

1. Einleitung

Die Messtechnik ist ein wesentliches Instrument zur Beurteilung der Luftqualität und von Maßnahmen zur Luftreinhaltung. Sie dient der Erfassung luftfremder Stoffe am Ort ihres Entstehens (Emissionen) und an den Orten Ihrer Wirkung (Immissionen). Beide messtechnischen Arbeitsrichtungen ergänzen sich bei der Überwachung der Einhaltung von Vorschriften zur Luftreinhaltung.

Für die Messung von Emissionen gab das Umweltbundesamt einen „Leitfaden zur kontinuierlichen Emissionsüberwachung“ heraus, der bereits mehrfach aktualisiert /1/ und ins Englische übersetzt wurde /2/. Der Erfolg der zweisprachigen Darstellung führte zur Herausgabe einer Darstellung der in der Bundesrepublik Deutschland eingesetzten Verfahren, Methoden und Geräte zur Messung von Immissionen, der zusätzliche Angaben über diskontinuierliche Verfahren, über die Messplanung und über die Bewertung von Immissionsmessdaten enthält. Der Ende 1992 erstmalig vorgelegte „Leitfaden zur Immissionsüberwachung in Deutschland“ und seine englische Übersetzung wurden 1997 aktualisiert /3, 4/.

Neue, insbesondere durch die Umsetzungsverpflichtung von Richtlinien der Kommission der Europäischen Gemeinschaften initiierte rechtliche Entwicklungen sowie technischer und analytischer Fortschritt veranlassten eine neue und aktualisierte Auflage des Leitfadens.

Die Immissionsmessung wird in der Bundesrepublik Deutschland in Normen und Richtlinien des Handbuchs Reinhaltung der Luft dargestellt /5/, die von der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN erarbeitet werden.

Die Kommission Reinhaltung der Luft veranstaltete 1986, 1990, 1993, 1996, 1999 und 2002 mehrtägige wissenschaftliche Kolloquien über aktuelle Aufgaben der Messtechnik in der Luftreinhaltung, deren Beiträge auch in Buchform veröffentlicht wurden /6-11/. Auch sei auf einige (z. T. ältere) Fachbücher verwiesen /12-17/.

Der vorliegende Leitfaden lehnt sich inhaltlich an die zweite Auflage an und behandelt vorrangig die stoffbezogene Außenluftüberwachung im Rahmen des Immissionsschutzes.

Kapitel 2 gibt einen Überblick über die grundsätzlichen Aufgaben bei Immissionsmessungen und benennt die behandelten Themenbereiche.

In Kapitel 3 werden die für die Immissionsüberwachung in Deutschland relevanten gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerke in Ihren Grundzügen erläutert.

Die in ihnen enthaltenen Anforderungen bezüglich der Immissionsüberwachung werden in Kapitel 4 (Messplanung) und Kapitel 5 (Auswertung, Beurteilung und Dokumentation) näher spezifiziert. Auszüge aus den Originaltexten sind im Anhang 1 angefügt.

Der messtechnische Teil des Leitfadens (Kapitel 6, Anhang 2 und Anhang 3) gibt einen Überblick über die in Deutschland üblichen Messverfahren. Die zugehörigen DIN- Normen und VDI-Richtlinien sind in Anhang 2 dargestellt, der Anhang 3 beschreibt aktuell lieferbare (Stand: September 2003) eignungsgeprüfte Messgeräte zur kontinuierlichen Immissionsüberwachung.

Kapitel 7 beschreibt die aktuellen Regelungen zur Qualitätssicherung, Kapitel 8 gibt eine abschließende inhaltliche Zusammenfassung des Leitfadens.

2. Aufgaben bei Immissionsmessungen

Die Aufgaben bei Immissionsmessungen lassen sich grundsätzlich folgendermaßen unterteilen:

- gebiets- bzw. ortsbezogene Messungen
- anlagenbezogene Messungen
- objekt- bzw. wirkungsbezogene Messungen

Gebiets- bzw. ortsbezogene Messungen dienen der Bestimmung der Belastung von Gebieten und damit der dortigen Bevölkerung, der Vegetation oder von Sachgütern durch luftfremde Stoffe und Schadstoffdepositionen.

Anlagenbezogene Messungen sollen die von einer oder mehreren Emittenten verursachten Luftverunreinigungen ermitteln.

Beispiele für objekt- bzw. wirkungsbezogenen Messungen sind:

- Personenbezogene Messungen, die Untersuchungen über die Wirkung von luftfremden Stoffen auf die menschliche Gesundheit dienen. Die Probenahmen werden in der Regel mit tragbaren Geräten am Menschen vorgenommen. Das Problem dieser Messtechnik liegt vor allem in relativ hohen Nachweisgrenzen, die eine recht lange Probenahmedauer erfordern. Auf diese nicht zur üblichen Luftüberwachung im Rahmen des Immissionsschutzes, sondern zur Forschung im Bereich des Gesundheitsschutzes zu zählende Arbeitsrichtung wird im folgenden nicht näher eingegangen.
- Olfaktometrie (Geruchsmessung)
- Verfahren der standardisierten Flechtenexposition zur Ermittlung und Bewertung phytotoxischer Immissionen
- Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (VDI 3957)
- Bestimmung von Immissions-Raten (zur Ermittlung von Wirkungen auf Materialien; VDI 3792)

Der vorliegende Leitfaden bezieht sich vorrangig auf die Messung und Beurteilung von Immissionen in der Umgebungsluft und Schadstoffdepositionen, also auf gebiets- bzw. ortsbezogene und anlagenbezogene Messungen.

Spezielle Ziele bei Immissionsmessungen, die sich den oben genannten Grundmustern zuordnen lassen, sind im folgenden aufgeführt:

- Prüfung der Einhaltung von Immissionsgrenzwerten
- Kontrolle der Wirksamkeit von Luftreinhaltemaßnahmen
- Kalibrierung und Prüfung von Ausbreitungsrechnungen für Schadstoffe in der Atmosphäre
- Verfolgung des zeitlichen Trends von Immissionskonzentrationen
- Untersuchungen über den Transport von Luftverunreinigungen

In der Praxis der Luftuntersuchung werden mit Messprogrammen oft mehrere dieser Ziele verfolgt. Die geschilderten Aufgaben stellen sich mit unterschiedlicher Häufigkeit sowohl bei zeitlich begrenzten Untersuchungs- und Forschungsprogrammen als auch bei fortlaufenden, zeitlich nicht begrenzten Messprogrammen.

3. Gesetzliche Grundlagen

3.1 Richtlinien der Kommission der Europäischen Gemeinschaften

Die Europäische Union verabschiedete Ende 1996 die Richtlinie 96/62/EG über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität /18/ und hat damit den Rahmen für die künftige Rechtsentwicklung im Bereich der Luftqualität geschaffen.

Diese sog. Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie verfolgt insbesondere vier Ziele:

- die Definition und Festlegung von Luftqualitätszielen
- die Beurteilung der Luftqualität in den Mitgliedsstaaten anhand einheitlicher Methoden und Kriterien
- die Verfügbarkeit von sachdienlichen Informationen über die Luftqualität und die Unterrichtung der Öffentlichkeit anhand von Alarmschwellen
- den Erhalt guter Luftqualität und die Verbesserung der Luftqualität, wo dies nicht der Fall ist

Sie enthält selbst keine Grenzwerte oder Messverfahren, sondern nennt vorrangig zu betrachtende Luftschadstoffe, für die Einzelregelungen in sogenannten Tochtrichtlinien getroffen werden.

Der derzeitige Stand der Erarbeitung von EU-Tochtrichtlinien ist im folgenden beschrieben:

1. Tochtrichtlinie

Richtlinie 1999/30/EG über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft /19/

2. Tochtrichtlinie

Richtlinie 2000/69/EG über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft /20/

3. Tochtrichtlinie

Richtlinie 2002/3/EG über den Ozongehalt der Luft /21/

4. Tochtrichtlinie

Richtlinie über Arsen, Cadmium, Quecksilber, Nickel und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in Umgebungsluft – Entwurf /22/

Umsetzungstermine für die Tochterrichtlinien waren der 19. Juli 2001 (1. Tochterrichtlinie), der 13.12.2002 (2. Tochterrichtlinie); die dritte Tochterrichtlinie war bis zum 09.09.2003 in nationales Recht umzusetzen.

Die Erfüllung der Umsetzungsverpflichtung machte 2002 Novellierungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes /23/, der TA Luft /24/ und der 22. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes /25/ erforderlich. Mit Umsetzung der 3. Tochterrichtlinie durch Einführung der Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen (33. BImSchV) /26/ wird die 23. BImSchV /27/ außer Kraft gesetzt und die 22. BImSchV erneut novelliert.

Neben den o.g. Tochterrichtlinien haben noch einige ältere EU-Richtlinien /28, 29, 30/ mit Regelungen zur Immissionsüberwachung übergangsweise Gültigkeit. Daher sind die derzeitigen Rechtsvorschriften bezüglich der Immissionsüberwachung von einem Übergangscharakter geprägt.

Die zweite Generation der EU-Richtlinien erfordert in den Mitgliedsstaaten (in Deutschland wegen der Regelung der Zuständigkeit auch in den Ländern) eine Neuausrichtung der Immissionsüberwachung und der Luftreinhalteplanung.

Schwerpunktkriterien hierbei sind:

- deutlich verschärfte Grenzwerte durch Orientierung an den wirkungsbezogenen Grenzwerten der Weltgesundheitsorganisation WHO
- umfangreiche Maßnahmenpläne zur Luftreinhaltung
- umfassende Öffentlichkeitsinformation
- gesteigerte Anforderungen an Qualität und Qualitätssicherungssystem für Luftgütedaten

In Abstimmung zwischen dem Umweltbundesamt Berlin und den Ländern war gemäß Artikel 5 der Rahmenrichtlinie eine sogenannte Ausgangsbeurteilung der Luftqualität durchzuführen.

Das Ziel der Ausgangsbeurteilung besteht in der Ermittlung ortsbezogener Immissionsbelastungen in den Mitgliedstaaten nach einheitlichen Kriterien und Vorschriften sowie nachfolgender Ausweisung von Gebieten unterschiedlicher Kategorien von Immissionsbelastungen.

Entsprechend den Ergebnissen der Ausgangsbeurteilung wird die Immissionsüberwachung vorgeschrieben. Einzelheiten hierzu finden sich in Kapitel 4.

3.2 Bundes-Immissionsschutzgesetz

Das maßgebende Gesetz zur Luftreinhaltung in der Bundesrepublik Deutschland ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) /23/.

Die Regelungen des Gesetzes betreffen praktisch alle Bereiche des Immissionsschutzes. Die die Immissionsüberwachung betreffenden Bestimmungen sind im Anhang 1 zusammengestellt.

Das 7. Gesetz zur Änderung des BImSchG vom 11.09.2002 /31/ dient u.a. der Umsetzung der einschlägigen EU-Richtlinien zur Immissionsüberwachung. Der fünfte Teil des BImSchG wurde ergänzt; die bisherigen Regelungen zur Luftreinhalteplanung wurden den neu eingefügten Vorschriften angepasst.

Das BImSchG ermächtigt den Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie die Landesregierungen bzw. die zuständigen Minister bzw. Senatoren der Länder zum Erlass von Rechtsverordnungen und Allgemeinen Verwaltungsvorschriften. Diese werden zum Teil im folgenden behandelt, soweit sie die Immissionsüberwachung betreffen: die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft /24/, die 22., 23. und 33. Verordnung zum BImSchG /25, 26, 27/, und die 4. Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Ermittlung von Immissionen in Untersuchungsgebieten /33/.

Nach dem BImSchG

- kann die zuständige Behörde die Durchführung von Immissionsmessungen im Einwirkungsbereich einer Anlage anordnen, wenn schädliche Umwelteinwirkungen durch diese Anlage befürchtet werden (§ 26 BImSchG),
- kann die zuständige Behörde bei genehmigungsbedürftigen Anlagen nach der Inbetriebnahme oder einer Änderung im Sinne der §§ 15 oder 16 BImSchG und sodann nach Ablauf von jeweils 3 Jahren Immissionsmessungen anordnen (§ 28 BImSchG),
- kann die zuständige Behörde statt oder neben Einzelmessungen nach §§ 26 und 28 BImSchG kontinuierliche Immissionsmessungen unter Verwendung aufzeichnender Messgeräte anordnen (§ 29 BImSchG),
- können die zuständigen Straßenverkehrsbehörden den Kraftfahrzeugverkehr verbieten oder beschränken (§ 40 BImSchG), wenn Luftreinhalte- oder Aktionspläne (nach § 47 Abs. 1 oder 2) dies vorsehen oder wenn der Kraftfahrzeugverkehr zur Überschreitung von in Rechtsverordnungen nach § 48 Abs. 1a festgelegten Grenzwerten beiträgt,

- ist die Luftqualität durch die zuständigen Behörden mittels regelmäßiger Untersuchungen nach den Anforderungen der Rechtsverordnungen nach § 48a (s.u.) zu überwachen, Untersuchungsgebiete werden durch die Landesregierungen oder durch von ihnen bestimmte Stellen festgelegt (§ 44 BImSchG),
- ergreifen die zuständigen Behörden die erforderlichen Maßnahmen zur Einhaltung der durch Rechtsverordnungen nach § 48a (s.u.) festgelegten Immissionswerte (§ 45 BImSchG),
- ist die Öffentlichkeit über die Luftqualität zu informieren (§ 46a BImSchG), Überschreitungen von in Rechtsverordnungen nach 48a Abs.1 festgelegten Alarmschwellen sind der Öffentlichkeit von der zuständigen Behörde unverzüglich bekannt zu geben,
- hat die zuständige Behörde bei Überschreitung von in Rechtsverordnungen nach § 48a Abs. 1 festgelegten Kenngrößen Luftreinhaltepläne bzw. Aktionspläne zu erstellen, die der Öffentlichkeit zugänglich sein müssen. (§ 47 BImSchG),
- ist die Bundesregierung ermächtigt, zur Erfüllung von bindenden Beschlüssen der Europäischen Gemeinschaften mit Zustimmung des Bundesrates Rechtsverordnungen über die Festsetzung von Immissionswerten und der Verfahren zu ihrer Ermittlung, Überwachung und Messung zu erlassen (§ 48 a BImSchG). Der Bundestag ist zu beteiligen (§ 48 b BImSchG).

Die die Immissionsüberwachung betreffenden Auszüge aus dem Bundes-Immissionsschutzgesetz sind im Anhang 1 zusammengestellt.

3.3 Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft (22. BImSchV)

Die Novelle der zweiundzwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes /25/ vom 11.09.2002 setzt - neben übergangsweise fortgeltenden EU-Luftqualitätsrichtlinien /28, 29/ - die Rahmenrichtlinie /18/ und die erste und zweite Tochterrichtlinie /19, 20/ unter Festlegung entsprechender Immissionswerte und zeitlich gestaffelter Toleranzmargen in deutsches Recht um. Bei der Luftqualitätsüberwachung ist das gesamte Staatsgebiet flächendeckend zu beurteilen, bei der Überschreitung von Immissionsgrenzwerten sind Maßnahmenpläne, bei der Überschreitung von Alarmschwellen sind Aktionspläne aufzustellen, die Öffentlichkeit ist so aktuell wie möglich zu informieren.

Für die Beurteilung der Luftqualität werden anhand von Beurteilungsschwellen unterschiedliche Verfahren (Messung, Modellrechnungen oder Schätzverfahren) zugelassen (s. Kapitel 4.2.).

In der Anlage 5 sind in der Verordnung Regelungen bezüglich Referenzmethoden für die Beurteilung der Konzentration von Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxiden, Partikeln (PM₁₀ und PM_{2,5}), Blei, Benzol und Kohlenmonoxid getroffen.

3.4 Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten (23. BImSchV)

Die Verordnung betraf Luftverunreinigungsspitzen an Verkehrswegen. Sie trat am 01.03.1997 in Kraft. Bei Überschreitungen bestimmter Konzentrationswerte für Stickstoffdioxid, Ruß und Benzol war zu prüfen, ob der Verkehr nach dem 1990 eingeführten § 40 Abs. 2 des BImSchG (inzwischen neugefasst /31/) in bestimmten Strassen zu beschränken oder zu verbieten ist.

Die Verordnung wird im Zuge der Umsetzung der 3. Tochterrichtlinie /21/ durch Einführung der 33. BImSchV /26/ außer Kraft gesetzt. Die in ihr enthaltenen Regelungen sind in die 22. BImSchV eingeflossen und teilweise verschärft worden.

3.5 Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen (33. BImSchV)

Die 33. BImSchV /26/ dient u.a. der Umsetzung der Richtlinie 2002/3/EG (3. Tochterrichtlinie) über den Ozongehalt der Luft. In Ergänzung der bisherigen Regelungen auf Basis der damit aufgehobenen Richtlinie 92/72/EWG /21/ über den Ozongehalt in der Luft sieht die Verordnung erstmals immissionsseitige Ziele für die Senkung der Ozonbelastung vor, die soweit wie möglich bis 2010 erreicht werden sollen.

Mit Einführung der Verordnung wird die 22. BImSchV novelliert, indem die §§ 15 bis 19 bezüglich Ozonregelungen aufgehoben werden. Mit dem Inkrafttreten der Verordnung wird die 23. BImSchV außer Kraft gesetzt.

Bezüglich der Immissionsüberwachung enthält die Verordnung:

- Immissionswerte (§ 2) in Form von Zielwerten und langfristigen Zielen zum Schutz der menschlichen Gesundheit und zum Schutz der Vegetation vor bodennahem Ozon
- Informations- und Alarmschwellen für bodennahes Ozon
- Messvorschriften für Ozon und seine Vorläuferstoffe zur Beurteilung der Luftqualität (§ 3)

3.6 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)

Die neue Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) /24/, die Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, ist seit dem 01. Oktober 2002 rechtswirksam. Diese vierte Novellierung dient vorrangig der Umsetzung vielfältiger gemeinschaftsrechtlicher Vorgaben der EU, insbesondere der Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie /18/ und deren Tochterrichtlinien /19, 20, 21/ sowie der IVU-Richtlinie /32/.

Der Anwendungsbereich erstreckt sich vorrangig auf nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz genehmigungsbedürftige Anlagen. Grundsätzlich sind nunmehr auch nicht genehmigungsbedürftige Anlagen zu berücksichtigen, wobei die immissionsseitigen Anforderungen nur unter bestimmten Voraussetzungen herangezogen werden können.

Zur **Immissionsüberwachung** enthält die TA Luft

- Immissionswerte (Nr. 2.3) zum Schutz der menschlichen Gesundheit (Nr. 4.2), zum Schutz vor erheblichen Belästigungen oder erheblichen Nachteilen durch Staubbiederschlag (Nr. 4.3) zum Schutz vor erheblichen Nachteilen, insbesondere Schutz der Vegetation und von Ökosystemen (Nr. 4.4) und zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Schadstoffdepositionen (Nr. 4.5).
- Vorschriften zur Ermittlung der Immissionskenngrößen (Nr. 4.6).
- Kriterien für die Einhaltung der Immissionswerte (Nr. 4.7)

Der Wortlaut der Bestimmungen zur Immissionüberwachung in der neuen TA Luft ist im Anhang 1 wiedergegeben. Im Vergleich zur TA Luft 1986 sind die Immissionswerte entsprechend den Vorgaben der entsprechenden EU-Richtlinien deutlich gesenkt worden. Des weiteren ist die Definition der Immissionskenngrößen verändert worden. Sie sind in Kapitel 5 eingehend beschrieben.

Die Immissionen werden als Masse der luftverunreinigenden Stoffe bezogen auf das Volumen der verunreinigten Luft (bei gasförmigen Stoffen bezogen auf 293,15 K und 101,3 kPa) bzw. als Deposition (Ablagerung fester, flüssiger und gasförmiger Luftverunreinigungen durch die Schwerkraft auf einer definierten Fläche in einer definierten Zeit) angegeben.

Die Immissionskenngrößen sind nach der novellierten TA Luft nicht mehr *gebietsbezogen*, sondern an Beurteilungspunkten mit der mutmaßlich höchsten Belastung zu ermitteln. Es sind in der Regel kontinuierliche Messungen durchzuführen, es sei denn, es ist für den jeweiligen Schadstoff nur ein Jahres-Immissionswert festgelegt. Die Vorschriften zur Ermittlung der Immissionskenngrößen sind in Kapitel 4.2.5 dargestellt.

3.7 Ermittlung von Immissionen in Untersuchungsgebieten (4. BImSchVwV)

Die vierte Verwaltungsvorschrift zum BImSchG vom 26. November 1993 /33/ beschreibt die Ermittlung von Luftverunreinigungen in Untersuchungsgebieten. Sie basiert auf den mittlerweile neugefassten §§ 44, 45 BImSchG und berücksichtigt den damaligen Stand messtechnischer Vorschriften in EU-Richtlinien.

Die 4. BImSchVwV benennt für die Messung in Untersuchungsgebieten

- Messobjekte
- Zahl und Lage der Messstellen
- Messverfahren und Messgeräte
- Vorschriften zur Auswertung der Messergebnisse.

Die Verwaltungsvorschrift ist in diversen Punkten zu den aktuellen Rechtsvorschriften nicht mehr kompatibel. Ein Zeitpunkt für das Außerkrafttreten steht noch nicht fest.

3.8 Smog-Verordnungen

Die meisten Bundesländer haben in den achtziger Jahren aufgrund der (mittlerweile neugefassten) §§ 40 und 49 des BImSchG „Smog-Verordnungen“ (Verordnungen zur Verminderung schädlicher Umwelteinwirkungen bei austauscharmen Wetterlagen) erlassen, die sich inhaltlich an einer „Musterverordnung“ des LAI /34/ ausrichteten.

Zur Immissionsüberwachung enthalten die Smog-Verordnungen

- Konzentrationswerte für die Auslösung der Stufen des Smog-Alarm
- Angaben zur Immissionsmessung

Die Angaben beziehen sich auf die Komponenten Schwefeldioxid, Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffdioxid und Schwebstaub.

Mit den unterschiedlichen Alarmstufen (Vorwarnstufe, 1. Alarmstufe und 2. Alarmstufe) waren Information der Bevölkerung, Fahrverbote und Betriebseinschränkungen verbunden.

Durch den starken Rückgang von Schwefeldioxid- und Schwebstaubemissionen ist das Erreichen der Alarmstufen nicht mehr wahrscheinlich. In der Folge haben alle Bundesländer die Smog-Verordnungen außer Kraft gesetzt.

4. Messplanung

Mit der Messplanung sollen die zeitlichen und räumlichen Anordnungen von Messungen bzw. von Probennahmen festgelegt werden mit dem Ziel, die Immissionsituation in einem Gebiet oder an bestimmten Orten repräsentativ zu ermitteln. Die Messungen sollen so geplant werden, dass ihre Ergebnisse mit Grenzwerten oder anderen Festlegungen, mit Wirkungskriterien oder Wirkungsbefunden und/oder mit den Messwerten aus anderen Gebieten oder zu anderen Zeiten verglichen werden können. Die Planung hängt wesentlich von den Aufgaben bei Immissionsmessungen (Kapitel 2), vom Einsatz diskontinuierlicher oder kontinuierlicher (oder auch beider) Messverfahren (Kapitel 6) sowie von Art und Herkunft der luftverunreinigenden Stoffe ab.

