfolgt mittels Gaschromatographie (GC Typ: Agilent 7890 A) und Flammenionisationsdetektor (FID). Die Stoffidentifizierung erfolgt durch Retentionszeitenvergleich mit in externen Kalibrierverläufen ermittelten Retentionszeiten der bekannten Stoffe. Die Quantifizierung wird durch Signalintensitätsvergleich mit Kalibrierlösungen durchgeführt.

Zur Kalibrierung des Messsystems werden fünf Kalibrierlösungen im Konzentrationsbereich von 0,1 µg/ml bis 3 µg/ml (entsprechend 0,4-3 µg/m³) vermessen. Die Auswertung erfolgt durch die Integrationseinheit mit der Analysenfunktion über einen Peakflächenvergleich mit einem internen Standard.

Die Berechnung der Benzol-Konzentration wird bei Passivsammler-Messungen anhand der analytisch ermittelten Benzol-Massen, dem spezifischen Diffusionskoeffizienten für Benzol unter Berücksichtigung der Probenahmebedingungen, den geometrischen Abmessungen des Passivsammlers und der Probenahmezeit vorgenommen. Für die von der Fa. Dräger verwendeten Passivsammler war eine verfahrensbedingte Gerätekonstante von 0,8 cm⁻¹ zu berücksichtigen. Die Messergebnisse werden in µg/m³ bezogen auf 293 K und 1013 hPa angegeben.

Zur Qualitätssicherung werden regelmäßig Feldblindwerte (Monat) mit den Proben analytisch vermessen und ausgewertet. Dazu werden in regelmäßigen Abständen die Wiederfindungsraten relevanter Kohlenwasserstoffe anhand eines zertifizierten Referenzmaterials (CRM 562) bestimmt.

Im Rahmen der externen Qualitätssicherung erfolgt die regelmäßige Teilnahme an nationalen (STIMES – Vergleich der Staatlichen Immissionsmessstellen) und internationalen Ringversuchen (WASP).

3.6 Verfahrenskenngrößen

3.6.1 Nachweisgrenzen

Zur Beurteilung der Messergebnisse werden in Tabelle 5 die Verfahrensnachweisgrenzen der Messkomponenten aufgelistet. Da Nachweisgrenzen für die jeweilige Messmethode verfahrensspezifisch sind, berücksichtigen die im Folgenden genannten Werte neben analytischen Gegebenheiten insbesondere unterschiedliche Messzeiträume. Während sich die Nachweisgrenzen bei allen Passivsammler-Verfahren auf „Monatsmittelwerte“ als kleinste Messzeitmitteilung beziehen, werden bei den kontinuierlichen Verfahren im LÜN Stundenmittelwerte für die Nachweisgrenzen zu Grunde gelegt. Soweit in den Ergebnistabellen Einzelmesswerte unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenze liegen, wurden diese bei der Berechnung der Jahresmittelwerte nominal als halbe Nachweisgrenze berücksichtigt.

Tabelle 5: Verfahrensnachweisgrenzen

Komponente	Dimension	Nachweisgrenze
Staubniederschlag	mg/(m ² d)	6,1
Arsen-Deposition	µg/(m ² d)	0,14
Blei-Deposition	µg/(m ² d)	1,6
Cadmium-Deposition	µg/(m ² d)	0,02
Nickel-Deposition	µg/m ³	0,11
Schwefeldioxid _(passiv)	µg/m ³	0,2
Schwefeldioxid _(aktiv)	µg/m ³	2
Stickstoffdioxid _(passiv)	µg/m ³	1,1
Stickstoffdioxid _(aktiv)	µg/m ³	2
Benzol	µg/m ³	0,04

3.6.2 Datenverfügbarkeit

Die Datenverfügbarkeit im Immissionsmessprogramm Niedersächsische Küste lag in Bezug auf die Passivsammlerverfahren bei 100 %. Es gab weder probenahmetechnische noch bei der Analytik Auffälligkeiten, die zum Verwerfen einzelner Messergebnisse geführt hätten. Bei einzelnen Staubniederschlagsproben führten Verunreinigungen zu Ausfällen, wobei dennoch eine Datenverfügbarkeit von > 95 % erreicht wurde. Bei den gasförmigen Luftschadstoffen wurde die geforderte Mindestdatenerfassung für die ortsfesten Messungen (LÜN-Stationen) von > 90 % erfüllt.

3.6.3 Messunsicherheit

In Bezug auf die Datenqualitätsziele der 39. BImSchV [1] wurde neben der Bestimmung der Datenverfügbarkeit auch die Messunsicherheit für die untersuchten Immissionen berechnet. Die



Messunsicherheiten als Begleitwerte der Messgrößen dienen der objektiven Bewertung der Messergebnisse im Vergleich untereinander, bzw. mit den Immissions- und Grenzwerten.

Soweit Referenzmessverfahren nicht unmittelbar zum Einsatz kommen, bieten orts- und zeitgleiche Vergleichsmessungen zwischen einem Referenzmessverfahren und dem zu beurteilenden Messverfahren (z. B. Passivsammler) die Basis zur Bestimmung der Messunsicherheit. Aus diesen Datenreihen wird mittels linearer Regressionsrechnung zunächst die Kalibrierfunktion berechnet. Nachdem die Kalibrierfunktion auf die Vergleichsmessergebnisse übertragen worden ist, spricht man vom Äquivalenzmessverfahren, für welches die Messunsicherheit in Bezug auf das Referenzmessverfahren bestimmt werden kann (DIN EN ISO 20988 - Berechnungsmethode, A5 Fall 2 - [11]) (siehe Abschnitte 3.3 und 3.4).

Für Messverfahren, die nicht auf eine Referenzmessmethode zurückgeführt werden können, werden Doppelbestimmungen bei der Probenahme zur Bestimmung der Messunsicherheit gemäß der DIN EN ISO 20988 - Berechnungsmethode A6 - durchgeführt [11] (siehe Abschnitte 3.1 und 3.5). Bei der Betrachtung von Messreihen aus Doppelbestimmungen wird ausschließlich die „Präzision“ zweier Vergleichsmessungen, sowohl zeitlich nebeneinander als auch zeitlich hintereinander beschrieben.

Zur Berechnung der Messunsicherheiten bei den Staubbiederschlagsproben und den Depositionen, wurden Ergebnisse von Doppelbestimmungen aus bereits langjährigen durchgeführten Messprogrammen in Nordenham und Oker der Jahre 2003/2006 bis 2010 herangezogen und ausgewertet. Aufgrund der großen Datenmenge und der Einstufung der Messstandorte hinsichtlich ihres Umfeldes, kann auch für die Staubbiederschlagsmessungen im Bereich der Küste, in Bezug auf einzelne Monatswerte, eine erweiterte Messunsicherheit von rund 35 % angesetzt werden. Die Bezugsgrößen für die relative Messunsicherheitsgröße lagen in den langjährigen Messreihen zwischen $46 \mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ und $78 \mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ und sind damit vergleichbar mit dem Jahresmittelwert für die mittleren Staubbiederschläge an der Küste ($80 \mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$).

In Hinblick auf die erweiterte Messunsicherheit bei den Staubinhaltsstoffen Arsen, Blei, Cadmium und Nickel können ebenfalls die Berechnungen aus den zuvor genannten Messprogrammen herangezogen werden. Diese bewegen sich für die vier Elemente zwischen ca. 20 % beim Nickel bis zu etwa 40 % beim Arsen. Für Blei und Cadmium beträgt die erweiterte Messunsicherheit jeweils rund 25 %.

Durch die Vergabe der Schwefeldioxid-Bestimmungen mittels FERM-Passivsammlern an ein externes Institut (IVL), wurde auf eigene Messunsicherheitsbetrachtungen verzichtet.