Zur Messplanung für Immissionsmessungen ist im nationalen wie internationalen Schrifttum - auch in Buchform /36/ - oft veröffentlicht worden. Auf einige deutsche Arbeiten bzw. Arbeiten, die unter deutscher Beteiligung der Durchführung von Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft dienten, sei exemplarisch hingewiesen /37-48/.

4.1 Begriffe

Im folgenden werden die wichtigsten Begriffe aufgeführt, die für die Planung und Durchführung von Immissionsmessungen bedeutungsvoll sind und im wesentlichen auch in Vorschriften zur Immissionsüberwachung (TA Luft /24/, EU-Richtlinien /18-21, 28-30/, 22. und 33. Verordnung zum BImSchG /25, 26/ und der 4. Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum BImSchG /33/) enthalten sind. Bezüglich Einzelheiten sei auf die Originaltexte (z.T. wiedergegeben in Anhang 1) verwiesen.

4.1.1 Beurteilungspunkte

Kontinuierliche und diskontinuierliche Messungen sollen an Stellen vorgenommen werden, deren Luftverunreinigung für die Umgebung repräsentativ ist. In der Nähe des Messortes sollen sich keine Hindernisse befinden, die die freie Luftströmung behindern, und keine Emissionsquellen, die das Ergebnis der Messung verfälschen könnten.

Die Höhe der Probenahmestelle über Boden ist für die Konzentration der gemessenen Immissionen dann von Bedeutung, wenn sie die Entfernung zu Emissionsquellen deutlich beeinflusst und damit Verdünnungen des Schadstoffes bewirkt. Das ist zum Beispiel bei Messungen in der Nähe des Kraftverkehrs der Fall.

4.1.2 Messstellendichte/Mindestzahl von Probenahmestellen

Als Messstellendichte ist die Anzahl von Messstellen pro Fläche zu verstehen. Sie ist vor allem für Stichproben-Messungen in Gebieten von erheblicher Bedeutung für die Ermittlung von Immissionen. Die erforderliche Messstellendichte nimmt mit dem Umfang der zeitlichen und räumlichen Schwankungen der Immissionskonzentrationen im Untersuchungsgebiet, mit der Abnahme der Probenahmedauer für die Einzelmessung und mit abnehmender Messhäufigkeit zu. Kriterien für die Mindestzahl von Probenahmestellen nach Anforderungen der EU-Richtlinien (s. Kapitel 4.2.1) sind in die entsprechenden deutschen Verordnungen übernommen worden. Für den Einwirkungsbereich von Anlagen sind Regelungen in der TA Luft /24/ getroffen (siehe Kapitel 4.2.5).

4.1.3 Probenahmedauer/Mittelungszeitraum

Der Probenahmedauer für eine Einzelbestimmung bei diskontinuierlichen Messungen entspricht die Bildung von Mittelwerten über Zeitabschnitte bei automatisch-kontinuierlichen Messungen.

Je kürzer Probenahmedauer bzw. Mittelungszeitraum sind, desto höher sind die zu erwartenden *Maximalwerte*. Die festzulegenden Probenahmedauern und Mittelungszeiträume ergeben sich aus den Definitionen von Grenzwerten, aus Wirkungskriterien der zu messenden Substanzen wie aus messtechnischen Bedingungen (Nachweisgrenze, Aufwand). Sie betragen nach Einführung der aktuellen EU-Regelungen in der Regel in Deutschland (vgl. Kapitel 3.2 und 3.3)

- 1 Stunde,
- 8 Stunden
- 24 Stunden,
- Kalenderjahr
- Winter (1. Oktober bis 31. März).

Die Einzelregelungen nach Schadstoffen und Schutzgütern finden sich in Kapitel 5.

Der vormals in Deutschland übliche 30-Minuten-Wert für Gase verliert dementsprechend an Bedeutung. Auch die Mehrzahl der maximale Immissionswerte (MIK-Werte) zum Schutze des Menschen betreffenden Blätter der VDI-Richtlinienreihe 2310 (vgl. Kapitel 5.1) sind in den letzten Jahren und Monaten ersatzlos zurückgezogen worden.

4.1.4 Dauer eines Messprogramms

Dem Begriff „Dauer eines Messprogramms“ entspricht bei zeitlich unbegrenzten Immissionsmessungen der Auswertzeitraum. Er beträgt in der Regel 12 Monate. Die großen Zahlen von Messwerten bei kontinuierlichen Messungen erlauben Unterteilungen für Tage, Monate, Viertel- und Halbjahre.

Die 12 Monate eines Messprogramms oder eines Auswertzeitraumes können zweckmäßigerweise ein Kalenderjahr oder den Zeitraum vom 1. April bis 31. März umfassen. Letzterer Zeitraum hat den Vorteil, dass Trennungen der Auswertungen nach Sommer- (April bis September) und Winter-Halbjahr (Oktober bis März) vorgenommen werden können.

Bei Verkürzung eines Untersuchungsprogramms auf 6 Monate sind Messungen während der Monate Januar bis Juni oder Juli bis Dezember empfehlenswert, um die verschiedenen meteorologischen Einflüsse eines Jahres zu erfassen. Noch kürzere Messzeiträume können zu repräsentativen Werten führen, wenn in unmittelbarer Nähe einer bodennahen Emissionsquelle meteorologische Faktoren von untergeordneter Bedeutung sind. So ließen sich z.B. die mittleren und maximalen Kohlenstoffmonoxid-Immissionen am Rande einer verkehrsreichen Straße für ein Jahr aus den Werten kontinuierlicher Messungen jedes einzelnen Monats ausreichend sicher ableiten /49/.

4.1.5 Probenahmezeiten

Emissionsverläufe und meteorologische Einflüsse verursachen systematische Gänge der Immission während des Jahres, während des Tages und auch während der Woche (Werktage zu Wochenende) /50/.

Bei kontinuierlichen und anderen zeitdeckenden Messungen werden diese zeitabhängigen Immissionsschwankungen voll erfasst. Bei diskontinuierlichen Stichproben-Messungen kommt der Messplanung die Aufgabe zu, unerwünschte Auswirkungen der Messzeiten auf die Ergebnisse der Luftuntersuchungen zu vermeiden. Die novellierte TA Luft /24/ und die 22. und 33. BImSchV /25, 26/ enthalten entsprechende Vorschriften.

4.1.5.1 Jahreszeit

Bestandteile von Rauchgasen und von anderen aus thermischen Prozessen stammenden Abgasen (vor allem Schwefeldioxid) treten im Winter in den höchsten Konzentrationen auf. Luftverunreinigende Substanzen, die infolge geringerer Löslichkeit in Absorptionslösungen in Produktions- oder Reinigungsanlagen bei höheren Temperaturen, bei Verdunstungen (organische Gase) oder Aufwirbelungen vom Boden (Staub) auftreten oder erst bei photochemischen Reaktionen an der Atmosphäre entstehen (Ozon), treten im Sommer vermehrt auf.

Wetterbedingungen, die für die Verteilung von Abgasen im Luftraum ungünstig sind und damit höhere Immissionen mitbedingen, treten bevorzugt im Winterhalbjahr auf.

4.1.5.2 Tageszeit/Wochentage

Die Schwankungen der Luftverunreinigung im Tagesverlauf wird ebenfalls durch Emissions- und meteorologische Verhältnisse bedingt. In der Regel treten Maxima der mittleren Fremdstoffkonzentration am Vormittag und am Nachmittag auf, während die niedrigsten Immissionen während der Nacht vorliegen. Zeitliche Lage und relative Höhe der Maxima hängen davon ab, ob ihre Ausbildung durch die Emission (z.B. in Straßennähe) oder durch die Meteorologie (z.B. bei Rauchgasen) dominiert wird.

Immissionsunterschiede von Werktagen zu (weniger belasteten) Wochenenden sind nur durch die Emissionsverhältnisse bedingt.

Da kontinuierliche Messungen die Gesamtzeit von Tagen und Wochen umfassen, Stichprobenmessungen jedoch in der Regel (z.B. nach den Vorgaben der TA Luft 86 /51/) nur an Werktagen und tagsüber - und damit unter Ausklammerung der immissionsschwächeren Nachtstunden und Wochenenden - ausgeführt wurden, ergab sich, dass bei diesem Vorgehen mit höheren Kenngrößen der Luftbelastung zu rechnen ist. Sowohl die novellierte TA Luft /24/ als auch die 22. BImSchV /25/ fordern dementsprechend bei diskontinuierlichen Messungen eine gleichmäßige Verteilung der Probenahmezeiten, um die oben beschriebenen Verzerrungen der Ergebnisse zu vermeiden.

4.1.6 Messhäufigkeit

Unter Messhäufigkeit versteht man die Anzahl von Messungen bzw. von Probenahmen und ihre zeitliche Anordnung an einem Messort oder in einem Messgebiet. Dieser Begriff ist nur für diskontinuierliche Stichproben (und hier von erheblicher) Bedeutung, weil Immissionen hohe zeitliche Schwankungen aufweisen können (vgl. Kapitel 6) /36, 37/. Kontinuierliche Messungen überdecken gewöhnlich die Dauer eines Messprogramms lückenlos.

Die für die Beurteilung von Immissionen erforderliche Messhäufigkeit nimmt mit der Höhe von Immissionsschwankungen, mit einer Abnahme der Probenahmedauer und mit abnehmender Messstellendichte zu.

Im deutschen Schrifttum sind wiederholt Untersuchungen über den Einfluss der Messhäufigkeit auf die Höhe von Immissionskenngrößen beschrieben worden, so für Schwefeldioxid /52/ und für Blei im Schwebstaub /53/. Diese Untersuchungen wurden vorwiegend im Hinblick auf die Bestimmungen in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft 86 /51/ durchgeführt. Bei ihnen wurden aus der Gesamtzahl fortlaufend registrierter Messwerte abnehmende Anzahlen von Einzelwerten herausgezogen und aus ihnen Mittelwerte und Perzentile (für höhere Immissionsbelastungen) ermittelt.

4.2 Messvorschriften (Messpläne) in der Bundesrepublik Deutschland

Konkrete Vorgaben für die Messplanung von Immissionsmessungen sind in der Bundesrepublik Deutschland in folgenden Vorschriften (vgl. Kapitel 3) festgelegt:

- Richtlinien der Kommission der Europäischen Gemeinschaften
- 22. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
- 23. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
- 33. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
- Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
- Vierte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz

Die Richtlinienreihe VDI 4280 enthält konkrete Anforderungen und Regeln zur Planung von emissionsquellenbezogenen Immissionsmessungen. Im einzelnen sind bisher erschienen:

VDI 4280 Blatt 1, Entwurf, Ausgabe November 1996

Planung von Immissionsmessungen – Allgemeine Regeln für Untersuchungen der Luftbeschaffenheit /54/

VDI 4280 Blatt 2, Ausgabe Juni 1999

Planung von Immissionsmessungen – Regeln zur Planung von Untersuchungen verkehrsbedingter Luftverunreinigungen an Belastungsschwerpunkten /55/

VDI 4280 Blatt 3, Ausgabe Juni 2003

Planung von Immissionsmessungen – Messstrategien zum Ermitteln von Luftqualitätsmerkmalen in der Umgebung ortsfester Emissionsquellen /56/

4.2.1 Richtlinien der Kommission der Europäischen Gemeinschaften

Die von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften erlassenen Richtlinien zur Luftqualität (Tochterrichtlinien /19-21/) bzw. ältere Richtlinien über Grenzwerte für luftverunreinigende Stoffe /28-30/ enthalten detaillierte Messvorschriften.

Bezüglich der Immissionsüberwachung sind die folgenden, ursprünglich in den EU-Tochterrichtlinien definierten und weitestgehend, in für Deutschland angepasster Form in die 22. und 33. BImSchV /25, 26/ übernommenen Begriffe relevant:

Alarmschwelle:

Ein Wert, bei dessen Überschreitung bei kurzfristiger Exposition eine Gefahr für die menschliche Gesundheit besteht und bei dem die Mitgliedstaaten umgehend Maßnahmen (z.B. aktuelle Warnungen, Verhaltensregeln für Risikogruppen, Aktionspläne mit Kurzfristmaßnahmen) ergreifen müssen

Beurteilungsschwelle, obere:

Ein Wert, unterhalb dessen eine Kombination von Messungen und Modellrechnungen zur Beurteilung der Luftqualität angewandt werden kann

Beurteilungsschwelle, untere:

Ein Wert, unterhalb dessen für die Beurteilung der Luftqualität nur Modellrechnungen oder Techniken der objektiven Schätzung angewandt zu werden brauchen

Gebiet:

Ein von den EU-Mitgliedsstaaten abgegrenzter Teil ihres Hoheitsgebietes; für Deutschland ein von den zuständigen Behörden festgelegter Teil der Fläche eines Landes

Ballungsraum:

Ein Gebiet mit mindestens 250.000 Einwohnern, das aus einer oder mehreren Gemeinden besteht, welche jeweils eine Einwohnerdichte von 1.000 Einwohnern oder mehr je Quadratkilometer bezogen auf die Gemarkungsfläche haben

Immissionsgrenzwert:

Ein Wert, der aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse mit dem Ziel festgelegt wird, schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt insgesamt zu vermeiden, zu verhüten oder zu verringern, und der innerhalb eines bestimmten Zeitraumes erreicht werden muss und danach nicht überschritten werden darf

Informationsschwelle:

Ein Wert, bei dessen Überschreitung bei kurzfristiger Exposition ein Risiko für die menschliche Gesundheit für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen besteht und bei dem aktuelle Informationen erforderlich sind

Langfristziel:

Ein Wert, unterhalb dessen direkte schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt insgesamt nach den derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnissen unwahrscheinlich sind. Dieses Ziel ist langfristig zu erreichen, um die menschliche Gesundheit und die Umwelt wirksam zu schützen, es sei denn, dies ist mit Maßnahmen, die in einem angemessenen Verhältnis zum Erfolg stehen, nicht zu erreichen.

Toleranzmarge:

Der Prozentsatz des Grenzwertes, um den dieser überschritten werden darf. Die Toleranzmarge reduziert sich jährlich um einen bestimmten Prozentsatz.

Wert:

Die Konzentration eines Schadstoffes in der Luft

Zielwert:

Ein Wert, der mit dem Ziel festgelegt wird, schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt insgesamt langfristig zu vermeiden, und der - so weit wie möglich - in einem bestimmten Zeitraum erreicht werden muss.

Zur Beurteilung der Luftqualität ist die gesamte Fläche der Länder durch die jeweils zuständigen Behörden unter Einteilung in Gebiete und Ballungsräume zu überwachen. Diese Einteilung erfolgte anhand der Ausgangsbeurteilung nach Artikel 5 der Richtlinie 96/62/EG (Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie, /18/) in Abstimmung mit dem UBA. Einzelne Bundesländer haben die Ergebnisse der Ausgangsbeurteilung veröffentlicht.

Anhand der Ausgangsbeurteilung wird die Messplanung bezüglich ortsfester Messungen festgelegt.

Ortsfeste Messungen sind durchzuführen, wenn die unteren Beurteilungsschwellen überschritten sind und in Ballungsräumen bei Stoffen, für die Alarmschwellen festgelegt sind.

Die Mindestzahl der Messstationen ist in Abhängigkeit von der Bevölkerungszahl des Gebiets oder Ballungsraumes für die jeweils zu überwachenden Schadstoffe vorgeschrieben.

Bei der Durchführung von ortsfesten Messungen für die Schadstoffe Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxiden, Partikel und Blei, Benzol und Kohlenmonoxid (1. und 2. Tochtterrichtlinie) sind bezüglich der Standortwahl die im folgenden in Grundzügen beschriebenen Kriterien zu beachten:

1. großräumige Standortkriterien bzw. Standortwahl auf Makroebene

a) Messungen zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Einrichtung von Probenahmestellen in Gebieten und Ballungsräumen, an denen die höchsten Konzentrationen auftreten, denen die Bevölkerung wahrscheinlich ausgesetzt sein wird und an denen die auftretenden Konzentrationen für die Exposition der Bevölkerung allgemein repräsentativ ist. Dabei soll die Messung von kleinräumigen Umweltbedingungen vermieden werden.

Die Probenahmestellen sollen soweit wie möglich auch für ähnliche Standorte repräsentativ sein, die nicht in ihrer unmittelbaren Nähe gelegen sind. Falls für den Schutz der menschlichen Gesundheit erforderlich, müssen auch Probenahmestellen auf Inseln angelegt werden.

b) Messungen zum Schutz von Ökosystemen und zum Schutz der Vegetation (betrifft nicht Benzol und Kohlenmonoxid)

Die Probenahmestellen sollen so gelegt werden, dass sie mehr als 20 km von Ballungsräumen oder 5 km von anderen bebauten Gebieten, Industrieanlagen oder Strassen entfernt sind. Eine Probenahmestelle soll für die Luftqualität in einem Bereich von mindestens 1.000 km² repräsentativ sein. Bezüglich dieser Regelungen sind Ausnahmen einzelner Mitgliedsstaaten zulässig. Die Luftqualität auf Inseln ist zu bewerten.

2. lokale Standortkriterien bzw. Standortwahl auf Mikroebene

Die folgenden Kriterien sollen, soweit praktisch möglich, eingehalten werden:

Der Luftstrom um den Messeinlass darf nicht beeinträchtigt werden, es sind Mindestabstände zu Hindernissen und bestimmte Probenahmehöhen (im allgemeinen. 1,5 bis 4 m) zu beachten. Messungen in unmittelbarer Nähe von Quellen sind ebenso zu vermeiden wie ein Wiedereintritt der Abluft in den Messeinlass. In verkehrsnahen Zonen sollten die Probenahmestellen mindestens 25 m vom Rand verkehrsreicher Kreuzungen und mindestens 4 m von der Mitte der nächstgelegenen Fahrspur entfernt sein.

Die dritte Tochterrichtlinie /21/ nennt die folgenden großräumigen Kriterien zur Standortwahl für ortsfeste Immissionsmessungen von Ozon und seinen Vorläuferstoffen, wobei die Messung von kleinräumigen Umweltbedingungen vermieden werden soll:

In städtischen Gebieten sind Messstationen einzurichten, die für einige km² repräsentativ sind und die außerhalb des Einflussbereichs örtlicher Emissionsquellen liegen.

Für weitere Arten von Messstationen werden als Anhaltspunkte umgebende Bereiche von einigen Dutzend km² (vorstädtisch), ein paar 100 km² (ländlich) bzw. 1.000 bis 10.000 km² (ländlicher Hintergrund) angegeben, für die die Probenahmestellen repräsentativ sein sollen.

Die Kriterien zur kleinräumigen Standortbestimmung der dritten Tochterrichtlinie entsprechen weitestgehend Vorgaben der 1. und 2. Tochterrichtlinie /19, 20/.

Durch die Umsetzungsverpflichtung der Tochterrichtlinien sind die entsprechenden Messvorschriften bezüglich Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxiden, Partikel und Blei (1. Tochterrichtlinie), Benzol und Kohlenmonoxid (2. Tochterrichtlinie) und Ozon (3. Tochterrichtlinie) verbindlich. Regelungen älterer EU-Richtlinien bezüglich Schwefeldioxid und Schwebstaub (80/779/EWG /28/), Blei (82/884/EWG /29/) und Stickstoffdioxid (85/203/EWG /30/) sind teilweise noch gültig und werden erst nach Ablauf von Übergangsfristen zum 01.01.2005 bzw. 2010 aufgehoben. Die Messvorschriften wurden in die 22. BImSchV übernommen und sind in Kapitel 4.2.2 weitergehend beschrieben.

4.2.2 Zweiundzwanzigste Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz

Die 22. BImSchV /25/ gliedert sich in einen ersten Teil, der auf den Bestimmungen der Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie /18/ und der ersten und zweiten Tochtterrichtlinie (unter Berücksichtigung der übergangsweise fortgeltenden älteren EU-Richtlinien) aufbaut und einem zweiten Teil bezüglich Ozonregelungen auf Basis der Richtlinie 92/72/EWG /35/. Die Ozonregelungen werden mit Einführung der 33. BImSchV /26/ aufgehoben.

Der erste Teil bezieht sich auf die Komponenten Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Schwebstaub und Partikel (PM₁₀), Blei, Benzol und Kohlenmonoxid.

Die Begriffsbestimmungen entsprechen weitestgehend denen der 1. und 2. Tochtterrichtlinie /28, 29/ (vgl. Kapitel 4.2.1).

Zur Beurteilung der Luftqualität ist die gesamte Fläche der Länder durch die jeweils zuständigen Behörden unter Einteilung in Gebiete und Ballungsräume zu überwachen. Diese Einteilung erfolgt anhand der Ausgangsbeurteilung nach Artikel 5 der Rahmenrichtlinie /18/. Einzelne Bundesländer haben die Ergebnisse der Ausgangsbeurteilung veröffentlicht (siehe 4.2.1). Die Beurteilung und die Einteilung in Gebiete und Ballungsräume ist spätestens nach 5 Jahren (bei signifikanten Änderungen der Schadstoffkonzentrationen früher) zu überprüfen.

Ortsfeste Messungen sind durchzuführen

- In Ballungsräumen, wenn die unteren Beurteilungsschwellen überschritten sind
- In Ballungsräumen bei Stoffen, für die Alarmschwellen festgelegt sind
- In Gebieten, wenn die unteren Beurteilungsschwellen überschritten sind

Die Alarmschwellen betragen für Stickstoffdioxid 400 µg/m³, für Schwefeldioxid 500 µg/m³, jeweils, gemittelt über eine volle Stunde, gemessen an drei aufeinanderfolgenden Stunden.

Die Beurteilungsschwellen sind in Tabelle 4.1 wiedergegeben. Sie beziehen sich auf unterschiedliche Schutzgüter (menschliche Gesundheit, Vegetation, Ökosysteme). Sie orientieren sich an den für den jeweiligen Schadstoff definierten Immissionsgrenzwerten und den zugehörigen Mittelungszeiträumen (1-Stunden-, 24-Stunden-, Jahres- und Winterimmissionswerte). Bei Bezug zu 1-Stunden- und 24-Stunden-Immissionswerten ist der jeweiligen Beurteilungsschwelle eine zulässige Überschreitungshäufigkeit pro Kalenderjahr zugeordnet.

Schadstoff	Obere Beurteilungsschwelle	Untere Beurteilungsschwelle	Mittelungszeitraum	Zulässige Überschreitungshäufigkeit	Schutzgut
Schwefeldioxid	75 µg/m ³	50 µg/m ³	24 h	3	Gesundheitsschutz
	12 µg/m ³	8 µg/m ³	Winter	-	Ökosystemschutz
Stickstoffdioxid	140 µg/m ³	100 µg/m ³	1 h	18	Gesundheitsschutz
	32 µg/m ³	26 µg/m ³	Jahr	-	Gesundheitsschutz
Stickstoffoxide	24 µg/m ³	19,5 µg/m ³	Jahr	-	Vegetationsschutz
Partikel	30 µg/m ³	20 µg/m ³	24 h	7	Gesundheitsschutz
	14 µg/m ³	10 µg/m ³	Jahr	-	Gesundheitsschutz
Blei	0,35 µg/m ³	0,25 µg/m ³	Jahr	-	Gesundheitsschutz
Benzol	3,5 µg/m ³	2 µg/m ³	Jahr	-	Gesundheitsschutz
Kohlenstoffmonoxid	7 mg/m ³	5 mg/m ³	Jahr	-	Gesundheitsschutz

Tabelle 4.1: Beurteilungsschwellen der 22. BImSchV

Die erforderliche Mindestzahl von Probenahmestellen bei der Messung der urbanen Hintergrundbelastung einschließlich Verkehr (diffuse Quellen) hängt von den Beurteilungsschwellen und der Bevölkerung des jeweiligen Gebietes oder Ballungsraumes ab. Sie sind in Tabelle 4.2 aufgelistet und beziehen sich auf Messungen zur Beurteilung der Einhaltung von Immissionsgrenzwerten für den Schutz der menschlichen Gesundheit und von Alarmschwellen.

Bevölkerung des Ballungsraumes oder Gebiets (Tausend)	Falls die maximale Konzentration die obere Beurteilungsschwelle überschreitet	Falls die maximale Konzentration zwischen der oberen und der unteren Beurteilungsschwelle liegt	Für SO ₂ und NO ₂ in Ballungsräumen, in denen die maximale Konzentration unter der unteren Beurteilungsschwelle liegt
0-250	1	1	nicht anwendbar
250-499	2	1	1
500-749	2	1	1
750-999	3	1	1
1000-1499	4	2	1
1500-1999	5	2	1
2000-2749	6	3	2
1750-3749	7	3	2
3750-4749	8	4	2
4750-5999	9	4	2
> 6000	10	5	3
	Für Benzol, CO, NO ₂ und Partikel: einschließlich mindestens einer Messstation für städtische Hintergrundquellen und einer Messstation für den Verkehr		

Tabelle 4.2: Kriterien für die Mindestzahl von Probenahmestellen

Zur Beurteilung der Luftverschmutzung im direkten Einwirkungsbereich ortsfester Anlagen (Punktquellen) sind keine vergleichbar konkreten Vorgaben enthalten. Für diesen Bereich sind Regelungen in der TA Luft /24/ (siehe 4.2.5) getroffen. Planungsregeln für Immissionsmessungen sind auch in der VDI-Richtlinie 4280, Blatt 1, 2 und 3 /54, 55, 56/ enthalten.

Zur Beurteilung der Einhaltung von Immissionsgrenzwerten für den Schutz von Ökosystemen oder der Vegetation in anderen Gebieten als in Ballungsräumen ist die folgende Mindestzahl von Probenahmestellen einzurichten:

- 1 Station je 20.000 km², falls die maximale Konzentration die obere Beurteilungsschwelle überschreitet
- 1 Station je 20.000 km², falls die maximale Konzentration zwischen der oberen und der unteren Beurteilungsschwelle liegt

Bei ortsfesten Messungen für die Schadstoffe Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxiden, Partikel und Blei, Benzol und Kohlenmonoxid (1. und 2. Tochterrichtlinie /19, 20/) sind bei der Standortwahl die im folgenden in Grundzügen beschriebenen Kriterien zu beachten:

1. großräumige Standortkriterien bzw. Standortwahl auf Makroebene

a) Messungen zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Einrichtung von Probenahmestellen in Gebieten und Ballungsräumen, an denen die höchsten Konzentrationen auftreten, denen die Bevölkerung wahrscheinlich direkt oder indirekt über einen im Verhältnis zur Mittelungszeit der betreffenden Grenzwerte signifikanten Zeitraum ausgesetzt sein wird.

Einrichtung von Probenahmestellen in Gebieten und Ballungsräumen, an denen die auftretenden Konzentrationen für die Exposition der Bevölkerung im allgemeinen repräsentativ ist.

Die Messung von kleinräumigen Umweltbedingungen soll vermieden werden. Als Anhaltspunkte wird ein umgebender Bereich von 200 m² (Probenahmestellen für Verkehr) bzw. mehreren Quadratkilometern (Probenahmestellen für städtische Hintergrundquellen) angegeben, für den die Probenahmestellen repräsentativ sein sollen.

Die Probenahmestellen sollen soweit wie möglich auch für ähnliche Standorte repräsentativ sein, die nicht in ihrer unmittelbaren Nähe gelegen sind. Falls für den Schutz der menschlichen Gesundheit erforderlich, müssen auch Probenahmestellen auf Inseln angelegt werden.

b) Messungen zum Schutz von Ökosystemen und zum Schutz der Vegetation (betrifft nicht Benzol und Kohlenmonoxid)

Die Probenahmestellen sollen so gelegt werden, dass sie mehr als 20 km von Ballungsräumen oder 5 km von anderen bebauten Gebieten, Industrieanlagen oder Straßen entfernt sind. Eine Probenahmestelle soll für die Luftqualität in einem Bereich von mindestens 1.000 km² repräsentativ sein. Bei diesen Regelungen sind Ausnahmen einzelner Mitgliedsstaaten zulässig. Die Luftqualität auf Inseln ist zu bewerten.

2. lokale Standortkriterien bzw. Standortwahl auf Mikroebene

Die folgenden Kriterien sollen, soweit praktisch möglich, eingehalten werden:

- Keine Beeinträchtigung des Luftstromes um den Messeinlass
- Mindestabstand des Messeinlasses zu Hindernissen in der Regel einige Meter
- Mindestabstand des Messeinlasses für Probenahmestellen für die Luftqualität an der Baufluchtlinie 0,5 m vom nächsten Gebäude
- Höhe des Messeinlasses 1,5 bis 4 m über dem Boden, u. U. bis 8 m
- Lage des Messeinlasses nicht in nächster Nähe von Quellen
- Vermeidung eines Wiedereintritts der Abluft in den Messeinlass
- In verkehrsnahen Zonen sollten die Probenahmestellen mindestens 25 m vom Rand verkehrsreicher Kreuzungen und mindestens 4 m von der Mitte der nächstgelegenen Fahrspur entfernt sein.

4.2.2.1 Messung von Schwefeldioxid

Für die Messung von Schwefeldioxid enthält die 22. BImSchV die folgenden Vorgaben:

Mittelungszeitraum: 1 Tag (bis 31.12.2004), volle Stunde, 24 Stunden (0.00 bis 24.00 Uhr), Kalenderjahr und Winter (Oktober bis März)

Dauer eines Messprogramms (Auswertezeitraum): Ein Jahr; getrennte Auswertung für das Winterhalbjahr (Oktober bis März).

Messhäufigkeit: Kontinuierliche Messung; Stichprobenmessungen (gleichmäßig über das Jahr verteilt) anstelle von kontinuierlichen Messungen können durchgeführt werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Genauigkeit mit einem Vertrauensbereich von 95 % in Bezug auf kontinuierliche Messungen bei 10 % liegt

Referenzverfahren: ISO/FDIS 10498 (Normentwurf) Luft – Bestimmung von Schwefeldioxid –UV-Fluoreszenzverfahren

Bis zum 31.12.2004 ist die zugeordnete Schwebstaubkonzentration (nach Anhang IV B der EG-Richtlinie 80/779) zu ermitteln:

Probenahmedauer: 24 Stunden

Dauer eines Messprogramms: Ein Jahr, Winter

Messhäufigkeit: Mindestens 100 Messungen pro Jahr, gleichmäßig über diesen Zeitraum verteilt.

Messverfahren: Gravimetrische Methode mit Glasfaserfilter oder Membranfilter

4.2.2.2 Messung von Stickstoffdioxid und Stickstoffoxiden

Die Angaben zur Messplanung des Anhangs I der Richtlinie 85/203/EWG über Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid /24/ bleiben übergangsweise bis zum 31.12.2009 gültig.

Mittelungszeitraum: Eine Stunde oder kürzer (bis 31.12.2009), volle Stunde, Kalenderjahr

Dauer eines Messzeitraumes (Auswertezeitraum): Kalenderjahr

Messhäufigkeit: Kontinuierliche Messung; Stichprobenmessungen (gleichmäßig über das Jahr verteilt) anstelle von kontinuierlichen Messungen können durchgeführt werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Genauigkeit mit einem Vertrauensbereich von 95 % in Bezug auf kontinuierliche Messungen bei 10 % liegt

Referenzverfahren: ISO 7996 Luft – Bestimmung der Massenkonzentration von Stickstoffoxiden - Chemilumineszenz – Verfahren

Der Mittelungszeitraum für Stickstoffoxide beträgt 1 Jahr.

4.2.2.3 Messung von Schwebstaub und Partikeln (PM₁₀, PM_{2,5})

Die Grenzwerte und Messung von Schwebstaub und Partikeln beziehen sich bis zum 31. Dezember 2004 auf Schwebstaub, ab dem 1. Januar 2005 auf PM₁₀. Bezüglich der Probenahme und Analyse von Schwebstaub sind die Vorschriften in Anlage IV, Tabelle B in der Richtlinie 80/779/EWG anzuwenden:

Probenahmedauer: 24 Stunden

Dauer eines Messprogramms: ein Jahr

Messhäufigkeit: Mindestens 100 Messungen pro Jahr, gleichmäßig über diesen Zeitraum verteilt

Referenzverfahren: Probenahme auf Membran- oder Glasfaserfilter ohne Fraktionierung, gravimetrische Bestimmung

Zur Beurteilung der Schwebstaubkonzentration kann auch das Referenzverfahren für die PM₁₀-Fraktion (s.u.) verwendet werden. Hierfür sind die Ergebnisse zum Vergleich mit dem Grenzwert für Schwebstaub mit dem Faktor 1,2 zu multiplizieren.

Für die Messung der PM₁₀-Konzentration sind die folgenden Regelungen verbindlich:

Mittelungszeitraum: 24 Stunden, Kalenderjahr

Dauer eines Messzeitraumes (Auswertezeitraum): Kalenderjahr

Messhäufigkeit: Kontinuierliche Messung; Stichprobenmessungen (gleichmäßig über das Jahr verteilt) anstelle von kontinuierlichen Messungen können durchgeführt werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Genauigkeit mit einem Vertrauensbereich von 95 % in Bezug auf kontinuierliche Messungen bei 10 % liegt

Referenzverfahren: EN 12341 Luftqualität – Felduntersuchung zum Nachweis der Gleichwertigkeit von Probenahmeverfahren für die PM₁₀-Fraktion von Partikeln

Bei dem o.g. Referenzverfahren handelt es sich um ein gravimetrisch-manuelles Verfahren. Die gebräuchlichen Verfahren zur kontinuierlichen Messung (β -Absorption und TEOM, siehe 6.1.2.9 und 6.1.2.10) zeigten in der Praxis von PM₁₀-Immissionsmessungen erhebliche Minderbefunde im Vergleich zur Referenzmethode /57/. Die Ergebnisse müssen dementsprechend durch Korrekturfaktoren oder -gleichungen angepasst werden, um eine Gleichwertigkeit mit dem Referenzverfahren nach den Anforderungen der DIN EN 12341 zu erzielen.

Im Rahmen der Erarbeitung einer europäischen Norm zur gravimetrischen Bestimmung der PM_{2,5}-Massenkonzentrationen wurden erste Feldversuche durchgeführt, die zur Zeit ausgewertet werden. Grenzwerte und Referenzverfahren sind bisher noch nicht festgelegt worden. Ein Referenzverfahren wird zur Zeit bei CEN vorbereitet. Bis dieses Referenzverfahren als Europäische Norm vorliegt, hat die EU-Kommission eine Entscheidung /58/ über eine vorläufige Referenzmethode für PM_{2,5}-Messungen veröffentlicht.

4.2.2.4 Messung von Blei

Die 22. BImSchV nennt die folgenden Messvorschriften für die Durchführung ortsfester Messungen:

Referenzmethoden:

Bis zum 31.12.2004 ist für die Probenahme von Blei der Anhang der Richtlinie 82/884/EWG, danach die Norm EN 12341 (oder nachgewiesenen gleichwertige Verfahren) anzuwenden. Die Referenzmethode für die Analyse von Blei ist in der Norm ISO 9855: Luft – Bestimmung des partikelgebundenen Bleianteils in Schwebstaub mittels Filterprobenahme beschrieben.

Probenahmedauer: Ein Tag

Dauer eines Messzeitraums (Auswertzeitraum): Ein Jahr

Messhäufigkeit: Bis zum 31.12.2004: Probenahmen an mindestens 15 Arbeitstagen pro Monat vorzunehmen. Die Probenahmetage sind möglichst gleichmäßig auf den Messzeitraum zu verteilen. Danach können Stichprobenmessungen (gleichmäßig über das Jahr verteilt) anstelle von kontinuierlichen Messungen durchgeführt werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Genauigkeit mit einem Vertrauensbereich von 95 % in Bezug auf kontinuierliche Messungen bei 10 % liegt

4.2.2.5 Messung von Benzol

Mittelungszeitraum: Kalenderjahr

Dauer eines Messzeitraumes (Auswertzeitraum): Kalenderjahr

Messhäufigkeit: kontinuierlich, Stichprobenmessungen (gleichmäßig über das Jahr verteilt) anstelle von kontinuierlichen Messungen können durchgeführt werden, wenn der Nachweis geführt wird, dass die Unsicherheit, einschließlich der Unsicherheit aufgrund der Zufallsproben, das Qualitätsziel von 25 % erreicht.

Das Referenzverfahren (aktive Probenahme auf eine Absorptionskartusche, anschließende gaschromatographische Bestimmung) wird derzeit vom CEN genormt. Solange keine genormte CEN-Methode vorliegt, können die zuständigen Behörden Standardmethoden auf Basis der gleichen Messmethode verwenden.

4.2.2.6 Messung von Kohlenmonoxid

Mittelungszeitraum: 1 Stunde

Dauer eines Messzeitraumes (Auswertzeitraum): gleitender 8-Stunden-Mittelwert

Messhäufigkeit: kontinuierlich; Stichprobenmessungen (gleichmäßig über das Jahr verteilt) anstelle von kontinuierlichen Messungen können durchgeführt werden, wenn der Nachweis geführt wird, dass die Unsicherheit, einschließlich der Unsicherheit aufgrund der Zufallsproben, das Qualitätsziel von 25 % erreicht.

Das Referenzverfahren (nicht dispersive Infrarotspektometrie - NDIR) wird derzeit vom CEN genormt. Solange keine genormte CEN-Methode vorliegt, können die zuständigen Behörden Standardmethoden auf Basis der gleichen Messmethode verwenden.

4.2.3 Dreiundzwanzigste Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz

Die gegen Luftverunreinigungen durch den Kraftverkehr gerichtete 23. BImSchV wird mit Inkrafttreten der 33. BImSchV außer Kraft gesetzt (siehe Kapitel 3.4). Sie enthält folgende Messvorschriften:

Messorte:

Orte mit mutmaßlich höchsten Expositionen für Menschen in Straßen oder Gebieten, in denen mit Überschreitung der Konzentrationswerte für Stickstoffdioxid, Ruß oder Benzol zu rechnen ist.

Messhöhe:

1,5 bis 3,5 m über Boden, Abstand mindestens 1 m von Gebäuden, mindestens (diagonal) 4 m von der nächstgelegenen Fahrspurmitte.

Messzeitraum:

In der Regel ein Jahr, mindestens 6 Monate

Messhäufigkeit:

2 Halbstundenmittelwerte (gleichmäßig über alle Tageszeiten) oder ein 24-Stundenmittelwert pro Woche.

4.2.4 Dreiunddreißigste Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz

Der Entwurf der 33. BImSchV /26/ nennt die folgenden großräumigen Kriterien zur Standortwahl für ortsfeste Immissionsmessungen von Ozon und seinen Vorläuferstoffen, wobei die Messung von kleinräumigen Umweltbedingungen vermieden werden soll:

In städtischen Gebieten sind Messstationen einzurichten, die für einige km² repräsentativ sind und die außerhalb des Einflussbereichs örtlicher Emissionsquellen liegen.

Für weitere Arten von Messstationen werden als Anhaltspunkte umgebende Bereiche von einigen Dutzend km² (vorstädtisch), ein paar 100 km² (ländlich) bzw. 1.000 bis 10.000 km² (ländlicher Hintergrund) angegeben, für die die Probenahmestellen repräsentativ sein sollen.

Die Kriterien zur kleinräumigen Standortbestimmung der 33. BImSchV stimmen weitestgehend mit den entsprechenden Vorgaben der 22. BImSchV überein.

Die Mindestzahlen von Probenahmestellen für ortsfeste kontinuierliche Messungen (sofern diese die einzige Informationsschwelle darstellen) sind in Tabelle 4.3 wiedergegeben. Die Regelung dient der Beurteilung der Luftqualität im Hinblick auf die Einhaltung der Zielwerte, der langfristigen Ziele sowie der Informations- und Alarmschwellen.

Bevölkerung (Tausend)	Ballungsräume (städtische und vorstädtische Gebiete) ^(a)	Sonstige Gebiete (vorstädtische und ländliche Gebiete) ^(b)	Ländlicher Hintergrund
< 250		1	1 Probenahmestelle pro 50 000 km ² als mittlere Dichte über alle Gebiete pro Land ^(b)
< 500	1	2	
< 1000	2	2	
< 1500	3	3	
< 2000	3	4	
< 2750	4	5	
< 3750	5	6	
> 3750	1 zusätzliche Probenahmestelle je 2 Mio. Einwohner	1 zusätzliche Probenahmestelle je 2 Mio. Einwohner	

^(a) Mindestens 1 Probenahmestelle in vorstädtischen Gebieten, in denen die Exposition der Bevölkerung am stärksten sein dürfte. In Ballungsräumen sollten mindestens 50 % der Probenahmestellen in Vorstadtgebieten liegen.

^(b) 1 Probenahmestelle je 25.000 km² in orographisch stark gegliedertem Gelände wird empfohlen.

Tabelle 4.3: Kriterien für die Mindestzahl von ortsfesten Ozonprobenahmestellen

Für Gebiete oder Ballungsräume, in denen die langfristigen Ziele eingehalten werden, sind Regelungen zur Reduzierung von Probenahmestellen auf ein Drittel der obigen Anzahlen in Anlage 5, Teil II getroffen.

Die Messung von Ozonvorläuferstoffen muss mindestens Stickstoffoxide (an mindestens 50 % der Probenahmestellen) und geeignete flüchtige organische Verbindungen (NMVOC) umfassen.

4.2.4.1 Messung von Ozon

Die Richtlinie 92/72/EWG über die Luftverschmutzung durch Ozon /35/ wird mit der Umsetzung der 3. Tochterrichtlinie /21/ durch Einführung der 33. BImSchV außer Kraft gesetzt.

Dann sind voraussichtlich die folgenden Vorgaben zur Messplanung verbindlich:

Mittelungszeitraum: Eine Stunde

Dauer des Bezugszeitraumes: 1 Stunde, 8 Stunden, Kalenderjahr

Messhäufigkeit: Kontinuierliche Messung

Referenzverfahren: Analyseverfahren: UV-Photometrie (ISO FDIS 13964)
Kalibriermethode: Referenz-UV-Photometer (ISO FDIS 13964,
VDI 2468, Bl. 6)

4.2.5 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)

Die novellierte TA Luft /24/ enthält weitgehende Vorschriften für die Planung, Durchführung und Auswertung von Immissionsmessungen. Sie gilt weiterhin für genehmigungsbedürftige Anlagen (s. Kapitel 3.6 und Anhang 1), kann jedoch in Zusammenhang mit der Überprüfung von Pflichten der Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen (§ 22 BImSchG) auch auf solche Anwendung finden.

Die Messvorschriften sind grundsätzlich für die Ermittlung der Immissionen im Einwirkungsbereich von Anlagen vorgesehen. Die Immissionskenngrößen sind nach der novellierten TA Luft nicht mehr *gebietsbezogen*, sondern an Beurteilungspunkten mit der mutmaßlich höchsten Belastung zu ermitteln. Weiterhin sind in der Regel kontinuierliche Messungen vorzunehmen, es sei denn, die Messungen betreffen Luftschadstoffe, für die nur ein Immissionswert für jährliche Einwirkung festgelegt ist oder wenn eine Bestimmung kurzzeitiger Spitzenbelastungen entbehrlich ist.

Aufgrund des großen Ermessensspielraums bei der Festlegung der Beurteilungspunkte, der sich aus den Messvorschriften ergibt, sind die Messungen nach einem mit der zuständigen Behörde abgestimmten Messplan durchzuführen. Anforderungen an die Messplanung unter besonderer Berücksichtigung der Messortauswahl sind in der VDI-Richtlinie 4280, Blatt 3, „Messstrategien zur Ermittlung von Luftqualitätsmerkmalen in der Umgebung ortsfester Quellen“ /56/ beschrieben (siehe Kapitel 4.3).

Die in der TA Luft beschriebenen Planungselemente für Immissionsmessungen sind im folgenden zusammengestellt sowie im Anhang 1 im Text wiedergegeben.

Vorschriften für die Ermittlung der Immissionskenngrößen in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 24.07.2002:

Beurteilungsgebiet

Beurteilungsgebiet ist die Fläche, die sich vollständig innerhalb eines Kreises um den Emissionsschwerpunkt mit einem Radius befindet, der dem 50fachen der tatsächlichen Schornsteinhöhe entspricht und in der die Zusatzbelastung im Aufpunkt mehr als 3,0 vom Hundert des Langzeitkonzentrationswertes beträgt.

Messhöhe:

1,50 - 4 m über Flur; mehr als 1,50 m seitlicher Abstand von Bauwerken. In Waldbeständen können höhere Messpunkte erforderlich werden.

Messzeitraum:

In der Regel 1 Jahr, mindestens 6 Monate.

Beurteilungspunkte:

Zwei (oder mehr) Punkte mit der zu erwartenden höchsten Belastung.

Ein Punkt, wenn nur Jahresmittelwerte zu ermitteln sind.

Messverfahren:

In der Regel kontinuierliche Bestimmung der Vorbelastung. Diskontinuierliche Messungen, wenn nur Immissions-Jahreswerte ermittelt werden müssen.

Hinweis auf Verordnungen oder Verwaltungsvorschriften zum BImSchG, VDI-Richtlinien, DIN-, CEN- oder ISO-Normen, Zulassung anderer, nachgewiesen gleichwertiger Verfahren.

Messhäufigkeit:

Mindestverfügbarkeit 75 % bei kontinuierlicher Messung von Stundenmittelwerten und Ermittlung der Tagesmittelwerte der Schwebstaubbelastung, hochrechnen der Überschreitungshäufigkeit, wenn weniger als 90% der Werte verfügbar sind.