Für die Passivsammler-Methode nach PALMES (Stickstoffdioxid) wurden Vergleichsmessungen mit dem Referenzmessverfahren (Chemilumineszenz-Methode [9]) in Emden durchgeführt. Im Rahmen der Messunsicherheitsbetrachtungen musste aber aufgrund der nur einjährigen Messdauer auf weitere Messdaten, von mehrjährigen und parallel zum Immissionsmessprogramm Küste laufenden Messprogrammen, zurückgegriffen werden. Anhand der verfügbaren Daten wurde für das Jahr 2011 eine erweiterte Messunsicherheit, auf der Basis von monatlichen und größtenteils 14-tägigen Sammelbestimmungen, von rund 13 % in Bezug auf das Referenzmessverfahren berechnet.



Benzol-Messungen mit ORSA 5-Passivsammlern werden bereits seit vielen Jahren routinemäßig an den LÜN-Stationen gemessen. Da kein Referenzmessverfahren existiert wurde die Berechnung der Messunsicherheit auf der Basis von orts- und zeitgleichen Doppelbestimmungen durchgeführt. Bei Passivsammlermessungen zur Bestimmung der Benzol-Konzentration beträgt die erweiterte Messunsicherheit in Bezug auf einen Monatsmittelwert ca. 6 %.

Soweit für kontinuierliche ortsfeste Messungen (LÜN) im Rahmen der Datenqualitätsziele [1] Messunsicherheitsanforderungen für gasförmige Luftschadstoffe genannt werden (Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid), wurden diese durch die angewendeten Messverfahren erfüllt.

4 Messergebnisse

Im Folgenden werden die Messergebnisse als Jahresmittelwerte der zwölfmonatlichen Messkampagne vom 01.04.2011 bis 31.03.2012 im Bereich der Niedersächsischen Küste aufgeführt und hinsichtlich der geltenden Immissions- bzw. Grenzwerte eingeordnet. Daneben werden die Ergebnisse mit Daten aus anderen Messprogrammen in Bezug auf den oben genannten Messzeitraum verglichen. Die Einzelwerte (Monatsmittelwerte) werden tabellarisch im Anhang aufgelistet.

4.1 Staubbiederschlag und Schadstoffdepositionen Arsen, Blei, Cadmium und Nickel

Die in Tabelle 6 aufgeführten Ergebnisse des Staubbiederschlags und der Depositionen (Staubinhaltsstoffe: Arsen, Blei, Cadmium und Nickel) zeigen die Jahresmittelwerte an den Beurteilungspunkten im Immissionsmessprogramm Niedersächsische Küste.

Tabelle 6: Jahresmittelwerte des Staubbiederschlags und der Schadstoffdepositionen von Arsen, Blei, Cadmium und Nickel im Untersuchungsprogramm Küste

Standort	Kurzbez.	StN mg/(m ² d)	Arsen µg/(m ² d)	Blei µg/(m ² d)	Cadmium µg/(m ² d)	Nickel µg/(m ² d)
Butjadingen	BNMK	88	0,35	3,2	0,07	1,11
Elbmündung	CXSO	49	0,22	2,3	0,07	0,89
Ostfriesland	ENNW	81	0,30	2,7	0,07	1,26
Altes Land	JKCC	60	0,32	3,6	0,08	1,13
Kehdingen	KNMK	52	0,29	2,3	0,09	1,19
Wurster Heide	LWMK	101	0,35	3,1	0,10	1,16
Norderland	NDMK	99	0,36	3,0	0,07	1,01
Harlingerland	WDMK	124	0,57	2,8	0,07	1,28
Jadebusen	WNCC	65	0,21	4,2	0,07	0,77
Immissionswerte (TA Luft):		350	4	100	2	15

Anmerkung: Die Jahresmittelwerte beziehen sich auf den 12monatigen Messzeitraum von Apr. 2011 – Mrz. 2012

Sowohl beim Staubbiederschlag als auch bei den Schadstoffdepositionen werden die jeweiligen Immissionswerte der TA Luft (siehe Kap. 2) deutlich unterschritten. Um die Ergebnisse darüber hinaus einordnen zu können, werden in Tabelle 7 Messdaten der allgemeinen Hintergrundbelastung in Niedersachsen zum Vergleich aufgelistet.