Mindestens 52 Messwerte pro Messpunkt bei diskontinuierlicher Messung bei gleichmäßiger Verteilung der Probenahmezeiten über den Messzeitraum.

Bei nicht ausreichender Datenqualität nach EG-Richtlinien ist die Zahl der Messwerte zu erhöhen (Ermittlung der Datenqualität nach DIN ISO 11222 i.V. mit DIN V ENV 13005).

4.2.6 Vierte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (4. BImSchVwV)

Die Vorgaben der 4. Verwaltungsvorschrift zum BImSchG (Ermittlung von Immissionen in Untersuchungsgebieten) betreffen kontinuierliche Messungen (die für die mit eignungsgeprüften Geräten (s. Kapitel 6.1.1) messbaren Substanzen die Regel sein dürften) und Einzelmessungen.

In Umsetzung der Vorschriften in älteren Richtlinien der Kommission der Europäischen Gemeinschaft /28-30/ in deutsches Recht sollten die Messstellen dort eingerichtet werden, wo Personen einer Gefährdung ausgesetzt sein können, oder Grenzwerte der EG-Richtlinien oder Immissionswerte der TA Luft 86 /51/ möglicherweise annähernd erreicht oder überschritten werden, oder wo sonstige schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen auftreten können.

Der Durchführung der 4. Verwaltungsvorschrift sollen „Richtlinien über die Wahl der Standorte und die Bauausführung automatischer Messstationen in telemetrischen Messnetzen“ dienen, die der Bundesminister des Innern im Gemeinsamen Ministerialblatt veröffentlichte /59/. In diese Richtlinien gingen die im Länderausschuss für Immissionsschutz zusammengetragenen Erfahrungen der Landesinstitute mit dem Betrieb ihrer automatischen Immissionsmessnetze und die Ergebnisse von Forschungsvorhaben ein, die die Firma Dornier System im Auftrag des Bundesministers des Innern und des Umweltbundesamtes durchführte /60/. Diese Richtlinien behandeln:

1. Grundsätze zur Auswahl von Standorten für Immissionsmessungen,
2. Anforderungen an die Bauausführung der Messstationen,
3. Anforderungen an die Bauausführungen der Probenahmesysteme für gasförmige und staubförmige Immissionen; Erfassung meteorologischer Einflussgrößen, und
4. Anforderungen an Schnittstellen zwischen Messgeräten, Datenerfassungseinrichtungen und Datenübermittlungseinrichtungen.

Die 4. BImSchVwV ist formal noch nicht außer Kraft gesetzt, die Messplanung erfolgt mittlerweile anhand von Anforderungen aus aktuellen EU-Richtlinien und der 22. und 33. BImSchV (/25, 26/; siehe auch Kapitel 4.4).

4.3 Emissionsquellenbezogene Messungen

Für emissionsquellenbezogene Messungen gibt es in der Bundesrepublik Deutschland keine allgemeingültige Vorschrift. Im Land Nordrhein-Westfalen waren nach der „Raffinerie-Richtlinie“ /61/ Messungen im Leebereich von Mineralö raffinerien und petrochemischen Anlagen vorgesehen. Diese Richtlinie ist inzwischen - nach der Novelle des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom Mai 1990 - aufgehoben. Neben den Regelungen der TA Luft sind in der VDI-Richtlinie 4280, Blatt 3 „Planung von Immissionsmessungen - Messstrategien für das Ermitteln von Luftqualitätsmerkmalen in der Umgebung ortsfester Emissionsquellen“ /56/ Anforderungen an die Messplanung im Einwirkungsbereich von Anlagen getroffen.

Die Richtlinie beschreibt zwei unterschiedliche Messstrategien:

Die sogenannte „Messstrategie A“ zielt hierbei auf die Ermittlung der jeweils höchsten Jahresmittelwerte der Gesamt- bzw. Zusatzbelastung bei Vorhandensein belastbaren Vorwissens zur Durchführung von Ausbreitungsrechnungen (d.h. bei bekannter räumlicher Struktur der zu überwachenden Luftqualitätsmerkmale) ab. Die Auswahl des Messortes und die Bewertung der räumlichen Übertragbarkeit erfolgt anhand von Ausbreitungsrechnungen, die den Anforderungen der Richtlinien VDI 3782, Blatt 1 (Gauß-Modell) /62/ oder VDI 3945, Blatt 3 (Lagrange-Modell) /63/ genügen.

„Messstrategie B“ eignet sich zur Ermittlung der räumlichen Verteilung von Luftqualitätsmerkmalen im Beurteilungsgebiet mittels zeitlich geschichteter oder zufällig verteilter (diskontinuierlicher) Messungen an mindestens vier gitterförmig anzuordnenden Messorten. Die Auswahl der Messorte bezüglich der „Messstrategie B“ kann zufällig (quadratisches Netz von Messorten, maximaler Abstand der Messorte zwischen 250 m und 2000 m) oder geschichtet (Werkszaunmessungen, quellenorientiertes polares Netz) erfolgen.

In der Richtlinie ist der aktuelle Stand von Messvorschriften bezüglich des Ermittlungsgebietes (TA Luft 02 /24/), des Ermittlungszeitraumes (1. und 2. Tochterrichtlinie /19, 20/) und von Datenqualitätszielen (DIN ISO 11 222 /64/, DIN V ENV 13 005 /65/) berücksichtigt.

4.4 Messnetze in der Bundesrepublik Deutschland

Die Luftüberwachung obliegt in Deutschland den Bundesländern. Fortlaufende Immissionsmessungen werden in jedem Bundesland - zum Teil schon seit Jahrzehnten - vorgenommen. Der Aufbau von Messnetzen wurde verschiedentlich in der Fachliteratur beschrieben, so für Berlin /66/, Nordrhein-Westfalen /67, 68/, Rheinland-Pfalz /69/ und das Saarland /70/, oder in Informationsschriften der zuständigen Ministerien oder Institute dargestellt, so in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt. Der Umfang der fortlaufenden Messungen kann auch den Messberichten der Bundesländer (s. Kapitel 5.4) entnommen werden.

Die Messnetze wurden im Verlauf der Jahre verschiedentlich verändert. Gründe für Erweiterungen waren z.B. Smog-Verordnungen, kraftverkehrsbezogene Messungen zur Durchführung der 23. BImSchV /27/ und eine verstärkte Bedeutung von Ozon als Luftverunreinigung im Sommer. Reduzierungen der Anzahl von Messstationen waren mit dem Rückgang von Immissionen /29/, insbesondere von Schwefeldioxid - z.B. im Rhein-Ruhr-Gebiet von einem Gesamtjahresmittel von $206 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 1964 auf $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 1994 /71/ -, und der Aufhebung von Smog-Verordnungen (s. Kapitel 3.8) begründet. Neuere und zukünftige Veränderungen ergeben sich u.a. aus den Erfordernissen der EU-Tochterraichtlinien /19-21/ bzw. der 22. und 33. BImSchV /25, 26/ bezüglich der Anzahl von Probenahmestellen und der anzuwendenden Messverfahren (insbesondere der PM_{10} -Immissionsmessung) sowie der zu erreichenden Datenqualitätsziele, und dem Außerkrafttreten der 23. BImSchV /27/.

Die Messaktivitäten (Immissionsmessstationen) der Bundesländer (mit automatischen Geräten, Stand 01.01.2003) und des Umweltbundesamtes (Stand: 06.08.2002) sind in den Tabelle 4.4 und 4.5 zusammengestellt. Diese Informationen werden von den einzelnen Bundesländern und vom UBA regelmäßig aktualisiert und sind unter folgender Internet-Adresse zugänglich:

<http://www.env-it.de/stationen/dispatcher?event=WELCOME>

Tabelle 4.4: Immissionsmessstationen der Bundesländer (Stand: 1. Januar 2003)

Bundesland	gesamt	SO ₂	NO ₂ /NO	CO	C _m H _n (NMVOC)	Benzol	Toluol	Xylol	Ozon	Schweb- staub	PM ₁₀	H ₂ S
Baden-Württemberg	64	58	64	64	39	62	62	62	61	2	64	-
Bayern	64	62	51	46	1	7	7	7	30	-	57	8
Berlin	23	11	22	21	-	6	6	6	11	11	15	-
Brandenburg	33	18	27	12	1	6	6	6	24	18	24	3
Bremen	7	5	7	5	-	1	-	-	5	1	5	-
Hamburg	20	15	19	9	-	7	7	7	7	6	11	-
Hessen	42	32	36	18	4	6	6	6	34	1	28	-
Mecklenburg-Vorpommern	9	9	9	6	-	5	4	-	9	-	9	-
Niedersachsen	23	12	23	11	-	2	2	2	21	-	23	-
Nordrhein-Westfalen	63	58	59	41	-	4	4	4	38	52	60	-
Rheinland-Pfalz	35	20	31	18	-	10	10	3	19	1	26	-
Saarland	11	8	8	5	-	-	-	-	6	-	6	-
Sachsen	26	26	25	17	-	17	16	16	26	19	24	-
Sachsen-Anhalt	32	29	33	28	-	11	11	11	26	10	24	2
Schleswig-Holstein	17	6	10	3	-	4	4	4	12	-	10	-
Thüringen	30	26	31	9	-	3	3	-	26	5	29	-
Summe	499	395	454	313	45	151	148	134	355	126	415	13

Tabelle 4.5: Immissionsmessstationen des Umweltbundesamtes (Stand: 6. August 2002)

Station	Bestimmungen von Gasen											Bestimmungen im Schwebstaub					Meteo- rologie	Bestimmungen im Niederschlag				Strah- lung	
	SO ₂	NO _x	O ₃	CO ₂	CH ₄	SF ₆ N ₂ O	PAN	Hg	KW FCKW	VOC	Carbo- nyle	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₄	Σ N	SM		Men- ge	PH LF	Ion- en	SM	UV	G
Aukrug	R	R	R									R					R						
Bassum	R	R	R									R					R						
Brotjacklriegel	R	R	R	R						3T	2T	R				M	R	W	W	W	W		
Deuselbach	R	R	R	R	R				T			R	T	T	T	M	R	T	T	T	W		
Falkenberg	R	R	R									R					R	W	W	W			
Forellenbach	R	R	R									R					R	W	W	W			R
Gittrup	R	R	R									R					R						
Helgoland	R	R	R									R					R	W	W	W			
Langen																							R
Lehnmühle	R	R	R									R					R	W	W	W			
Leinefelde	R	R	R									T					R						
Lückendorf	R	R	R									R					R						
Melpitz	R	R	R									R					R	W	W	W			
Neuglobsow	R	R	R	R	R							R		T	T	M	R	W	W	W	W		
Öhringen	R	R	R									R					R	W	W	W			
Raisting	R	R	R									R					R	W	W	W			
Regnitzlosau	R	R	R									R					R	W	W	W			

Tabelle 4.5 (forts.): Immissionsmessstationen des Umweltbundesamtes (Stand: 6. August 2002)

Station	Bestimmungen von Gasen											Bestimmungen im Schwebstaub					Meteo- rologie	Bestimmungen im Niederschlag				Strah- lung	
	SO ₂	NO _x	O ₃	CO ₂	CH ₄	SF ₆ N ₂ O	PAN	Hg	KW FCKW	VOC	Carbo- nyle	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₄	Σ N	SM		R	Men- ge	PH LF	Ion- en	SM	UV
Schauinsland	R	R	R	R	R	R	R		T			R	T	T	T	M	R	W	W	W	W	R	R
Schmücke	R	R	R	R	R					3T	2T	R				M	R	W	W	W	W		
Schorfheide	R	R	R									R					R						
Ueckermünde	R	R	R									R					R						
Waldhof	R	R	R	R			R	R		3T	2T	R	T			M	R	T	T	T	W		
Westerland	R	R	R	R								T		T	T	M	R	W	W	W	W		
Zingst	R	R	R	R	R		R	R		3T	2T	R		T	T	M	R	W	W	W	W	R	R
Zugspitze	R	R	R	R	R	R	R		T	3T	2T	R					R	P	P	P	P	R	R

SO₂: Schwefeldioxid
 NO_x: Stickoxide (NO, NO₂, NO_x)
 O₃: Ozon
 CO₂: Kohlendioxid
 CH₄: Methan
 SF₆: Schwefelhexafluorid
 N₂O: Distickstoffoxid
 PAN: Peroxiacetylnitrat

Hg: Quecksilber
 KW: Kohlenwasserstoffe
 FCKW: Fluorchlorkohlenwasserstoffe
 VOC: Flüchtige organische
 Kohlenwasserstoffe
 PM₁₀: Staubteilchen < 10 µm
 PM_{2,5}: Staubteilchen < 2,5 µm
 SO₄: Sulfat

Σ N: Σ NH₃+NH₄⁺, Σ HNO₃+NO₃
 SM: Schwermetalle
 Meteorologie: Windricht./-geschw., Temp.,
 Luftdruck, rel. Feuchte
 pH/LF: pH-Wert, Leitfähigkeit
 Ionen: SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, K⁺, NH₄⁺,
 Mg²⁺, Ca²⁺
 UV: UV-B-Strahlung

G: Globalstrahlung
 R: kontinuierlich re-
 gistrierendes Gerät
 T/W/M: Tages-/Wochen-/
 Monatsproben
 P: geplante Messung
 2T: 8h-Messg. alle 2 d
 3T: 1 Probe alle 3 d

5. Auswertung, Beurteilung und Dokumentation

5.1 Kenngrößen zur Beurteilung von Immissionen

Zur Bewertung von Immissionen dienen Kenngrößen für *mittlere* und für *maximale* Belastungen der atmosphärischen Luft. Sie werden aus den Einzelwerten von Immissionsmessungen berechnet, die in der Regel seit Einführung der zweiten Generation von EU-Richtlinien /19-21/ Stunden-, 8-Stunden-, Tages- und Jahresmittelwerte sind (s. Kapitel 4.1.3). Die in der Bundesrepublik Deutschland zur Beurteilung von Immissionen nach verschiedenen Vorschriften herangezogenen Kenngrößen sind in der Tabelle 5.1 zusammenfassend dargestellt. Dort sind neben den Immissionsbegrenzungen in der TA Luft /24/, in der 4. Verwaltungsvorschrift /33/, der 22. und der 33. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz /25, 26/, und in Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft /19-21, 28-30/ auch die Maximalen Immissionskonzentrationen zum Schutze des Menschen der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft charakterisiert.

Mittelwerte	TA Luft	4. VwV	22. BImSchV	33. BImSchV	EU-Richtlinien	VDI-MIK-Werte
½-Stunde						X
1 Stunde	X	X	X	X	X	
8 Stunden		X	X	X	X	
24 Stunden (Tag)	X	X	X		X	X
Monat		X				
Jahr	X	X	X		X	X
Überschreitungshäufigkeit	X		X		X	
AOT				X	X	
95-Perzentile			X		X	
98-Perzentile		X	X		X	
Mediane		X	X		X	

Tabelle 5.1: In Deutschland verwendete Kenngrößen zur Bewertung von Immissionen

Die Maximalen Immissionskonzentrationen (MIK-Werte) der Kommission Reinhaltung der Luft beim Verein Deutscher Ingenieure /5/ sind zwar nicht Inhalt von staatlichen Vorschriften; die ausdrücklich auf Wirkungen auf die menschliche Gesundheit bezogenen MIK-Werte wurden jedoch oft – z.B. in Messberichten von Länderinstituten - zur Bewertung der Ergebnisse von Immissionsmessungen herangezogen. In den letzten Jahren ist die Mehrzahl der maximale Immissionswerte zum Schutze des Menschen betreffenden Blätter der VDI-Richtlinienreihe 2310 zurückgezogen worden.

Substanz	Mittelwert über		
	½ Stunde	24 h	1 Jahr
Stickstoffdioxid	0,2	0,1	-
Ozon	0,120		

Tabelle 5.2: Maximale Immissions-Konzentrationen (MIK-Werte) zum Schutz des Menschen der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN

Damit hat der vormals in der Bundesrepublik übliche 30-Minuten-Mittelwert zur Beurteilung von Immissionen von Gasen kaum noch Bedeutung.

An die Stelle der Bewertung von Spitzenbelastungen anhand von Perzentilen ist die Zuordnung von zulässigen Überschreitungen pro (Kalender-) Jahr für Stunden- und Tagesmittelwerte getreten. Die in die 22. BImSchV übernommenen 95- und 98-Perzentile stammen aus übergangsweise fortgeltenden älteren EU-Richtlinien /28, 29/.

5.2 Technische Durchführung von Auswertungen

Die Auswertungsmethoden sind naturgemäß für diskontinuierliche und kontinuierliche Immissionsmessverfahren sehr unterschiedlich. Die relativ wenigen Daten, die bei diskontinuierlichen Messungen in der Regel manuell gewonnen werden, können manuell und unter Zuhilfenahme einfacher Rechenanlagen verarbeitet werden.

Die großen Datenzahlen von kontinuierlichen Immissionsmessungen sind bei ihrer Gewinnung mit automatischen Geräten einer anschließenden automatischen Auswertung zugänglich.

Die einfachste (und älteste) Datenerfassung bei kontinuierlichen Messungen ist die Registrierung durch einen an das Gerät geschalteten Punkt- oder Linienschreiber. Sie ist zur Geräte-Kontrolle bei Wartungsarbeiten auch derzeit noch zweckmäßig, während heute eine digitale Messwertverarbeitung bei automatischen Messgeräten üblich ist.

Bei telemetrischen Messnetzen werden die analogen Messsignale integriert und nach Digitalisierung einem Prozessrechner zugeleitet. Üblicherweise erfolgt diese Eingabe über ISDN-Leitungen in eine zentrale Datenverarbeitungsanlage /72-76/.

Messwerte oder Zwischenauswertungen können fernübertragen und praktisch an beliebigen Orten in beliebiger Größe als Zahlenwerte angegeben werden.

5.3 Vorschriften zur Auswertung von Immissionsmessungen

5.3.1 Richtlinien der Kommission der Europäischen Gemeinschaften

Konkrete Vorschriften zur Auswertung von Immissionsmessungen sind in den Tochterrichtlinien /19-21/ zur Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie /18/ enthalten. Neben den Regelungen dieser zweiten Generation von EU-Richtlinien zur Luftqualität haben Vorschriften aus älteren EU-Richtlinien /28-30/ übergangsweise Bestand. Die aktuell anzuwendenden Vorgehensweisen sind weitestgehend in die 22. und 33. BImSchV /25, 26/ übernommen worden (siehe 5.3.2 und 5.3.4) und gingen auch in die Regelungen der novellierten TA Luft /24/ (siehe 5.3.5) ein.

Für Partikel (PM₁₀) enthält die erste Tochterrichtlinie Immissionswerte, die nach einem 2-Stufen-Plan einzuhalten sind. Die Grenzwerte der ersten Stufe sind ab dem 01.01.2005 einzuhalten.

Die Richtgrenzwerte der zweiten Stufe, die vorbehaltlich einer Überprüfung aufgrund der in den Mitgliedstaaten gemachten Erfahrungen bis 2005 ab dem 01.01.2010 zu erreichen sind, wurden nicht in die 22. BImSchV übernommen.

Schadstoff Schutzgut	Zeitraum	Immissions- grenzwert	Bezug	Überschreitungs- häufigkeit pro Jahr	Toleranzmarge
[-]	[TT.MM.JJ]	[µg/m ³]	[-]	[-]	[%]
Partikel (PM₁₀) Menschliche Gesundheit	ab 01.01.10	50	gemittelt über 24 Stunden	7	aus bis 2005 gewonnen Daten abzuleiten
		20	gemittelt über ein Kalenderjahr	-	50 am 01.01.05, lineare jährliche Reduktion bis 01.01.10

Tabelle 5.3: Richtgrenzwerte für Schwebstaub und Partikel (PM₁₀)

5.3.2 22. BImSchV

Zur Bewertung von Immissionen enthält die 22. BImSchV die folgenden Kenngrößen:

- Grenzwerte und Immissionsgrenzwerte mit den dazugehörigen Toleranzmargen
- Beurteilungsschwellen
- Alarmschwellen
- Schwellenwerte für Ozon (werden durch 33. BImSchV aufgehoben)
- Datenqualitätsziele

5.3.2.1 Grenzwerte und Immissionsgrenzwerte

Die Grenzwerte und Immissionsgrenzwerte der 22. BImSchV basieren auf den übergangsweise fortgeltenden Anforderungen älterer EU-Richtlinien /28-30/ und der 1. und 2. Tochterrichtlinie /19, 20/. Die Immissionsgrenzwerte beziehen sich auf den Normzustand bei einer Temperatur von 293 K und einem Druck von 101,3 kPa.

In der ersten und zweiten Tochterrichtlinie sind die Toleranzmargen in Prozenten vom Grenzwert angegeben. Die Übernahme in die 22. BImSchV erfolgte unter Umrechnung in Massenkonzentrationen.

Die Toleranzmargen für die genannten Schadstoffe beziehen sich auf den Zeitraum vom Inkrafttreten der Verordnung (12. September 2002) bis zum 31.12.2002. Ab dem 01.01.2003 reduziert sich die Toleranzmarge jährlich stufenweise um denselben Betrag bis zu dem Zeitpunkt, an dem der Grenzwert ohne Toleranzmarge erreicht werden muss. Für Benzol setzt die Reduktion der Toleranzmarge erst ab dem 01.01.2006 ein (vgl. Tabelle 5.8).

Zur Bewertung von Spitzenbelastungen sind den Immissionsgrenzwerten für Schwefeldioxid (Tages- und Stundenwert), Stickstoffdioxid (Stundenwert) und Partikel (24-Stundenwert) zulässige Überschreitungshäufigkeiten pro Kalenderjahr zugeordnet, was für SO₂ und NO₂ sehr hohen Perzentilen entspricht.

Die Bewertung von Spitzenbelastungen anhand von 98-Perzentilen (Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid) und 95-Perzentilen (Schwebstaub) bis zum 31.12.2004 stammt aus den o. g. älteren EU-Richtlinien /28-30/.

Für die jeweiligen Schadstoffe sind die Immissionskenngrößen wie folgt angegeben:

Schadstoff Schutzgut	Zeitraum	Immissions- grenzwert	Bezug	Zulässige Überschreitungs- häufigkeit pro Jahr	Toleranz- marge
[-]	[TT.MM.JJ]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[-]	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Schwefeldioxid	bis 31.12.04	80 bei einem zugeordneten Schwebstaubwert >150	Median der während eines Jahres gemessenen Tagesmittel- werte	-	-
		120 bei einem zugeordneten Schwebstaubwert ≤ 150	Median der während eines Jahres gemessenen Tagesmittel- werte	-	-
		130 bei einem zugeordneten Schwebstaubwert > 200	Median der im Winter gemessenen Tagesmittelwerte	-	-
		180 bei einem zugeordneten Schwebstaubwert ≤ 200	Median der im Winter gemessenen Tagesmittelwerte	-	-
		250 bei einem zugeordneten Schwebstaubwert > 350	98-Perzentil aller während eines Jahres gemessenen Tagesmittelwerte	-	-
		350 bei einem zugeordneten Schwebstaubwert ≤ 350	98-Perzentil aller während eines Jahres gemessenen Tagesmittelwerte	-	-
		Schwefeldioxid Menschliche Gesundheit	ab 01.01.05	350	gemittelt über eine volle Stunde
125	gemittelt von 0.00 bis 24.00 Uhr			3	-
Schwefeldioxid Ökosysteme	ab 12.09.02	20	Kalenderjahr und Winterhalbjahr	-	-

⁽¹⁾ gilt ab dem 12.09.2002, vermindert sich ab dem 01.01.2003 bis zum 01.01.2005 stufenweise um jährlich 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabelle 5.4: Grenzwerte und Immissionsgrenzwerte für Schwefeldioxid

Schadstoff Schutzgut	Zeitraum	Immissions- grenzwert	Bezug	Zulässige Überschreitungs- häufigkeit pro Jahr	Toleranz- marge
[-]	[TT.MM.JJ]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[-]	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Stickstoffdioxid	bis 31.12.09	200	98-Perzentil der während eines Jahres gemessenen Mittelwerte über 1 Stunde oder kürzer	-	-
Stickstoffdioxid Menschliche Gesundheit	ab 01.01.10	200	gemittelt über eine volle Stunde	18	80 ⁽¹⁾
		40	gemittelt über ein Kalenderjahr	-	16 ⁽²⁾
Stickstoffoxide Vegetation	ab 12.09.02	30	gemittelt über ein Kalenderjahr	-	-

⁽¹⁾ gilt ab dem 12.09.2002, vermindert sich ab dem 01.01.2003 bis zum 01.01.2010 stufenweise um jährlich 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

⁽²⁾ gilt ab dem 12.09.2002, vermindert sich ab dem 01.01.2003 bis zum 01.01.2010 stufenweise um jährlich 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabelle 5.5: Immissionsgrenzwerte für Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide

Schadstoff Schutzgut	Zeitraum	Immissions- grenzwert	Bezug	Zulässige Überschreitungs- häufigkeit pro Jahr	Toleranz- marge
[-]	[TT.MM.JJ]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[-]	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Schwebstaub	bis 31.12.04	150	Arithmetisches Mittel aller wäh- rend eines Jahres gemessenen Tagesmittelwerte	-	-
		300	95-Perzentil aller während eines Jahres gemessenen Tagesmittelwerte	-	-
Partikel (PM₁₀) Menschliche Gesundheit	ab 01.01.05	50	gemittelt über 24 Stunden	35	15 ⁽¹⁾
		40	gemittelt über ein Kalenderjahr	-	4,8 ⁽²⁾

⁽¹⁾ gilt ab dem 12.09.2002, vermindert sich ab dem 01.01.2003 bis zum 01.01.2005 stufenweise um jährlich 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

⁽²⁾ gilt ab dem 12.09.2002, vermindert sich ab dem 01.01.2003 bis zum 01.01.2005 stufenweise um jährlich 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabelle 5.6: Immissionsgrenzwerte für Schwebstaub und Partikel (PM₁₀)

Schadstoff Schutzgut	Zeitraum	Immissions- grenzwert	Bezug	Zulässige Überschreitungs- häufigkeit pro Jahr	Toleranz- marge
[-]	[TT.MM.JJ]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[-]	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Blei	bis 31.12.04	2	Jahresmittelwert	-	-
Blei Menschliche Gesundheit	ab 01.01.05	0,5	gemittelt über ein Kalenderjahr	-	0,3 ⁽²⁾
Blei	ab 01.01.10	0,5 ⁽¹⁾	gemittelt über ein Kalenderjahr	-	0,04 ⁽³⁾

⁽¹⁾ In der Nähe bestimmter durch jahrzehntelange industrielle Tätigkeit belastete Standorte, ab 01.01.2005 beträgt der Immissionswert $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Einzelheiten siehe § 5 der 22. BImSchV

⁽²⁾ gilt ab dem 12.09.2002, vermindert sich ab dem 01.01.2003 bis zum 01.01.2005 stufenweise um jährlich $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

⁽³⁾ gilt ab dem 12.09.2002, vermindert sich ab dem 01.01.2003 bis zum 01.01.2010 stufenweise um jährlich $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabelle 5.7: Immissionsgrenzwerte für Blei

Schadstoff Schutzgut	Zeitraum	Immissions- grenzwert	Bezug	Zulässige Überschreitungs- häufigkeit pro Jahr	Toleranz- marge
[-]	[TT.MM.JJ]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[-]	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Benzol Menschliche Gesundheit	ab 01.01.10 ⁽¹⁾	5	gemittelt über ein Kalenderjahr	-	5 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Fristverlängerung um max. 5 Jahre möglich, Einzelheiten siehe § 6 der 22. BImSchV

⁽²⁾ Reduktion der Toleranzmarge um jährlich $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab 01.01.2006 bis 01.01.2010

Tabelle 5.8: Immissionsgrenzwerte für Benzol

Schadstoff Schutzgut	Zeitraum	Immissions- grenzwert	Bezug	Zulässige Überschreitungs- häufigkeit pro Jahr	Toleranz- marge
[-]	[TT.MM.JJ]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[-]	[-]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Kohlenmonoxid Menschliche Gesundheit	ab 01.01.05	10	höchster 8- Stunden- Mittelwert ⁽¹⁾	-	6 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Gleitender 8-Stunden-Mittelwert, berechnet aus stündlich aktualisierten 1-Stunden-Mittelwerten

⁽²⁾ gilt ab dem 12.09.2002, vermindert sich ab dem 01.01.2003 bis zum 01.01.2005 stufenweise um jährlich $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabelle 5.9: Immissionsgrenzwerte für Kohlenmonoxid

5.3.2.2 Alarmschwellen

Bei der Überschreitung der Alarmschwellen müssen die Mitgliedstaaten umgehend Maßnahmen (z.B. aktuelle Warnungen, Verhaltensregeln für Risikogruppen, Aktionspläne mit Kurzfristmaßnahmen) ergreifen.

Die Alarmschwellen betragen für Stickstoffdioxid 400 µg/m³, für Schwefeldioxid 500 µg/m³, jeweils gemittelt über eine volle Stunde, gemessen an drei aufeinanderfolgenden Stunden.

5.3.2.3 Beurteilungsschwellen

Anhand von Beurteilungsschwellen richtet sich die Immissionsüberwachung in Gebieten und Ballungsräumen aus (vgl. Kapitel 4.2.1 und 4.2.2). Eine Auflistung findet sich in Tabelle 4.1.

5.3.2.4 Datenqualitätsziele

Die als Richtschnur für Qualitätssicherungsprogramme in der 22. BImSchV genannten Datenqualitätsziele beziehen sich auf die erforderliche Genauigkeit der Beurteilungsmethoden (Messungen, Modellberechnungen, objektive Schätzung, s. Kapitel 4.2.1), die Mindestdatenerfassung und die Mindestzeitdauer der Probenahme. Sie sind für die Durchführung von ortsfesten Messungen in Tabelle 5.10 aufgelistet.

	Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide	Partikel und Blei	Benzol	Kohlenmonoxid
Kontinuierliche Messung ¹⁾				
Genauigkeit/Unsicherheit ²⁾	15 %	25 %	25 %	15 %
Mindestdatenerfassung	90%	90 %	90%	90 %
Orientierende Messung				
Genauigkeit/Unsicherheit ²⁾	25 %	50 %	25 %	15 %
Mindestdatenerfassung	90 %	90 %	90 %	90 %
Mindestzeitdauer ³⁾	14 %	14 %	14 %	14 %

¹⁾ Stichprobenmessungen (gleichmäßig über das Jahr verteilt) anstelle von kontinuierlichen Messungen können durchgeführt werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Genauigkeit mit einem Vertrauensbereich (systematische Abweichung + zweimalige Standardabweichung) von 95 % in Bezug auf kontinuierliche Messungen bei 10 % liegt.

²⁾ Genauigkeit (Spalte 2 und 3) definiert in ISO 5725-1 /77/, Unsicherheit (Spalte 4 und 5) definiert in ISO 1993 /78/

³⁾ eine Messung wöchentlich nach dem Zufallsprinzip gleichmäßig über das Jahr verteilt oder acht Wochen gleichmäßig über das Jahr verteilt

Tabelle 5.10: Datenqualitätsziele bei der Durchführung ortsfester Messungen

5.3.3 23. BImSchV

Die 23. BImSchV /27/ legt Konzentrationswerte fest, bei deren Überschreitung Minderungsmaßnahmen zu prüfen sind. Sie wird mit Inkrafttreten der 33. BImSchV /26/ außer Kraft gesetzt.

Es werden die folgenden Konzentrationswerte genannt:

Stickstoffdioxid:	160 µg/m ³ (98-Prozent-Wert aller Halbstundenmittelwerte eines Jahres)
Ruß:	14 µg/m ³ ab 1. Juli 1995 (arithmetischer Jahresmittelwert) 8 µg/m ³ ab 1. Juli 1998 (arithmetischer Jahresmittelwert)
Benzol:	15 µg/m ³ ab 1. Juli 1995 (arithmetischer Jahresmittelwert) 10 µg/m ³ ab 1. Juli 1998 (arithmetischer Jahresmittelwert)

5.3.4 33. BImSchV

Zur Bewertung von Immissionen von bodennahem Ozon enthält die 33. BImSchV /26/ die folgenden Kenngrößen:

- Immissionswerte
- Zielwerte und langfristige Ziele
- Informations- und Alarmschwellen
- Datenqualitätsziele

5.3.4.1 Immissionswerte, Zielwerte und langfristige Ziele, Informations- und Alarmschwellen

Die Immissionswerte sind als 1-Stunden-Mittelwerte, 8- Stunden-Mittelwerte während eines Tages oder als AOT40 (Schutz der Vegetation) für den Zeitraum Mai – Juli, gemittelt über 5 Jahre angegeben. Der AOT40-Wert (AOT=“accumulation over threshold“) berücksichtigt neben der Konzentration auch die Dauer der Belastung. Er entspricht der über einen vorgegebenen Zeitraum summierten Differenz zwischen Ozonkonzentrationen über 80 Mikrogramm · Stunden per Kubikmeter und unter 80 Mikrogramm · Stunden per Kubikmeter. Zur Bildung des AOT40-Wertes werden ausschließlich die täglichen 1-Stunden-Mittelwerte zwischen 8.00 und 20.00 Uhr mitteleuropäischer Zeit (MEZ) verwendet.

Immissionswert für bodennahes Ozon Schutzgut	Zeitraum	Immissionswert	Bezug	Zulässige Überschreitungshäufigkeit
Zielwert Menschliche Gesundheit	ab 01.01.10	120 µg/m ³	Höchster 8-Stundenmittelwert während eines Tages	25 pro Kalenderjahr, gemittelt über drei Jahre
Zielwert Vegetation	ab 2010	18 · 10 ³ µg·h/m ³	AOT für den Zeitraum Mai – Juli, gemittelt über 5 Jahre	-
Langfristiges Ziel Menschliche Gesundheit	-	120 µg/m ³	Höchster 8-Stundenmittelwert während eines Tages	-
Langfristiges Ziel Vegetation	-	6 · 10 ³ µg·h/m ³	AOT für den Zeitraum Mai – Juli, gemittelt über 5 Jahre	-
Informationsschwelle	ab Inkrafttreten	180	1-Stunden-Mittelwert	-
Alarmschwelle	ab Inkrafttreten	240	1-Stunden-Mittelwert	-

Tabelle 5.11: Immissionswerte für bodennahes Ozon

5.3.4.2 Datenqualitätsziele

Die Datenqualitätsziele für Messungen von bodennahem Ozon und seinen Vorläuferstoffen sind wie folgt angegeben:

	Für Ozon, NO und NO ₂
Kontinuierliche ortsfeste Messung	
Unsicherheit der einzelnen Messung ¹⁾	15 %
Mindestdatenerfassung	Sommer: 90%, Winter 75 %
Orientierende Messung	
Unsicherheit der einzelnen Messungen ¹⁾	30 %
Mindestdatenerfassung	90 %
Mindestzeitdauer	> 10 % im Sommer

¹⁾ Unsicherheit nach den Grundsätzen des ISO-Leitfadens zur Unsicherheit beim Messen /78/ oder ISO 5725-1 /77/ oder gleichwertige Methodik

Tabelle 5.12: Datenqualitätsziele bei der Durchführung von Messungen

5.3.5 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft

Im Vergleich zur TA Luft 1986 /50/ sind die Immissionskenngrößen entsprechend den Vorgaben der aktuellen EU-Richtlinien verändert worden. Sie sind in der neuen TA Luft wie folgt festgelegt:

– Immissionskenngrößen

Der **Immissions-Jahreswert** ist der Konzentrations- oder Depositionswert eines Stoffes gemittelt über ein Kalenderjahr.

Der **Immissions-Tageswert** ist der Konzentrationswert eines Stoffes gemittelt über einen Kalendertag mit der zugehörigen zulässigen Überschreitungshäufigkeit (Anzahl der Tage) während eines Kalenderjahres.

Der **Immissions-Stundenwert** ist der Konzentrationswert eines Stoffes gemittelt über eine volle Stunde (z.B. 8.00 bis 9.00 Uhr) mit der zugehörigen zulässigen Überschreitungshäufigkeit (Anzahl der Stunden) während eines Kalenderjahres.

Die Immissionen werden als Masse der luftverunreinigenden Stoffe bezogen auf das Volumen der verunreinigten Luft (bei gasförmigen Stoffen bezogen auf 293,15 K und 101,3 kPa) bzw. als Deposition (Ablagerung fester, flüssiger und gasförmiger Luftverunreinigungen durch die Schwerkraft auf einer definierten Fläche in einer definierten Zeit) angegeben.

Die Immissionswerte der TA Luft sind in Tabelle 5.13 zusammengestellt.

a) Immissionswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit			
Schadstoff	Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Mittelungszeitraum	zulässige Überschreitungshäufigkeit pro Jahr
Schwefeldioxid	50	Jahr	-
	125	24 h	3
	350	1 h	24
Stickstoffdioxid	40	Jahr	-
	200	1 h	18
Benzol	5	Jahr	-
Tetrachlorethen	10	Jahr	-
Schwebstaub (PM_{10})	40	Jahr	-
	50	24 h	35
Blei und seine anorganischen Verbindungen im Schwebstaub (PM_{10}), angegeben als Blei	0,5	Jahr	-
b) Immissionswerte zum Schutz vor erheblichen Nachteilen oder Belästigungen durch Staubbiederschlag			
Schadstoff	Deposition [$\text{g}/\text{m}^2\text{d}$]		Mittelungszeitraum
Staubbiederschlag (nicht gefährdender Staub)	0,35		Jahr
c) Immissionswerte zum Schutz von Ökosystemen und der Vegetation			
Schadstoff	Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Mittelungszeitraum	
Schwefeldioxid	20	Jahr und Winter	
Stickstoffoxide, angegeben als Stickstoffdioxid	30	Jahr	
d) Immissionswert für Fluorwasserstoff zum Schutz vor erheblichen Nachteilen			
Schadstoff	Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^2$]	Mittelungszeitraum	
Fluorwasserstoff und gasförmige anorganische Fluorverbindungen, angegeben als Fluor	0,4	Jahr	
e) Immissionswerte zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Schadstoffdepositionen			
Schadstoff	Deposition [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$]	Mittelungszeitraum	
Arsen und seine anorganischen Verbindungen	4	Jahr	
Blei und seine anorganischen Verbindungen	100	Jahr	
Cadmium und seine anorganischen Verbindungen	2	Jahr	
Nickel und seine anorganischen Verbindungen	15	Jahr	
Quecksilber und seine anorganischen Verbindungen	1	Jahr	
Thallium und seine anorganischen Verbindungen	2	Jahr	

Tabelle 5.13: Immissionswerte der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft /24/ fordert zur Auswertung von Immissionsmessungen zum Vergleich mit den Immissionswerten die Bildung der Kenngrößen Immissions-Jahreswert, Immissions-Tageswert und Immissions-Stundenwert (bzw. IJV, ITV und ISV als Kenngrößen der gemessenen „Vorbelastung“ und der im Genehmigungsverfahren durch eine Ausbreitungsrechnung ermittelten „Zusatzbelastung“ IJZ, ITZ und ISZ durch eine neue Anlage).

Die Ermittlung der Gesamtbelastung im Überwachungsverfahren erfolgt analog zur Ermittlung der Vorbelastung im Genehmigungsverfahren.

Die Immissionswerte sind eingehalten, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

Immissionsjahreswert (IJ):

Der Immissionsjahreswert ist eingehalten, wenn die Summe aus Vorbelastung und Zusatzbelastung für den jeweiligen Schadstoff kleiner oder gleich dem Immissionsjahreswert sind.

$$IJV + IJZ \leq IJ$$

Immissionstageswert:

Der Immissions-Tageswert ist auf jeden Fall eingehalten, wenn die folgenden Bedingungen additiv erfüllt sind:

- $IJV \leq 0,9 IJ$
- $ITV \leq 0,8 IT$
- $ITZ \leq IT$

Im Übrigen ist der Immissions-Tageswert eingehalten, wenn die Gesamtbelastung - ermittelt durch Addition der Zusatzbelastung für das Jahr zu den Vorbelastungskonzentrationswerten für den Tag - an den jeweiligen Beurteilungspunkten kleiner oder gleich dem Immissionskonzentrationswert für 24 Stunden ist oder eine Auswertung ergibt, dass die zulässige Überschreitungshäufigkeit eingehalten ist.

Immissionsstundenwert

Der Immissions-Stundenwert ist auf jeden Fall eingehalten, wenn die folgenden Bedingungen additiv erfüllt sind:

- $IJV \leq 0,9 IJ$
- Überschreitungshäufigkeit (ISV) $\leq 0,8$ zulässige Überschreitungshäufigkeit (IS)
- $ISZ \leq IS - IJ$

Im Übrigen ist der Immissions-Stundenwert eingehalten, wenn die Gesamtbelastung – ermittelt durch Addition der Zusatzbelastung für das Jahr zu den Vorbelastungskonzentrationswerten für die Stunde – an den jeweiligen Beurteilungspunkten kleiner oder gleich dem Immissionskonzentrationswert für 1 Stunde ist oder eine Auswertung ergibt, dass die zulässige Überschreitungshäufigkeit eingehalten ist.

Die Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Immissionsdaten aus diskontinuierlichen Messungen nach den Vorschriften der TA Luft, insbesondere auch für Luftreinhaltepläne, wird aufgrund umfangreichen Datenmaterials aus Nordrhein-Westfalen in einem Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz in Essen beschrieben /79/.

5.3.6 Vierte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (4. BImSchVwV)

Die nach der 4. Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (s. Kapitel 3.7 und 4.2.6) - vorzunehmenden Auswertungen sind weitgehend auf Bestimmungen in älteren Richtlinien der Kommission der Europäischen Gemeinschaften /28-30/ und in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft 86 /51/ bezogen. Es sind folgende Kenngrößen zu ermitteln:

Tagesmittelwerte	für gasförmige Luftverunreinigungen
arithmetische Mittelwerte für Monate und Kalenderjahr	für gasförmige Luftverunreinigungen, für Ruß in der Luft, für Schwebstaub und für die Inhaltsstoffe im Schwebstaub
Höchstwerte, Mediane und 98%-Werte der Stunden- und Achtstundenmittelwerte für das Kalenderjahr	für Ozon
Mediane für das Jahr und für den Zeitraum 1.10 bis 31.3, sowie die 98%-Werte für den Zeitraum 1.4 bis 31.3 (nach EG-Richtlinie 89/427/EWG)	für Schwefeldioxid und für Schwebstaub
98%-Werte für das Kalenderjahr	für gasförmige Luftverunreinigungen, für Ruß in der Luft und für Schwebstaub
Monatsmittelwerte	für den Staubbiederschlag
Jahresmittelwerte	für den Staubbiederschlag und für die Inhaltsstoffe im Staubbiederschlag

Tabelle 5.14: Kenngrößen der 4. BImSchVwV

Mediane und 98%-Werte sollen nach der Rangplatzmethode ermittelt werden. Aus den ermittelten Monatsmittelwerten sind gleitende 12-Monatsmittelwerte zu bilden (d.h. 12-Monatsmittelwerte mit jeweils um einen Monat verschobenem Beginn und Ende).

5.3.7 Beurteilungsmaßstäbe des Länderausschusses für Immissionsschutz

Der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) veröffentlichte für eine Reihe von relevanten Luftschadstoffen Beurteilungsmaßstäbe zur Bewertung der Immissionsbelastung. Neben den unter 5.3.7.1 beschriebenen Beurteilungsmaßstäben für kanzerogene Stoffe liegen Bewertungen für die Immissionsbelastungen von Ammoniak und Ammoniumverbindungen /80/, Quecksilber und Quecksilberverbindungen /81/ sowie Vanadium /82/ vor.

Darüber hinaus wurde ein Vorschlag für die Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind vorgelegt /83/.

5.3.7.1 Kanzerogene Luftverunreinigungen

In einem Abschlussbericht der Arbeitsgruppe “Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen“ des Länderausschusses für Immissionsschutz /84/ werden die in der Tabelle 5.15 wiedergegebenen “Beurteilungsmaßstäbe“ als arithmetische Mittelwerte nach Nr. 2.6 TA Luft 86 (Novellierung 2002) zur Begrenzung des Krebsrisikos durch Luftschadstoffe auf der Basis des Gesamtrisikos von 1 : 2500 genannt.

Schadstoff	Beurteilungsmaßstab
Arsen und seine anorganischen Verbindungen	5 ng/m ³
Asbestfasern ¹⁾	88 F/m ³
Benzol	2,5 µg/m ³
Cadmium und seine Verbindungen	1,7 ng/m ³
Dieselrußpartikel	1,5 µg/m ³
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, Leitsubstanz Benzo-(a)-pyren	1,3 ng/m ³
2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin	16 fg/m ³

¹⁾ Faser-Definition: Dicke ≤ 3 µm; Länge ≥ 5 µm; Verhältnis: $\frac{\text{Länge}}{\text{Dicke}} \geq \frac{3}{1}$

Tabelle 5.15: Beurteilungsmaßstäbe des Länderausschusses für Immissionsschutz zur immissionsseitigen Begrenzung des Krebsrisikos durch Luftschadstoffe auf der Basis des Gesamtrisikos von 1 : 2500. Arithmetische Mittelwerte in Anlehnung an die Mess- und Beurteilungsvorschriften der Nr. 2.6 TA Luft 86

Für Luftverunreinigungen von anorganischen Verbindungen“ /85/ werden Langzeitwerte für Chrom von 17 ng/m³ und für Nickel von 10 ng/m³ angegeben /85/. Für Toluol und Xylol werden als Zielwerte für das Jahresmittel jeweils 30 µg/m³ genannt /86/.

5.3.7.3 Geruchsschwellenwerte

Der Länderausschuss für Immissionsschutz veröffentlichte eine Geruchsimmissions-Richtlinie, deren Regelungen bis zum Erlass entsprechender bundeseinheitlicher Verwaltungsvorschriften beachtet werden sollen /87, 88/. In dieser Veröffentlichung sind die in der Tabelle 5.16 wiedergegebenen Geruchsschwellenwerte aufgeführt.