Im Vergleich der Ergebnisse des Staubbiederschlags und der Depositionen des Immissionsmessprogramms Küste mit den Messdaten der allgemeinen Umgebungsüberwachung an aus-

gewählten LÜN-Standorten in Niedersachsen ergeben sich nur geringe Unterschiede. Die höheren Staubbiederschläge am Messpunkt „Wurster Heide“ und „Harlingerland“, aber auch bei den Messpunkten „Butjadingen“ und „Norderland“ könnten zum Einen mit intensiven ackerbaulichen Tätigkeiten der Region (Aufwirbelung von Bodenmaterial) zusammenhängen, zum Anderen aber auch durch die Nähe zur Nordsee auf den Eintrag von natürlichem Seesalz zurückgeführt werden, siehe auch nächstes Kapitel. Die vergleichsweise erhöhte Belastung an der LÜN-Messstation in Bösel wird mutmaßlich auf den Bau eines Einfamilienhauses in unmittelbarer Nachbarschaft zur Messstation zurückgeführt.

Die Schadstoffdepositionen von Arsen, Blei, Cadmium und Nickel im Küstenbereich sind erwartungsgemäß niedrig und unterscheiden sich nicht von Ergebnissen, die zeitgleich im ländlichen Raum und im kleinstädtischen Hintergrund in Niedersachsen gemessen wurden, siehe Tabelle 6 im Vergleich mit Tabelle 7.

Tabelle 7: Jahresmittelwerte des Staubbiederschlags und der Schadstoffdepositionen an LÜN-Stationen im Rahmen der allgemeinen Umweltüberwachung in Niedersachsen zum Vergleich

Standort	Kurzbez.	StN mg/(m ² d)	Arsen µg/(m ² d)	Blei µg/(m ² d)	Cadmium µg/(m ² d)	Nickel µg/(m ² d)
Braunschweig	BGSW	55	0,26	3,1	0,10	1,32
Südoldenburg	BLWW	162	0,48	4,2	0,08	1,25
Wurmberg	BRNN	30	0,29	4,1	0,09	1,20
Eichsfeld	DUCC	47	0,22	2,4	0,06	1,05
Göttingen	GNCC	51	0,33	2,6	0,05	1,08
Weserbergland	RNSW	56	0,27	3,3	0,09	1,02
Solling-Süd	SNNW	64	0,18	3,2	0,17	1,03
Allertal	WASS	53	0,29	4,1	0,08	1,01
Wolfsburg	WGCC	51	0,38	3,5	0,19	1,84

Anmerkung: Die hier zum Vergleich ausgewiesenen Jahresmittelwerte beziehen sich auf den gleichen Zeitraum von Apr. 2011 – Mrz. 2012, wie das Immissionsmessprogramm Küste

4.2 Depositionen von Anionen im Vergleich mit Messergebnissen im Binnenland

Neben den im vorausgegangenen Kapitel dargestellten Messergebnissen wurden zusätzlich auch die löslichen Anionen in den Depositionsproben untersucht. Für diese Anionen existieren keine Grenzwerte zur Beurteilung der Deposition. Die Ergebnisse werden daher nur mit Depositionswerten anderer niedersächsischer Standorte, die im Binnenland in eher ländlich bis vorstädtisch geprägter Umgebung liegen, verglichen. Die Tabelle 8 enthält die im Rahmen dieses Messprogramms ermittelten Jahresmittelwerte. Im Vergleich mit den Werten, die an den küstenfernen Messstandorten des LÜN gemessen werden (siehe Tabelle 9), fallen an den Standorten des Messprogramms Küste die deutlich höheren Chlorid-Depositionen auf, bis zu einem Faktor

von ca. 6. Auch beim Sulfat sind im Vergleich gegenüber den Standorten im ländlichen Hintergrund leicht höhere Jahresmittelwerte erkennbar.