In der aktuellen Fassung vom 13.05.1998 wurden die Geruchsschwellenwerte nicht mehr aufgeführt. Chemisch-Analytische Methoden können zu orientierenden Zwecken bei der Geruchsbestimmung unter Verwendung dieser Werte jedoch weiterhin angewendet werden /89/. Im Regelfall sind Geruchsimmissionen durch Rasterbegehungen unter Berücksichtigung der Norm DIN EN 13725 – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie /90/ – zu ermitteln.

Die meisten Bundesländer haben die Geruchsimmissions-Richtlinie als landesrechtliche Vorschrift übernommen (mit Veröffentlichung im Amtsblatt des Landes).

Tabelle 5.16: Geruchsschwellenwerte des Länderausschusses für Immissionsschutz

Stoff	ml/m ³ (ppm)	mg/m ³
Acetaldehyd	0,2	0,4
Aceton	20,0	48,0
Acrolein	0,2	0,5
Acrylnitril	20,0	44,0
Ameisensäure	1,0	1,9
Ammoniak	2,7	1,9
n-Amylacetat	0,07	0,4
i-Amylalkohol	0,05	0,2
n-Amylalkohol	0,2	0,7
Benzol	5,0	16,2
Butadien	0,5	1,1
i-Butanol	0,7	2,2
n-Butanol	0,14	0,4
Buttersäure	0,001	0,004
n-Butylacetat	0,006	0,03
Chlorbenzol	0,2	0,9
Cyclohexanon	0,1	0,4
Dibutylamin	0,26	1,4
Dichlormethan	200,0	706,0
Diethylamin	0,02	0,06
Dimethylamin	0,05	0,09
Dimethylformamid	100,0	303,0

Stoff	ml/m ³ (ppm)	mg/m ³
Diphenyloxid	0,1	0,7
Essigsäure	1,0	2,5
Ethanol	10,0	19,1
Ethylacetat	6,0	22,0
Ethylacrylat	0,0005	0,002
Ethylenoxid	300,0	549,0
2-Ethylhexanol	0,08	0,4
Ethylmercaptan	0,001	0,003
Formaldehyd	0,1	0,1
o- m-Kresol	0,001	0,004
p- Methanol	4,0	5,3
Methylethylketon	2,0	6,0
Methylmercaptan	0,02	0,04
Methylmetacrylat	0,05	0,2
Morpholin	0,01	0,04
Nitrobenzol	0,005	0,03
Phenol	0,05	0,2
Phosgen	1,0	4,1
i-Propanol	3,0	7,5
Propionsäure	0,04	0,2
i-Propylbenzol	0,008	0,04
i-Propylether	0,02	0,09
Propylendiamin	0,01	0,03
Propylenoxid	10,0	24,0
Pyridin	0,02	0,07
Schwefelkohlenstoff	0,2	0,6
Schwefelwasserstoff	0,002	0,003
Tetrachlorethylen	5,0	34,0
Tetrachlorkohlenstoff	100,0	640,0
Toluol	2,0	7,6
2,4-Toloylendiisocyanat	2,0	14,4
Trichlorethylen	20,0	109,0
Triethylamin	0,09	0,4
Trimethylamin	0,0002	0,0005
1,3,5-Trimethylbenzol	0,4	2,0

5.4 Messberichte

Die Ergebnisse von fortlaufenden Immissionsmessungen werden von den Bundesländern in Monatsberichten und/oder Jahresberichten dokumentiert. Darüber hinaus gehen sie auch in Luftreinhaltepläne und Aktionspläne nach § 47 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ein.

Bis September 2002 hatten die Mitgliedstaaten den ersten Bericht an die EU-Kommission abzugeben, in dem die festgestellten Grenzwertüberschreitungen genannt werden /91/. Die ersten Aktionspläne, die Bestandteil eines Luftreinhalteplans sein können, sind bis zum Ende des Jahres 2003 zu erstellen /92/.

In zunehmendem Maße publizieren die Länderinstitutionen ihre Immissionsmessdaten auch mit Hilfe elektronischer Medien (Bildschirmtext, Videotext, Internet).

In der Tabelle 5.17 sind die zur Zeit herausgegebenen Monats- und Jahresberichte der Bundesländer sowie des Umweltbundesamtes sowie Links auf Messnetze der Bundesländer und des UBA (aktuelle Messwerte) zusammengestellt (Stand: 12.08.2003).

Die Messinstitute der Bundesländer teilen die Daten ihrer kontinuierlichen Immissionsmessungen dem Umweltbundesamt für zentrale Auswertungen mit.

Laufende Veröffentlichungen von Immissionsmessdaten von den Messstationen in den Bundesländern erscheinen in der Zeitschrift „VDI-Nachrichten“. Dort werden auch Angaben über telefonische und elektronische Abrufmöglichkeiten gemacht.

Tabelle 5.17: Berichte über die Ergebnisse von Immissionsmessungen

Baden-Württemberg

Immissionskonzentrationen. Monatsberichte und Jahresberichte. Herausgegeben von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Griesbachstr. 3, 76185 Karlsruhe

www.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt3/umeg

Bayern

Lufthygienische Berichte. Monats- und Jahresberichte.
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Rosenkavalierplatz 3, 81925 München

www.bayern.de/lfu/luft/index.html

Berlin

Luftverunreinigungen in Berlin, Monatsberichte und Jahresberichte. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Am Köllnischen Park 3, 10179 Berlin

www.met.fu-berlin.de/senum/index.html

Brandenburg

Luftqualität in Brandenburg. Monatsberichte und Jahresberichte.
Landesumweltamt Brandenburg, Berliner Str. 21 - 25, 14467 Potsdam

www.brandenburg.de/land/mlur/i/luftwert.htm

Bremen

Das Bremer Luftüberwachungssystem. Monatsberichte.
Der Senator für Umweltschutz und Stadtentwicklung, Hanseatenhof 5, 28195 Bremen

www.umwelt.bremen.de/buisy/scripts/buisy.asp?doc=BLUES+-+Das+Bremer+Luftueberwachungssystem

Hamburg

Luftmessnetz Hamburg. Monatsberichte.
Freie und Hansestadt Hamburg, Umweltbehörde, Steindamm 22, 20099 Hamburg

www.hamburger-luft.de

Hessen

Lufthygienische Monatsberichte und Jahresberichte.
Hessische Landesanstalt für Umwelt, Rheingastr. 186, 65203 Wiesbaden

www.hlug.de/medien/luft/index.htm

Mecklenburg-Vorpommern

Monatsberichte. Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, Abt. Immissionsschutz, Boldebucker Weg 3, 18273 Güstrow-Gülzow.

Luftgüteberichte (Jahre).

Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt, Schloßstr. 6 - 8, 19053 Schwerin

www.lung.mv-regierung.de/index_luft_1024.htm

Niedersachsen

Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen (LÜN), Monatsberichte (bis Juli 1996) und Jahresberichte. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Göttinger Str. 14, 30449 Hannover

www.62.8.193/cgi-bin/dB4web_c.exe/Projekt3/Projekt3/index.htm?th=2&kn=14833&adresse=1

Nordrhein-Westfalen

Berichte über die Luftqualität an Rhein und Ruhr. LQUS-Jahresberichte, sowie MILIS-Jahresberichte über mobile Messungen.

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Wallneyer Str. 6, 45133 Essen-Bredeneu

www.lua.nrw.de/index.htm?luft/temes/stat.htm

Rheinland-Pfalz

Monatsberichte über die Messergebnisse des Zentralen Immissionsmessnetzes - ZIMEN - für Rheinland-Pfalz.

Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht, Messinstitut für Immissions-, Arbeits- und Strahlenschutz, Rheinallee 97 - 101, 55118 Mainz

www.luft-rlp.de/aktuell/messwerte

Saarland

Luftgütemessungen.

Vierteljährliche Berichte über die Messergebnisse des Immissionsmessnetzes Saar - IMMESA.

Ministerium für Umwelt, Energie und Verkehr des Saarlandes, Hardenbergstr. 50, 66119 Saarbrücken

www.umweltserver.saarland.de/luft/luft-pages/karten_luft/karte_frame.html

Sachsen

Monatsberichte und Jahresberichte zur Immissionssituation.

Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Wasastr. 50, 01445 Radebeul

www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lflug/lflug-internat/luft-laerm/lima_1468.htm

Sachsen-Anhalt

LÜSA-Monatsberichte.

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Reideburger Str. 47 - 49, 06116 Halle (Saale).

Jahresberichte (Immissionsschutzberichte) des Landes Sachsen-Anhalt.

Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Sachsen-Anhalt, Referat für Öffentlichkeitsarbeit, Pfälzer Str. 1, 39106 Magdeburg

www.mu.sachsen-anhalt.de/lau/luesa

Schleswig-Holstein

Monatsberichte „Lufthygienische Überwachung Schleswig-Holstein“.

Gewerbeaufsichtsamt Itzehoe, Oelixdorfer Str. 2, 25524 Itzehoe.

„Messberichte“ (Jahresberichte). Ministerium für Natur und Umwelt, Grenzstr. 1, 24149 Kiel

www.umwelt.landsh.server.de/?1451

Thüringen

Monatsberichte und Jahresberichte zur lufthygienischen Situation im Land Thüringen. Thüringer

Landesanstalt für Umwelt, Abt. Immissions- und Strahlenschutz, Prüssingstr. 25, 07745 Jena-Göschwitz

www.tlug-jena/luftaktuell/421_11001_01_idx.html

Umweltbundesamt

Monatsberichte aus dem Messnetz. Umweltbundesamt, Bismarckplatz 1, 14193 Berlin

www.env-it.de/luftdaten/start.fwd

6. Messprinzipien und Messverfahren

Die Verfahren zur Immissionsmessung lassen sich unterteilen in:

- diskontinuierliche Verfahren und
- kontinuierliche Verfahren.

Diskontinuierliche Verfahren sind meist manuelle Verfahren, bei denen die Probenahme im Gelände und die Analyse im Laboratorium getrennte Vorgänge sind. Unter typischen kontinuierlichen Verfahren sind automatisch arbeitende Geräte zu verstehen, die bei stationärem Einsatz Probenahme und Analyse zeitlich lückenlos ausführen.

Durch die vorgenannte Unterscheidung werden nicht sämtliche Luftuntersuchungsmethodiken erfasst. So können „diskontinuierliche“ Messungen sowohl bei der Probenahme als auch bei der Analyse automatisiert werden. Die Verwendung von automatischen Probenahmeapparaturen - z.B. mit mehreren, nacheinander ansteuerbaren Absorptionsgefäßen - ermöglicht fortlaufende, zeitlich lückenlose Messungen. Für Analysen im Laboratorium können Laborautomaten eingesetzt werden.

Ein spezielles Beispiel sind Staubbiederschlagsmessungen. Sie sind zwar im Grunde diskontinuierliche, manuelle Messmethoden, wegen der langen Expositionszeit von einem Monat für eine Einzelmessung werden sie jedoch ohne Zeitlücke, und damit quasi-kontinuierlich, vorgenommen.

Kontinuierliche Messungen haben den Vorteil einer zeitlich lückenlosen Luftüberwachung. Sie sind für einen stationären Einsatz prädestiniert. Sie können jedoch auch in Messfahrzeugen installiert werden. Bei Luftverunreinigungen mit höheren *zeitlichen* Schwankungen als *räumlichen* Schwankungen (z.B. in Stadtgebieten mit weit verbreiteten Schadstoffen /93, 94/) weisen fortlaufende kontinuierliche Messungen Vorteile bei der Luftüberwachung auf.

Der Aufwand für automatisch-kontinuierliche Messungen ist hoch: Die Messgeräte sind relativ teuer und für ihren Betrieb ist gut qualifiziertes Personal erforderlich. Bisher wurden nur für eine begrenzte Anzahl von Substanzen kontinuierlich arbeitende Immissionsmessgeräte entwickelt.

Diskontinuierliche, manuelle Immissionsmessverfahren haben Vorteile bei Stichproben und vielen Messstellen im Gelände. Die Messapparaturen können oft für die Bestimmung verschiedener Substanzen eingesetzt werden. Außerdem ermöglicht diese Arbeitsrichtung die Messung der Substanzen, für die es keine automatischen Messgeräte gibt.

6.1 Kontinuierliche Messungen

Kontinuierliche Immissionsmessungen werden vor allem zur Durchführung staatlicher Vorschriften – insbesondere der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (s. Kapitel 3.6, 4.2.5 und 5.3.5), der 22. und 33. BImSchV (s. Kapitel 3.3, 3.5, 4.2.2, 4.2.4, 5.3.2 und 5.3.4) und der Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften (s. Kapitel 3.1, 4.2.1 und 5.3.1) - vorgenommen.

Geeignete Messgeräte für kontinuierliche Messungen werden im Auftrag des Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vom Umweltbundesamt nach Abstimmung mit den für die Luftreinhaltung zuständigen obersten Landesbehörden seit 2003 im Bundesanzeiger bekannt gegeben. Vormals erfolgte die Bekanntgabe im Gemeinsamen Ministerialblatt.

Die Bekanntmachungen benennen den Hersteller des Gerätes und den Prüfbericht mit Prüfinstitut sowie Hinweise oder Einschränkungen zum Betrieb des Gerätes. Beschreibungen der Geräte, Messprinzip und Kenngrößen werden in den Bekanntmachungen nicht angegeben. Sie können den Prüfberichten entnommen werden.

6.1.1 Eignungsprüfungen

Die Bekanntgabe von geeigneten Geräten zur kontinuierlichen Immissionsmessung durch den BMU setzt den erfolgreichen Abschluss einer Eignungsprüfung und die Zustimmung des Unterausschusses Luft/Überwachung im „Länderausschuß für Immissionsschutz“ (LAI) voraus /95/. Einheitliche Anforderungen an diese Prüfung wurden bereits 1975 in „Richtlinien für die Eignungsprüfung laufend aufzeichnender Immissionsmessgeräte“ im Gemeinsamen Ministerialblatt /96/ veröffentlicht. Eine Neufassung erschien 1981 /97/.

Diese Richtlinie wurde aufgehoben und ersetzt durch die Richtlinie VDI 4202 Blatt 1, Mindestanforderungen an automatische Immissionsmeseinrichtungen bei der Eignungsprüfung – Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen /98/. Die Mindestanforderungen beziehen sich neben Bauartanforderungen auf die in Tabelle 6.1 dargestellten Verfahrenskenngrößen. Sie beziehen sich z. T. auf sogenannte Bezugswerte (siehe Tabelle 6.2), die sich an den Immissionsgrenzwerten nach EU-Richtlinien orientieren.

Verfahrenskenngröße	Anforderung
Messbereichsendwert	$\geq B_2$
Linearität	$\leq 0,05 B_1$ (Bereich 0 bis B_1) $\leq 0,01 B_2$ (Bereich 0 bis B_2)
Nachweisgrenze	$\leq B_0$
Einstellzeit	$\leq 5 \%$ der Mittelungszeit (180 s)
Verfügbarkeit	$\geq 90 \%$
Wartungsintervall	möglichst 28 Tage, mindestens 14 Tage
Reproduzierbarkeit	≥ 10
Temperaturabhängigkeit am Nullpunkt	$\leq B_0$
Temperaturabhängigkeit des Messwertes	$\leq 0,05 B_1$
Drift am Nullpunkt	$\leq B_0$
Drift des Messwertes	$\leq 0,05 B_1$
Netzspannung	$\leq B_0$
Querempfindlichkeiten	$\leq 0,03 B_2$
Unsicherheit des Prüfgases	$\leq 0,01 B_2$

Tabelle 6.1: Mindestanforderungen VDI 4202, Blatt 1

Schadstoff	Bezugswert		
	B_0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	B_1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	B_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂	2	40	700
NO ₂	3	60	400
PM ₁₀	2	40	200
CO	1×10^3	20×10^3	60×10^3
Benzol	0,5	10	100
O ₃	4	80	360

Tabelle 6.2: Bezugswerte für Mindestanforderungen nach VDI 4202, Blatt 1

Die erweiterte Messunsicherheit (Gesamtunsicherheit) muss den Anforderungen an die Datenqualität der EU-Tochterrichtlinien genügen. Sie wird im Rahmen der Eignungsprüfung nach DIN EN ISO 14 956 /99/ aus den Unsicherheitsbeiträgen der Verfahrenskenngrößen nach dem Gesetz der Unsicherheitsfortpflanzung ermittelt.

Eine entsprechende Richtlinie für optische Fernmesseinrichtungen (VDI 4202, Blatt 2) liegt als Entwurf vor /100/.

Grundlagen für Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen sind in der Richtlinie VDI 4203 Blatt 1, Ausgabe 10/2001 /101/, beschrieben. Konkrete Vorgaben für Prüfpläne für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen sind im Richtlinienentwurf VDI 4203, Blatt 3 /102/ enthalten.

Den Auftrag für die kostenpflichtige Durchführung einer Eignungsprüfung erteilt in der Regel der Hersteller des Immissionsmessgerätes an ein hierfür akkreditiertes Prüfinstitut. Nach Abschluss der Eignungsprüfung legt das beauftragte Institut einen Prüfbericht vor, der dem Umweltbundesamt und dem Unterausschuss Luft/Überwachung des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) zugestellt wird. Nach positiver Begutachtung erfolgt die schon genannte Bekanntgabe durch das Umweltbundesamt im Auftrag des BMU. Seit 2003 werden die als geeignet anerkannten Messeinrichtungen nicht mehr im Gemeinsamen Ministerialblatt, sondern im Bundesanzeiger bekannt gegeben.

Die bisher eignungsgeprüften kontinuierlich arbeitenden Messgeräte sind im Anhang 3 tabellarisch zusammengestellt. Ein Teil der dort aufgeführten Geräte wird heute nicht mehr hergestellt. Sie sind mit * gekennzeichnet

Der Anhang 3 bringt neben der tabellarischen Auflistung aller bisher eignungsgeprüften Geräte nähere Beschreibungen aktuell lieferbarer eignungsgeprüfter Immissionsmessgeräte.

6.1.2 Messprinzipien

Eignungsgeprüfte, kontinuierlich arbeitende Immissionsmessgeräte wurden für die luftverunreinigenden Substanzen

- Schwefeldioxid,
- Stickstoffoxide,
- Kohlenstoffmonoxid,
- Ozon,
- Organische, gasförmige Gesamt-C-Verbindungen,
- Benzol,
- Toluol, Ethylbenzol, Xylol,
- Schwebstaub und Partikel (PM₁₀),
- Ruß.

entwickelt (siehe Anhang 3).

Die für diese Messungen eingesetzten Messprinzipien werden im folgenden kurz beschrieben. Sie entsprechen in den meisten Fällen den für kontinuierliche Emissionsmessungen verwendeten Verfahren /1/.

6.1.2.1 Leitfähigkeitsmessung (Konduktometrie) /1, 5, 14, 103, 104/

Bei dem konduktometrischen Messprinzip (Bild 1) wird die Probeluft in eine geeignete Absorptionslösung eingeleitet und deren Leitfähigkeitsänderung nach der Reaktion der Lösung mit dem luftverunreinigenden Gas gemessen. Messobjekte sind vor allem Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid.

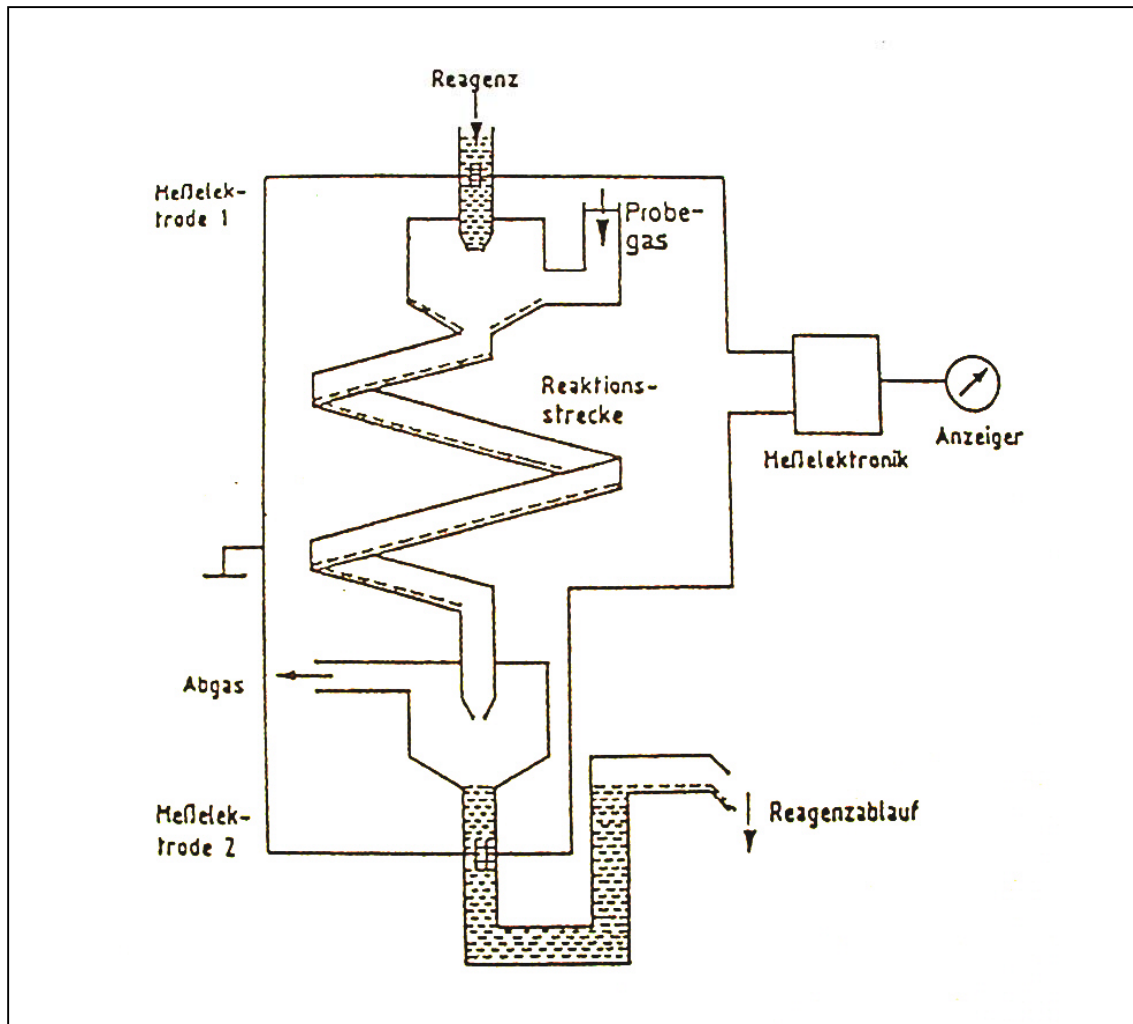


Bild 1: Prinzip der konduktometrischen Messung

Bei der kontinuierlichen Leitfähigkeitsmessung werden die Probeluft und die Absorptionslösung der Reaktionsstrecke kontinuierlich zugeführt. Da die Leitfähigkeitsänderung auch vom Verhältnis der zugeführten Volumenströme abhängig ist, müssen beide Ströme durch geeignete Maßnahmen konstant gehalten werden. Temperatureinflüsse auf die Leitfähigkeit müssen kompensiert werden

6.1.2.2 Chemilumineszenz-Messung /1, 5, 14, 17, 106/

Bei einigen chemischen Reaktionen von Gasen entsteht eine charakteristische Strahlung, die Chemilumineszenz. Die Intensität dieser Chemilumineszenz ist bei konstanten Reaktionsbedingungen der Konzentration des zu messenden Gases in der Probeluft proportional, wenn das zur Reaktion benötigte Hilfsgas im Überschuss vorhanden ist.

Zur Bestimmung der NO-Konzentration in der Probeluft wird die Chemilumineszenz bei der Oxidation von Stickstoffmonoxid-Molekülen mit Ozon genutzt: $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2 + \text{h}\nu$. Das Intensitätsmaximum der Chemilumineszenz liegt bei einer Wellenlänge von $1,2 \mu\text{m}$.

Die Chemilumineszenz-Messung erfolgt in einer Reaktionskammer (Bild 2). In diese Kammer strömt Luft, die zuvor über einen Ozonisator geleitet wurde. Die teilweise Umwandlung des Luftsauerstoffs im Ozonisator geschieht durch eine elektrische Entladung oder durch UV-Bestrahlung. Durch eine weitere Eintrittsöffnung wird dem Reaktionsraum ein konstanter Probeluftstrom zugemischt. Im Ausgang der Reaktionskammer befindet sich zur Vermeidung einer Umweltbelastung ein Ozon-Filter. Die Chemilumineszenz wird nach optischer Filterung mit einem Photoelektronen-Vervielfacher gemessen. Ein stabiler Messeffekt erfordert eine thermostatisierte Reaktionskammer mit konstantem Innendruck.

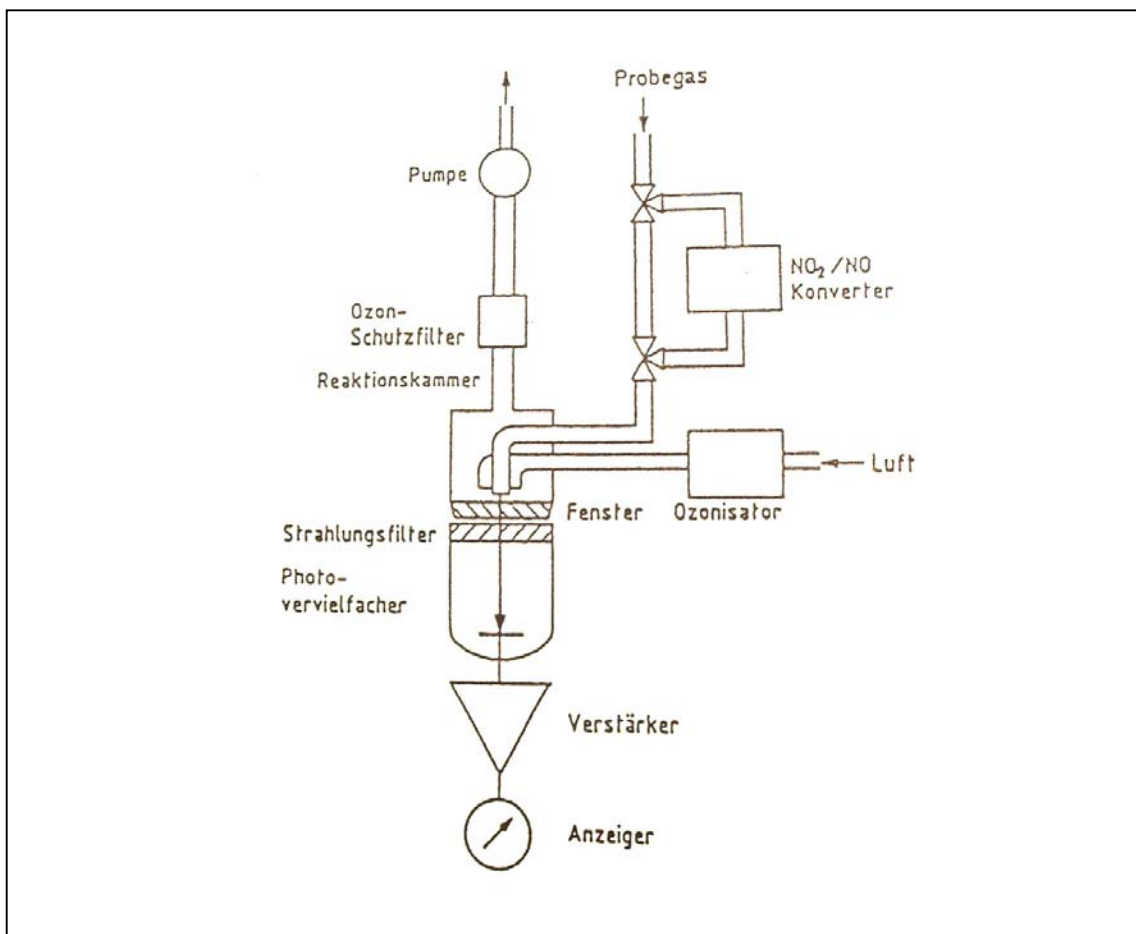


Bild 2: Prinzip der Chemilumineszenz-Messung

Zur Bestimmung von Stickstoffdioxid-Konzentrationen wird die Probeluft vor der Analyse durch einen thermokatalytischen Konverter geleitet, der NO_2 zu NO reduziert.

Die Methodik wird auch für Ammoniak-Immissionsmessungen genutzt. Hierzu wird mittels eines Konverters NH_3 zu NO umgesetzt, und der NH_3 -Gehalt der Probeluft durch Differenzmessung zu dem zuvor vorhandenen NO -Gehalt bestimmt.

Das Chemilumineszenz-Prinzip wird auch für Ozon-Immissionsmessungen eingesetzt. Auch hier wird die oben angegebene Reaktion zwischen O_3 und NO (im Überschuss) zur kontinuierlichen Messung genutzt.

6.1.2.3 UV-Fluoreszenz-Messung /14, 102/

Die Probeluft wird durch eine UV-Lampe (z.B. eine Zn-Hohlkathodenlampe) bestrahlt. Dadurch werden die Moleküle des zu messenden Gases zu einer Fluoreszenzstrahlung angeregt, die in einen Photomultiplier als Empfänger geleitet und nach Verstärkung angezeigt wird. Ein vor den Empfänger geschalteter Interferenzfilter lässt nur die für das zu messende Gas spezifische Fluoreszenzstrahlung durch. Die Intensität der Fluoreszenz ist eine Funktion der Konzentration des zu messenden Gases und der Lichtenergie der UV-Lichtquelle.

Die Verfahrensweise wird im Bild 3 dargestellt. Die Methode wird bei der Immissionsmesstechnik für die kontinuierliche Messung von Schwefeldioxid eingesetzt.

Das Messprinzip ermöglicht auch Schwefelwasserstoff-Immissionsmessungen. Aus der Probeluft wird zunächst SO_2 abgeschieden, dann H_2S zu SO_2 oxidiert und dieses Gas dann gemessen.

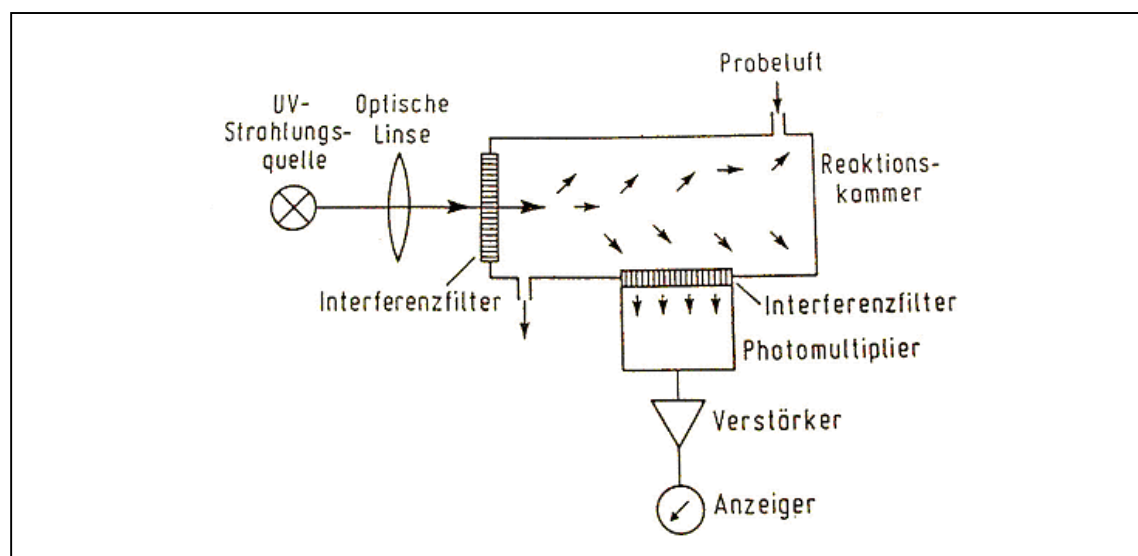


Bild 3: Prinzip der UV-Fluoreszenz-Messung

6.1.2.4 Messung durch nichtdispersive Infrarotabsorption und durch Gasfilterkorrelation /1, 5, 13, 14, 17/

Im infraroten Spektralbereich besitzen alle heteroatomigen Moleküle wie CO, CO₂, SO₂ und NO ein charakteristisches Absorptionsspektrum. Diese Eigenschaft von Gasen wird bei der Emissionmessung vielfach genutzt /1/. Bei Immissionsmessungen wird das Messprinzip der Infrarotabsorption nur für die Messung von Kohlenstoffmonoxid (CO) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) angewendet, weil diese Gase eine ausreichend hohe Strahlungsabsorption auch bei den niedrigen Konzentrationen in atmosphärischer Luft aufweisen.

Bei nichtdispersiven Infrarotabsorptions-Messverfahren (NDIR) wird auf eine spektrale Zerlegung der IR-Strahlung verzichtet und statt dessen die Messung durch die im Gerät gespeicherte Messkomponente selektiv gemacht. Nach der Art der Speicherung unterscheidet man das nichtdispersive Infrarot-Verfahren (NDIR) und das Gasfilterkorrelations-Verfahren.

Beim **NDIR-Verfahren** (Bild 4) wird der Strahlungsempfänger als Speicher der Messkomponente (CO, CO₂) verwendet. Die in den gasgefüllten Empfängerammern umgesetzte und durch ein umlaufendes Blendenrad modulierte Strahlung erzeugt in den Empfängerammern - infolge der Strahlungsabsorption durch das CO in der Messkammer - periodische Temperatur- und Druckschwankungen. Diese werden entweder durch einen Membrankondensator oder durch einen Mikroströmungsdetektor, der die Druckausgleichsströmung zwischen je zwei Empfängerammern erfasst, in ein elektrisches Signal umgewandelt.

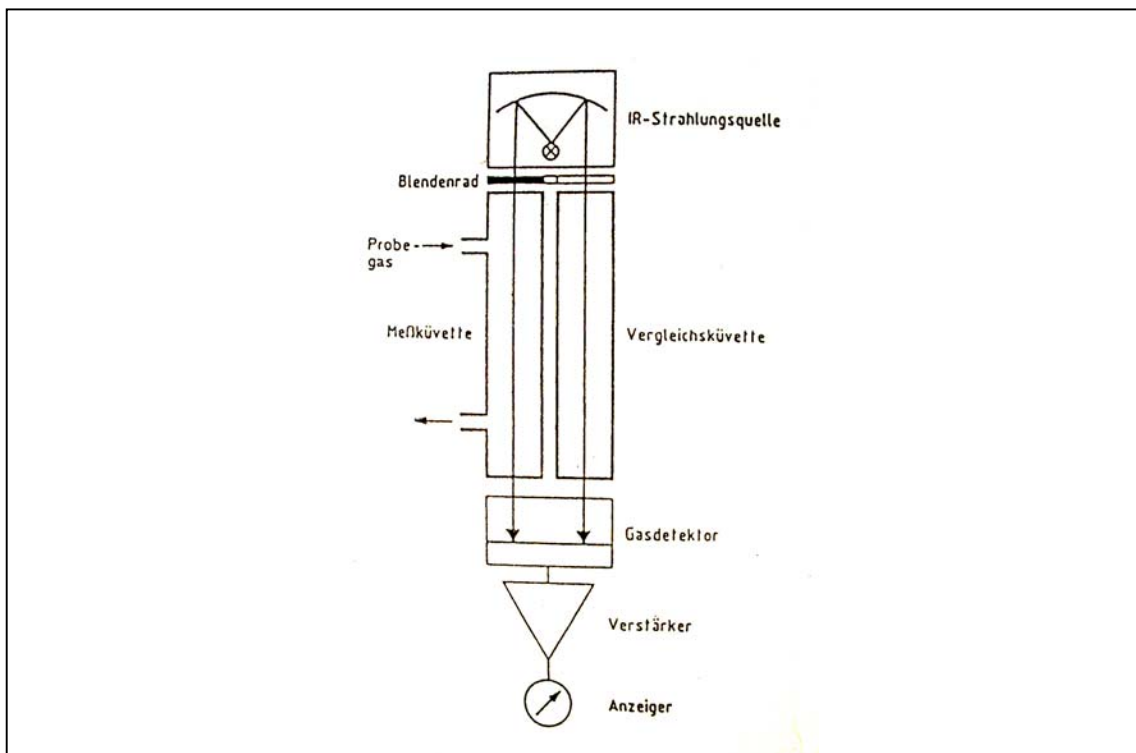


Bild 4: Prinzip der Messung der nichtdispersiven Infrarotabsorption

Beim **Gasfilterkorrelations-Verfahren** (Bild 5) dient als Speicher eine gasgefüllte Filterkammer, die auf einem Filterrad befestigt ist. Diese Filterkammer wird abwechselnd und periodisch mit einer Öffnung oder einem mit Stickstoff gefüllten Gasfilter in den Strahlengang gebracht.

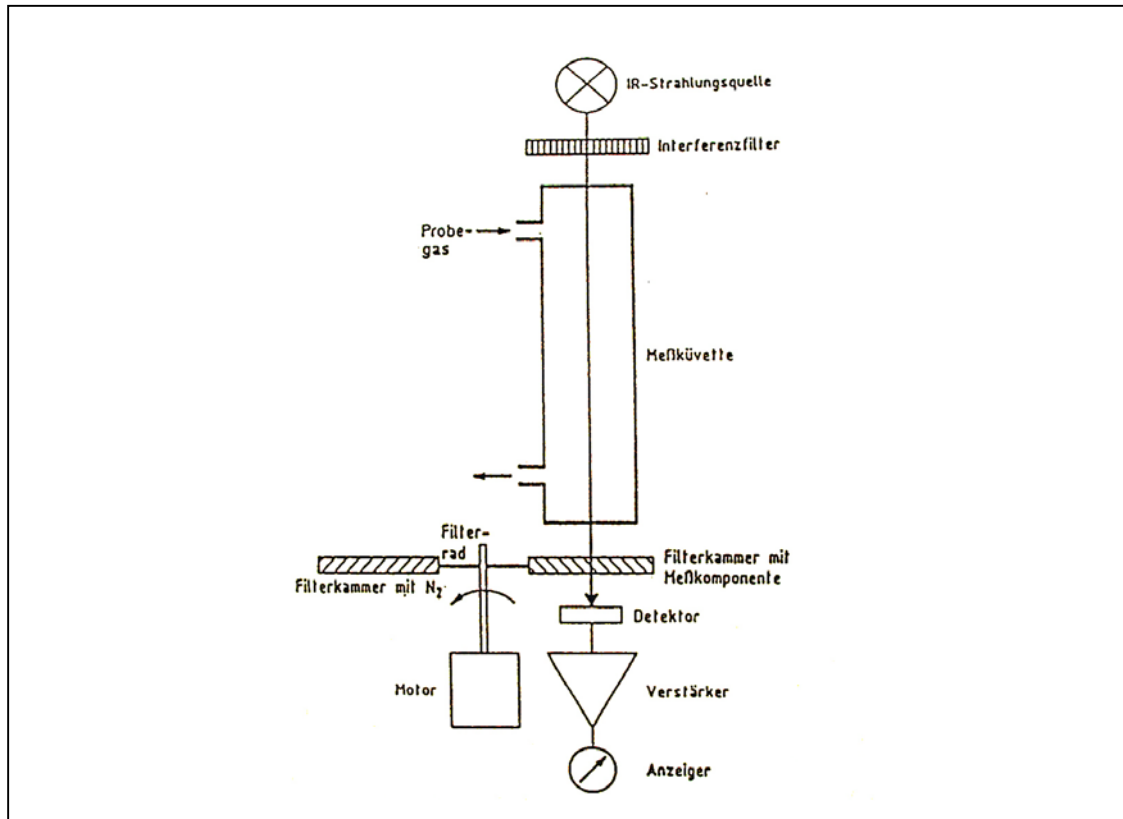


Bild 5: Prinzip des Gasfilterkorrelations-Messverfahrens

6.1.2.5 Messung der UV-Absorption /5, 14, 17/

Die UV-Absorptionsmessung wird für fortlaufende Bestimmungen von Ozon in der Luft eingesetzt. Die Messung basiert auf der Absorption ultravioletten Lichtes durch Ozon mit einem Maximum bei der Wellenlänge 254 nm. Die Durchführung dieser Messung ist im Bild 6 skizziert.

Die Probeluft wird einer Messküvette zugeleitet, die zwischen der UV-Strahlung und dem Strahlungsempfänger (einem Photomultiplier) angeordnet ist. Sie gelangt dabei über ein Magnetventil abwechselnd direkt und über einen katalytischen Konverter, der Ozon quantitativ zu Sauerstoff reduziert, in die Messküvette. Die an der ozonfreien Luft gemessene Strahlungsintensität wird gespeichert und von der an der ozonhaltigen Luft gemessenen Intensität subtrahiert.

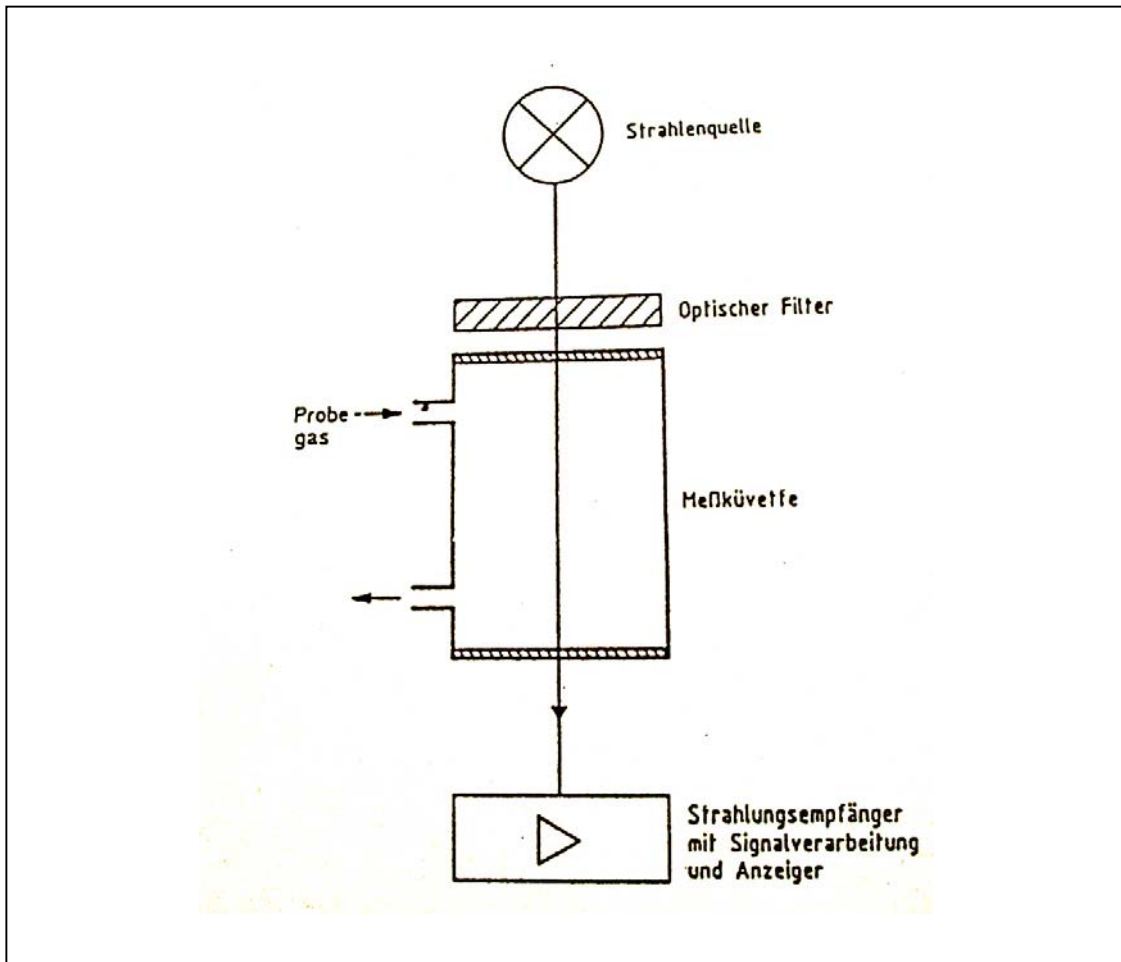


Bild 6: Prinzip der UV-Absorptionsmessung

6.1.2.6 Messung der Flammenionisation /1, 5, 14, 17/

Gasförmige organische Kohlenstoffverbindungen sind in einer Wasserstoffflamme leicht ionisierbar. Die entstehende Ionenwolke wird in einer Ionisationskammer durch Anlegen eines elektrischen Feldes über Elektroden abgesaugt und erzeugt einen elektrischen Strom. Dieser Strom ist über viele Größenordnungen annähernd proportional zum zugeführten Massenstrom der organisch gebundenen Kohlenstoffatome. Dabei besteht eine gewisse Abhängigkeit von der strukturellen Bindung der C-Atome im jeweiligen Molekül.