Tabelle 8: Jahresmittelwerte der Anionen-Depositionen (Chlorid, Nitrat und Sulfat)

Standort	Kurzbez.	Chlorid mg/(m ² d)	Nitrat mg/(m ² d)	Sulfat mg/(m ² d)
Butjadingen	BNMK	24,2	4,2	5,9
Elbmündung	CXSO	12,9	3,5	4,4
Ostfriesland	ENNW	17,5	4,1	6,1
Altes Land	JKCC	6,3	3,8	3,7
Kehdingen	KNMK	9,9	3,2	4,3
Wurster Heide	LWMK	23,2	4,2	6,8
Norderland	NDMK	37,3	4,7	10,9
Harlingerland	WDMK	23,1	4,2	5,8
Jadebusen	WNCC	13,7	4,1	4,3

Anmerkung: Jahresmittelwert über den Messzeitraum von Apr. 2011 – Mrz. 2012

Tabelle 9: Jahresmittelwert der Anionen-Depositionen an LÜN-Standorten

Standort	Kurzbez.	Chlorid mg/(m ² d)	Nitrat mg/(m ² d)	Sulfat mg/(m ² d)
Wurmberg	BRNN	3,0	5,9	3,7
Eichsfeld	DUCC	1,3	2,7	1,7
Emsland	LNCC	5,0	3,4	2,9
Weserbergland	RNSW	2,8	3,6	2,9
Solling-Süd	SNNW	2,8	4,0	3,3
Allertal	WASS	4,1	3,8	3,1

Anmerkung: Die hier zum Vergleich ausgewiesenen Jahresmittelwerte beziehen sich auf den gleichen Zeitraum von Apr. 2011 – Mrz. 2012, wie das Immissionsmessprogramm Küste

Am Messpunkt „Norderland“ wurde im Jahresmittel die höchste Chlorid- und auch Sulfat Deposition gemessen. Auf Grund der Nähe zur Nordsee ist hier, wie auch an den anderen Messpunkten, der natürliche Eintrag von Seesalz (Sea spray) eine plausible Ursache. Neben Natriumchlorid als Hauptbestandteil kommen auch Sulfate (wie Magnesiumsulfat) als weitere Bestandteile vor. So kann man aufgrund der bekannten Zusammensetzung von Meerwasser auf den Anteil Seesalz zurückgerechnet werden. So wurde z.B. in [12] ein Faktor von 2,18 genannt,

mit dem man den Wert für Chlorid multiplizieren muss, um die entsprechende Menge Seesalz zu errechnen. (Da die Zusammensetzung und der Anteil an Salz im Meer Schwankungen unterliegt, ist dies nur eine Abschätzung). Anhand der am Standort Norderlang gemessenen mittleren Chlorid-Deposition von 37,3 mg/(m²d) würde sich mit dem genannten Faktor eine Seesalz-Deposition von ca. 81 mg/(m²d) ergeben. Auch wenn dies nur eine Abschätzung darstellt, wird deutlich, dass im Vergleich mit der ermittelten Staubbiederschlagsbelastung für diesen Standort (61,4 mg/(m²d)) ein beträchtlicher Teil der hier gemessenen Deposition auf den Seesalzeintrag zurückgeführt werden kann.

4.3 Schwefeldioxid-, Stickstoffdioxid- und Benzol-Konzentration

In Tabelle 9 werden die Jahresmittelwerte der Schwefeldioxid-, Stickstoffdioxid- und Benzol-Konzentrationen an den Messstellen gegenübergestellt, die auf der Basis der einzelnen Monatswerte (Expositionszeiten 30⁺/ 2 Tagen) berechnet wurden.

Tabelle 10: Jahresmittelwerte der Schwefeldioxid-, Stickstoffdioxid- und Benzol-Konzentrationen

Standort	Kurzbez.	Schwefeldioxid µg/m ³	Stickstoffdioxid µg/m ³	Benzol µg/m ³
Butjadingen	BNMK	1,0	9,0	0,43
Elbmündung	CXSO	1,6	11,7	0,45
Ostfriesland	ENNW	1,4	9,7	0,47
Altes Land	JKCC	1,5	12,9	0,58
Kehdingen	KNMK	1,5	10,7	0,42
Wurster Heide	LWMK	1,1	8,8	0,40
Norderland	NDMK	1,1	7,9	0,43
Harlingerland	WDMK	1,1	8,2	0,43
Jadebusen	WNCC	1,1	10,4	0,50
Grenzwerte		20*	40	5

Anmerkungen: Jahresmittelwert über den Messzeitraum von Apr. 2011 – Mrz. 2012

*) Grenzwert zum Schutz der Vegetation, siehe auch Kap 2.

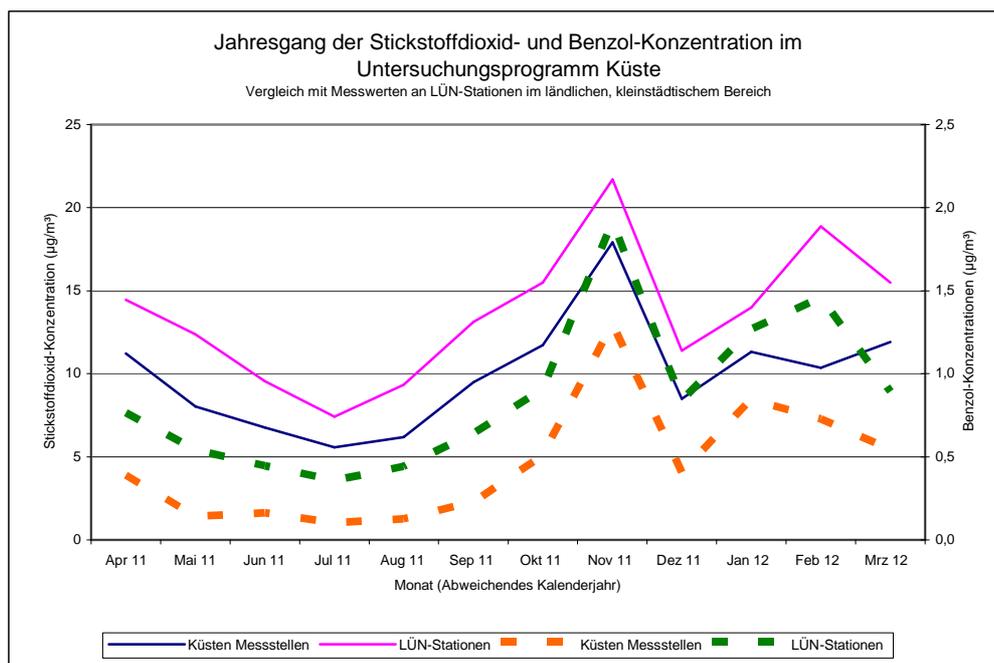
Im Messzeitraum von April 2011 bis einschließlich März 2012 wurden als Jahresmittelwert Schwefeldioxid-Konzentrationen an den einzelnen Standorten von 1,1 µg/m³ bis 1,6 µg/m³ gemessen. Diese Ergebnisse liegen somit auf einem sehr niedrigen Niveau deutlich unterhalb des Grenzwertes zum Schutz der Vegetation (20 µg/m³). Die einzelnen Standorte unterscheiden sich dabei praktisch nicht voneinander.

Im Vergleich mit LÜN-Standorten im Binnenland, an denen noch Schwefeldioxid kontinuierlich gemessen wird, ergeben sich im gleichen Zeitraum mit Konzentrationen von 2 µg/m³ – 3 µg/m³

ebenfalls sehr niedrige Jahresmittelwerte (siehe z.B. LÜN-Jahresbericht 2011[13]). Im Rahmen der kontinuierlichen Luftüberwachung spielt Schwefeldioxid, aufgrund der in den letzten Jahrzehnten umgesetzten Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung, praktisch keine immissionsrelevante Rolle mehr. Erfahrungsgemäß werden die Grenzwerte für kurzzeitige Belastungen (1 Stundenwert und 24 Stundenwert) bei weitem nicht erreicht.

Die Stickstoffdioxid-Konzentration an den küstennahen Messstellen liegt im Untersuchungszeitraum zwischen $7,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $12,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es wurde im Monatsmittel über alle Messstellen ein ausgeprägter Jahresgang festgestellt mit höheren Stickstoffdioxid-Konzentrationen in den Wintermonaten. Gegenüber LÜN-Standorten in ländlich bis kleinstädtischer Umgebung, wurden im Bereich der Küste im selben Zeitraum niedrigere Stickstoffdioxid-Konzentrationen gemessen, wobei, wie in Abbildung 2 dargestellt, ein gleichverlaufender Jahresgang beobachtet wurde. Dieser Jahresgang kann durch die in den Wintermonaten häufiger auftretenden ungünstigen Ausbreitungsbedingungen mit schwachwindigen Ostwindwetterlagen und niedriger Mischungschichthöhe erklärt werden.

Abbildung 2: Stickstoffdioxid- und Benzol-Konzentrationen im Jahresverlauf der Monatsmittelwerte (alle Messstellen) im Immissionsmessprogramm Küste



Anmerkung: durchgezogene Linien - Stickstoffdioxid-Konzentration
unterbrochene Linien - - - Benzol-Konzentration

Wie auch an den ländlich bis kleinstädtischen Bereichen in Niedersachsen, wurden bei den Immissionsmessungen in der Küstenregion keine Grenzwertüberschreitungen festgestellt. Erfahrungsgemäß wird an diesen Standorten auch der Kurzzeitgrenzwert für die Stickstoffdioxid-Konzentration (1 Stundenwert) weit unterschritten.

Die Jahresmittelwerte der mit Passivsammlern bestimmten Benzol-Konzentrationen liegen zwischen $0,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wobei in Bezug auf die Monatsmittelwerte aller Messstellen ein ähnlicher Jahresgang wie bei der Stickstoffdioxid-Konzentration beobachtet wird (Abbildung 2).

Insgesamt ist das Benzol-Konzentrationsniveau im Küstenbereich mit Messstellen in ländlich-kleinstädtischen Regionen vergleichbar mit geringerer Belastung an den Küstenmessstellen und liegt deutlich unter dem Grenzwert.

5 Zusammenfassung

Im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz wurden durch das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim im Bereich der Niedersächsischen Küste Immissionsmessungen durchgeführt.

Neben den vorhandenen vier Messstationen des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen (LÜN) im Bereich der Küste, wurden zusätzlich sechs Messstellen zur Aufnahme von Passivsammlern eingerichtet und über einen einjährigen Zeitraum, vom 01.04.2011 bis zum 31.03.2012, im Hinblick auf die Erfassung küstennaher Immissionen betrieben.

Es wurden dabei sowohl der Staubbiederschlag und dessen Staubinhaltsstoffe als auch die gasförmigen Luftschadstoffe Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Benzol erfasst. Soweit die Komponenten nicht kontinuierlich an den vier ortsfesten Luftüberwachungsstationen gemessen wurden, waren hier zusätzlich Passivsammler (Staubbiederschlag, Schwefeldioxid, Benzol) im Einsatz.

Die Staubbiederschlagsbelastung im Bereich der Küste lag mit Jahresmittelwerten von 0,05 g/(m²d) bis 0,12 g/(m²d) deutlich unterhalb des Immissionswertes der TA Luft von 0,35 g/(m²d). Dabei war vereinzelt der Einfluss von wieder aufgewirbelten Bodenmaterial aber auch der an einigen Messpunkten nahen Nordsee (Sea spray) auf die Höhe des Staubbiederschlags erkennbar. Gegenüber vergleichbar in ländlich Umgebung liegender LÜN-Standorte im Binnenland wurden an den küstennahen Standorten bis zum Faktor von ca. 6 höhere Chlorid-Depositionen und auch etwas höhere Sulfat-Depositionen gefunden. Hieraus kann auf einen merkbaren natürlichen Eintrag von Seesalz geschlossen werden.

Auch die jeweiligen Immissionswerte zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Schadstoffdepositionen für die Staubinhaltsstoffe Arsen, Blei, Cadmium und Nickel werden deutlich unterschritten. Die gemessenen Werte lagen im Jahresmittel beim Arsen zwischen 0,21 µg/(m²d) und 0,57 µg/(m²d) bei einem Grenzwert von 4 µg/(m²d), beim Blei zwischen 2,3 µg/(m²d) und 4,2 µg/(m²d) mit einem Grenzwert von 100 µg/(m²d), beim Cadmium (Grenzwert 2 µg/(m²d)) zwischen 0,07 µg/(m²d) und 0,10 µg/(m²d) und beim Nickel zwischen 0,77 µg/(m²d) und 1,28 µg/(m²d) bei einem Grenzwert von 15 µg/(m²d). Die ermittelten Schadstoffdepositionen für Arsen, Cadmium und Nickel liegen damit im Mittel jeweils um eine Größenordnung (Faktor 10) unterhalb dieser Immissionswerte; beim Blei betragen sie sogar weniger als ein zwanzigstel des dazugehörigen Immissionswertes.

Der Grenzwert in der 39. BImSchV für die Schwefeldioxid-Konzentration zum Schutz der Vegetation (20 µg/m³) wurde mit Jahresmittelwerten von 1,0 µg/m³ bis 1,6 µg/m³ deutlich unterschritten.



Bei Stickstoffdioxid wurden Konzentrationen im Jahresmittel von $7,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $12,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Der Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird damit deutlich unterschritten. Die Messergebnisse liegen im Vergleich auf einem Niveau mit Standorten in ländlich bis vorstädtisch geprägter Umgebung der kontinuierlichen Luftüberwachung des LÜN [13]. Auch an den Standorten dieses Messprogramms konnte der typischen Jahresgang mit höheren Konzentrationen in den Wintermonaten, der auch an den ländlich- bis vorstädtischen Messstandorten des LÜN im Binnenland erkennbar ist, beobachtet werden.

Die zwischen $0,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel gemessenen Benzol-Konzentrationen unterschreiten den zulässigen Grenzwert ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) deutlich. Sie liegen damit noch unterhalb der Konzentrationen, die vom LÜN an den Stationen im ländlichen, vorstädtischen oder städtischen Hintergrund im Jahresmittel 2011 gemessen wurden [13]. Auch bei dieser Komponente konnte ein Jahresgang mit höheren Konzentrationen in den Wintermonaten beobachtet werden.

Immissions- bzw. Grenzwertüberschreitungen wurden bei keiner Komponente, die im Immissionsmessprogramm Niedersächsische Küste betrachtet wurden, festgestellt.



7 Literatur

- [1] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) vom 2. August 2010 (BGBl. Teil I Nr. 40, S. 1065)
- [2] IVL - Swedisch Environmental Research Institute - Gothenburg, Schweden
- [3] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002
- [4] VDI-Richtlinie 2119 Blatt 2 (09-1996) Messung partikelförmiger Niederschläge – Bestimmung des Staubniederschlags mit Auffanggefäßen aus Glas (Bergerhoff-Verfahren) oder Kunststoff
- [5] VDI-Richtlinie 2267 Blatt 15 (11-2005) Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft – Messen der Massenkonzentration von u.a. Pb, Cd, As, Ni – Bestandteile des Staubniederschlags mit Hilfe der Massenspektrometrie (ICP-MS)
- [6] HEALTH & SAFETY LABORATORY – Harpur Hill, SK17 9JN Buxton, Derbyshire UK
- [7] DIN EN 14212 (06-2005) Luftqualität - Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Schwefeldioxid mit Ultraviolett-Fluoreszenz
- [8] DIN EN 16339 Luftqualität - Methode zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid mittels Passivsammler; Deutsche Fassung prEN 16339:2011
- [9] DIN EN 14211 (06-2005) Luftqualität - Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenz
- [10] DIN EN 14662-5 (08-2005) Luftbeschaffenheit – Standardverfahren zur Bestimmung von Benzolkonzentrationen - Teil 5: Diffusionsprobenahme mit anschließender Lösemittel-desorption und Gaschromatographie
- [11] DIN EN ISO 20988 (2007-9) Leitlinien zur Schätzung der Messunsicherheit
- [12] Untersuchung des Seesalzanteils an der Feinstaubbelastung auf der Insel Norderney
K.-P. Giesen, Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, 2005
- [13] LÜN-Jahresbericht 2011, Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen (LÜN)
<http://www.umweltbericht.niedersachsen.de/luft/LUEN/jahresberichte/9127.html>