Der Flammenionisationsdetektor (Bild 7) besteht im Wesentlichen aus einer Brennkammer. Aus einer Düse strömt reiner Wasserstoff, der aus einer Druckgasflasche entnommen oder in einem Wasserstoffgenerator elektrolytisch erzeugt wird, in die Brennkammer ein. Durch einen Ringspalt um die Düse wird der Kammer Luftsauerstoff zugeführt. Nach elektrischer Zündung brennt gleichmäßig eine Wasserstoffflamme, die bei der Abwesenheit organischer Kohlenstoffverbindungen in der Probeluft nur eine geringe Ionendichte liefert (Null-Wert). Die zum Absaugen der Ionenwolke benötigten Elektroden sind in Flammennähe angeordnet. Als eine der Elektroden kann - wie in Bild 7 dargestellt - die Brenndüse selbst verwendet werden. Bei genügend hoher elektrischer Spannung gelangen alle Ladungsträger auf die Elektroden, das heißt, es fließt der Sättigungsstrom. Dieser wird von einem empfindlichen Gleichstromverstärker auf die gewünschte Signalstärke angehoben, und gleichzeitig wird der Null-Wert kompensiert. Die absolute Messempfindlichkeit hängt vom Material der Brenndüse und der Detektorgeometrie ab. Zur kontinuierlichen Messung sind Temperatur und Massenstrom der Probeluft konstant zu halten.

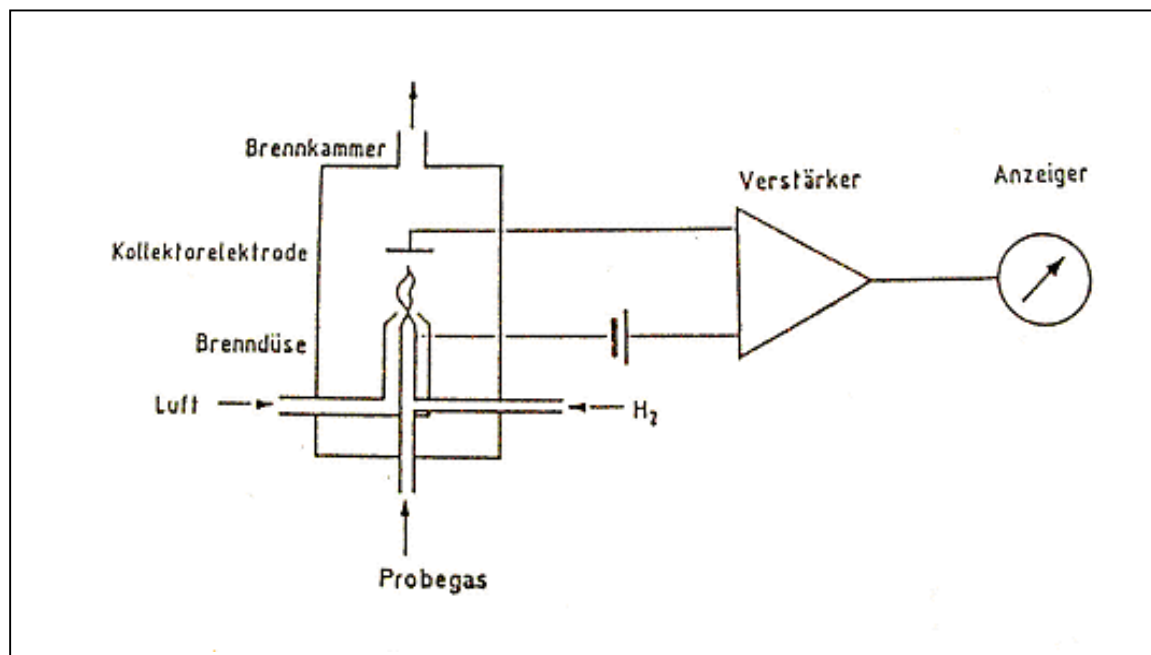


Bild 7: Prinzip des Flammenionisationsdetektors (FID)

Bei Immissionsmessungen wird - entsprechend der Benennung als Messobjekt in der 4. Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz /33/ - die Summenbestimmung gasförmiger organischer Verbindungen unter Abscheidung des ubiquitär auftretenden Methans vorgenommen. Diese Abtrennung des Methans kann durch Vorschalten einer kurzen Trennsäule (VDI 3483, Blatt 4, Bendix 8202 /5/), durch eine gekühlte Speichersäule (VDI 3483, Blatt 2, Siemens U 100 /5/) oder durch katalytische Verbrennung der gegenüber Methan schwereren Kohlenwasserstoffe (Horiba APHA 360) erfolgen.

6.1.2.7 Optische Fernmessung (wegintegrierende Messung)

Optische Fernmessverfahren zur Luftüberwachung werden schon seit Jahren für verschiedene Messaufgaben, insbesondere bei der Erfassung von Emissionen und bei luftchemischen und meteorologischen Forschungen eingesetzt /107, 108, 109/. In einem zusammenfassenden Beitrag werden folgende optische Verfahren zur Gasfernmessung benannt und beschrieben /104/:

- Lidar (VDI 4210 Blatt 1 /5/)
- Derivativ-Spektroskopie
- Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS)
- FTIR-Spektroskopie (Fourier-Transformations-Infra-Rot, VDI 4211 Blatt 1 /5/)
- Korrelations-Spektroskopie.

Bei der optischen Fernmessung wird keine Probenahme durch Ansaugen von Luft vorgenommen. Es wird die bei der Durchstrahlung einer Luftstrecke durch das zu analysierende Gas auftretende Strahlungsabsorption gemessen.

Fernmessungen liegen im Prinzip meist näher bei Emissions- als bei Immissionsmessungen. Es werden oft die Schadstoff-Konzentrationen in der Nähe von Emissionsquellen gemessen. Nachweisgrenzen und Störungen durch Nebel, Staub und andere Substanzen begrenzen den Einsatz für Immissionsmessungen.

Die DOAS-Fernmesstechnik basiert auf der Absorption von UV- oder sichtbarem Licht durch das zu messende Gas auf einer Länge bis zu mehreren Kilometern zwischen einer Strahlungsquelle und einem Empfängersystem. Sie bewährte sich für die Immissionsmessung, so durch die Eignungsprüfungen eines Gerätes zur Messung von Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Ozon (OP SIS AR 500) sowie eines Gerätes zur Benzol-Messung (Opsis AR 502 Z). Die Funktionsweise der Geräte ist im Anhang 3 wiedergegeben.

6.1.2.8 Automatisierte Gaschromatographie

Das Prinzip der Gaschromatographie (s. Kapitel 6.2.3) wird in eignungsgeprüften Geräten auch zur kontinuierlich-automatischen Messung von aromatischen Kohlenwasserstoffen (Benzol, Toluol, Xylol, Ethylbenzol) in atmosphärischer Luft eingesetzt (s. Anhang 3). Mindestanforderungen und Prüfung für automatisch messende Geräte für Einzelmessungen von Benzol in Luft mit anreichernder Probenahme und anschließender gaschromatographischer Trennung sind in der DIN-Norm 33963-2 beschrieben /110/.

Insbesondere die Messung von Benzol als lufthygienisch kritischer Bestandteil des Kraftfahrzeugabgases ist heute ein Schwerpunkt der Luftüberwachung.

Eignungsgeprüfte Geräte zur kontinuierlichen Messung von aromatischen Kohlenwasserstoffen und ihre Arbeitsweise werden im Anhang 3 beschrieben.

6.1.2.9 Messung der Betastrahlenabsorption /1, 5, 13, 14, 17, 111/

Bei der Staubmessung (fraktionierend oder nichtfraktionierend) mittels der Betastrahlenabsorption wird die Probeluft durch ein schrittweise fortbewegbares Filterband gesaugt. Die auf dem Filterbandabschnitt abgeschiedene Staubmenge wird über die Schwächung einer β -Strahlung beim Durchtritt durch den bestaubten Filter gemessen (Bild 8).

Als Strahlungsquelle wird eine künstlich hergestellte radioaktive Probe geeigneter Aktivität verwendet (z.B. die Isotope Kohlenstoff 14 oder Krypton 85), als Detektor ein Geiger-Müller-Zählrohr oder eine Ionisationskammer. Zur Kompensation für die mit der Zeit nachlassende Aktivität und die variierende Schwächung der Strahlung durch das Filtermaterial werden Absorptionsmessungen vor und nach bzw. vor und während der Staubabscheidung vorgenommen und die Messwerte miteinander verglichen. Bei der Absorptionsmessung während der Staubabscheidung wird die sich akkumulierende Partikelmasse gemessen und angezeigt. In der Regel arbeiten derartige Geräte nach dem Zwei-Strahl-Kompensationsverfahren (s. Bild 8). Diese Verfahrensweise ermöglicht eine Echtzeit-Messung der Staubkonzentration auf dem Filter.

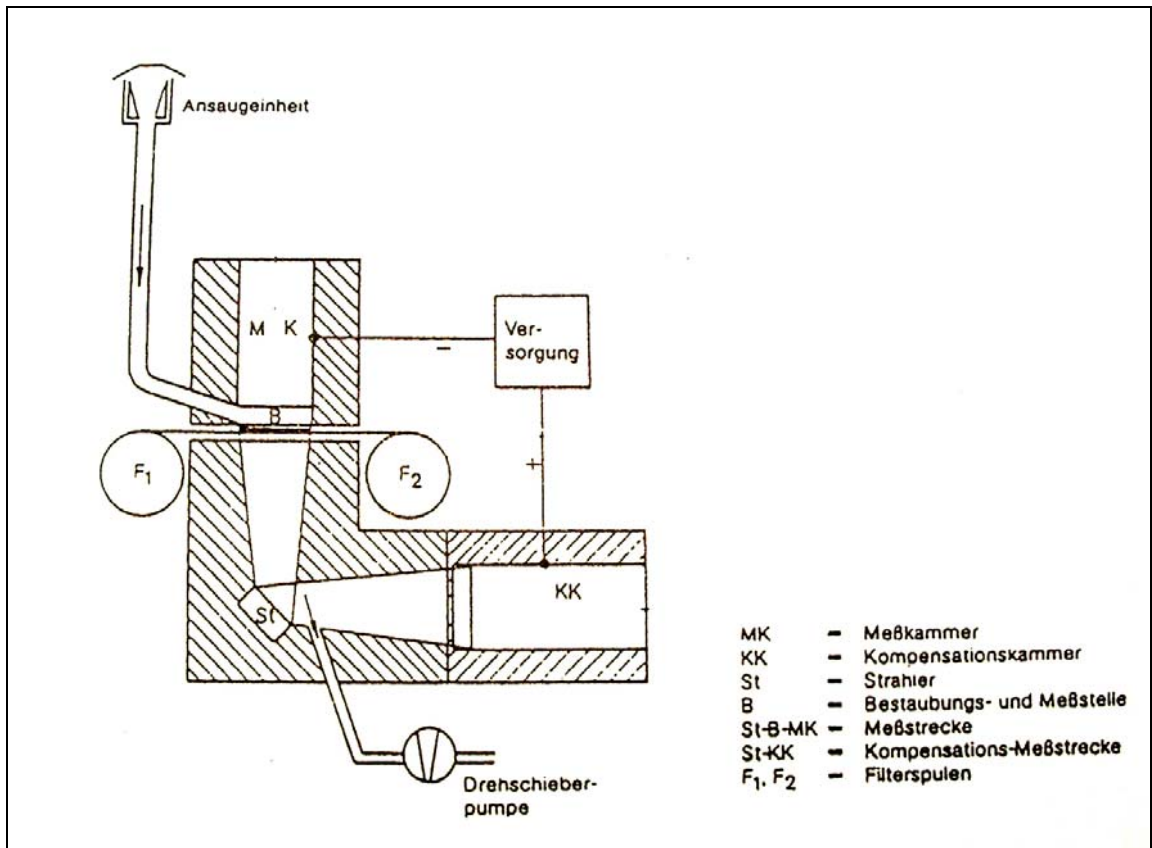


Bild 8: Prinzip der Schwebstaub-Messung durch Betastrahlenabsorption

6.1.2.10 Messung der Schwingung eines staubbeladenen Filters („Staubwaage“)/112, 113/

Bei dieser Art der Schwebstaubmessung wird die Probeluft durch einen Filter geleitet, der Teil eines in Eigenresonanz schwingenden Systems ist. Sie ist je nach verwendetem Probenahmekopf für fraktionierende und nichtfraktionierende Schwebstaubmessung geeignet.

Der im Filter abgeschiedene Staub vergrößert die schwingende Masse und verringert damit die Resonanzfrequenz. Über die bei der Kalibrierung ermittelte Beziehung zwischen Frequenz und Staubbelastung ergibt sich unter Berücksichtigung des Probeluftvolumens die Schwebstaubkonzentration. Die Funktionsweise dieses Verfahrens ist im Anhang 3 beim eignungsgeprüften Gerät TEOM 1400a (MLU Messtechnik für Luft und Umwelt) graphisch dargestellt, welches nach dem Prinzip der Resonanzschwingung arbeitet.

6.2 Diskontinuierliche Messungen

Die in der Bundesrepublik gebräuchlichen Verfahren für diskontinuierliche Immissionsmessungen werden zum großen Teil in Richtlinien und Normen des Handbuchs Reinhaltung der Luft der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN beschrieben /5/. Diese sind im Anhang 2 zusammengestellt.

Die diskontinuierlichen, meist manuellen Immissionsmessverfahren zeigen eine große Vielfalt bei den meist getrennten Schritten der *Probenahme* im Gelände und der *Analyse* im Laboratorium.

6.2.1 Probenahme

Die zahlreichen Methodiken der Probenahme können aus einer zusammenfassenden Darstellung ersehen werden /114/. Dort wird zwischen folgenden Techniken der (diskontinuierlichen wie auch kontinuierlichen) Probenahme unterschieden:

1. Ohne Ansaugen, ohne Abscheiden (In-situ Techniken, „remote sensing“);
2. Ohne Ansaugen, mit Abscheiden („passive sampling“; Anreicherungsverfahren wie das Glocken-Verfahren nach Liesegang; die Bleikerzenmethode /15/; nasse Deposition; Staubniederschlag), Trichter-Absorber-Verfahren, Benzolmessung mit Passivsammlern;
3. Mit Ansaugen, ohne Abscheiden (Gassammelbehälter; einige kontinuierliche Messverfahren);
4. Mit Ansaugen, mit Abscheiden (Sorptionsmethoden; Staubabscheidung).

Die letztgenannte Gruppe dominiert bei diskontinuierlichen Immissionsmessungen. Übliche Probenahmeapparaturen für das Ansaugen der Probeluft und für die Abscheidung des zu analysierenden Fremdstoffes sind im Bild 9 skizziert und zwar für Probenahmen

- mit Gasvolumenmessung oder
- mit kritischer Düse.

Die Probenahmetechnik mit einer kritischen Düse ermöglicht den Verzicht auf die Messung von Strömung oder Luftvolumen und damit die Verwendung recht einfacher Apparaturen. Nach Erreichen eines bestimmten Unterdruckes („kritischer Druck“) hinter der Düse stellt sich eine konstante Strömungsgeschwindigkeit ein. Sie kann durch Kalibrieren im Laboratorium bestimmt werden. Im Gelände wird dann das Probeluftvolumen einfach mittels einer Stoppuhr ermittelt. Die verwendete Pumpe muss den kritischen Druck sicher überschreiten. Die Düsen müssen aus einem Material (z.B. Korund) hergestellt sein, das keine temperaturabhängige Dehnung aufweist. Die Kalibrierung der Düsen ist in Abständen zu wiederholen.

Die bei diskontinuierlichen Immissionsmessungen dominierenden Vorrichtungen zur Abscheidung von luftverunreinigenden Stoffen aus der Probeluft sind

- Waschflaschen zur Absorption von (insbesondere anorganischen) Gasen,
- Sorptionsvorrichtungen (beschickt mit Polymeren, Aktivkohle, Silikagel o. a.) für organische (und auch anorganische) Gase,
- Filter für partikelförmige Stoffe und
- Impaktoren für Korngrößenbestimmungen von Stäuben.
- Trichter-Absorber-Probennahme

Die für Immissionsmessungen eingesetzten Waschflaschen-Typen sind im Bild 10 skizziert.

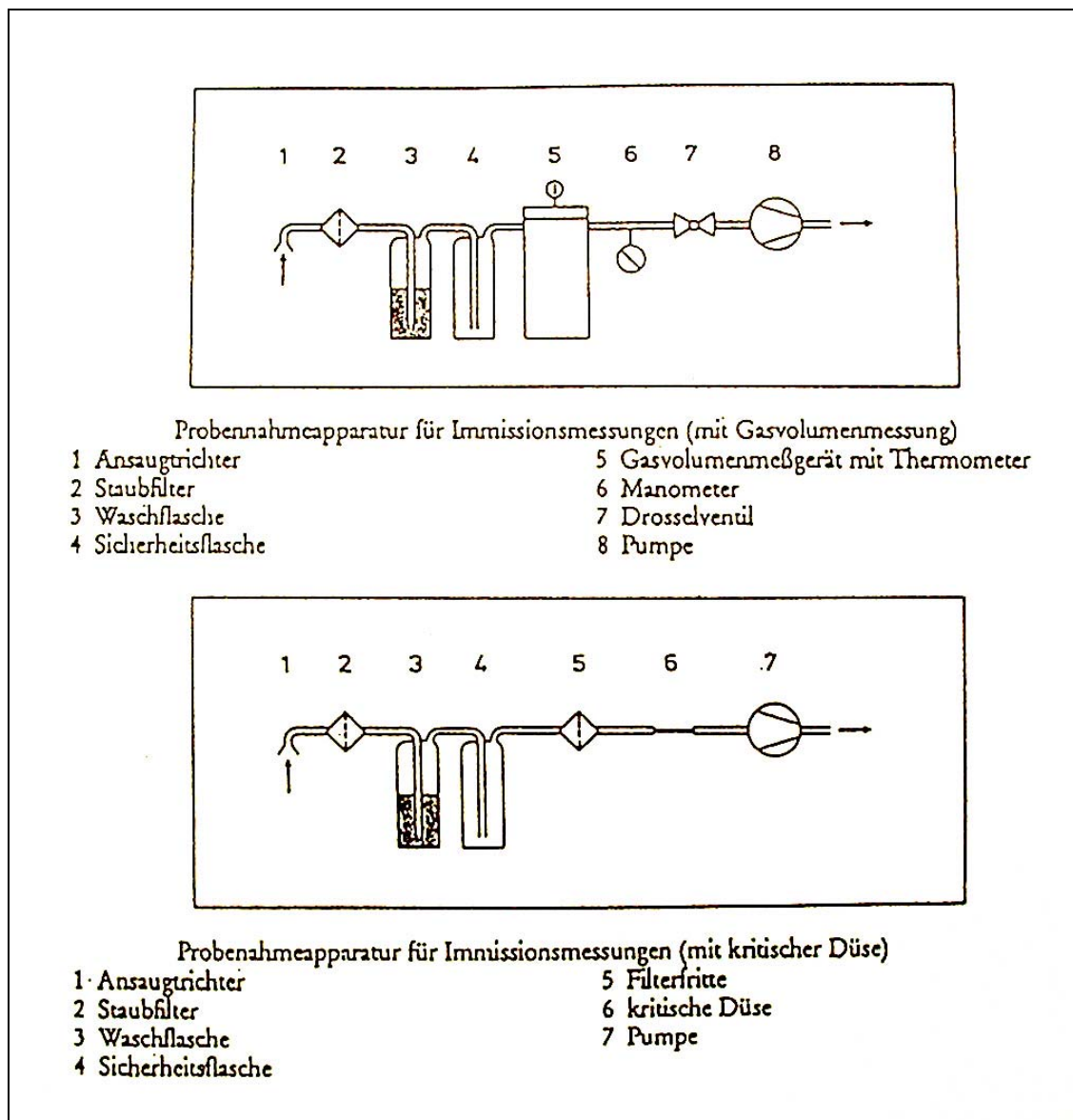


Bild 9: Probennahmeapparatur für Immissionsmessungen

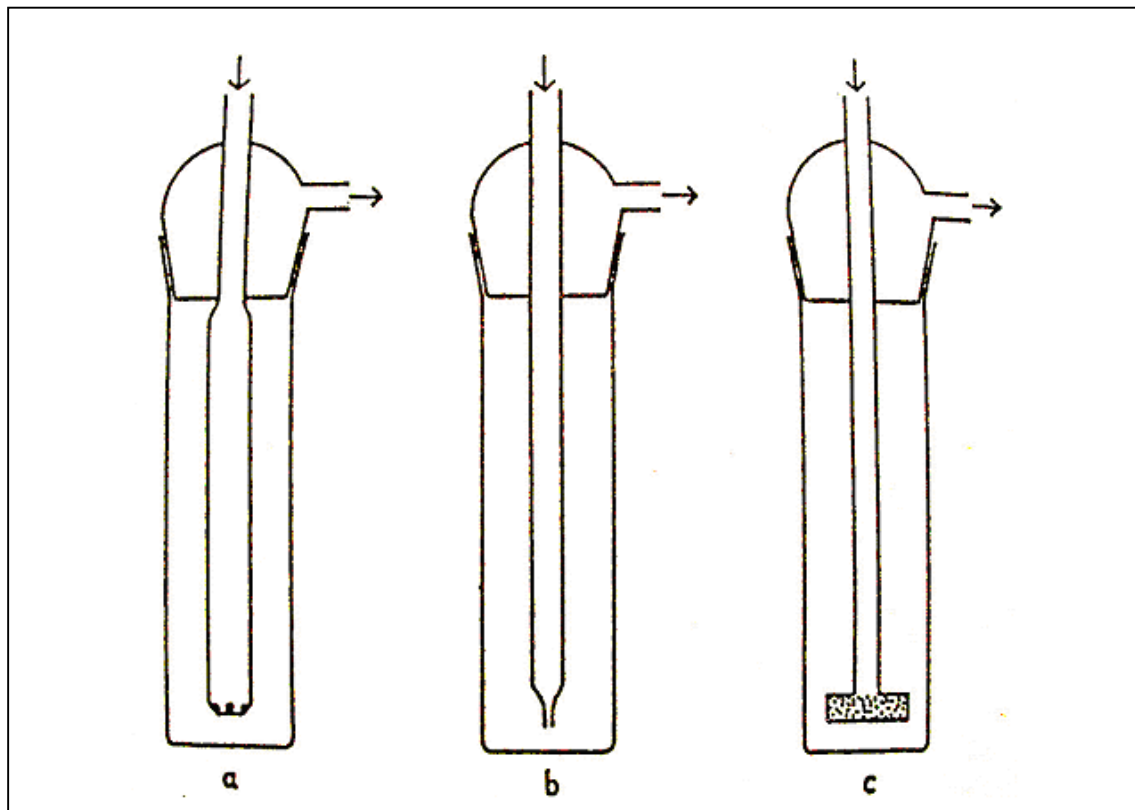


Bild 10: Probenahme-Waschflaschen für Immissionsmessungen (schematisch)
 a) Muenke-Waschflasche b) Impinger c) Frittenwaschflasche

Im Impinger tritt die Probeluft durch eine Düse mit hoher Geschwindigkeit in die Absorptionsflüssigkeit ein und wird mit dieser stark verwirbelt. Der Absorptionsgrad ist bei chemischer Reaktion zwischen dem zu analysierenden Gas und der Absorptionslösung günstig. Vorteile des Impingers sind ein hoher Luftdurchsatz und eine leichte Reinigungsmöglichkeit.

Frittenwaschflaschen werden in unterschiedlicher Konstruktion eingesetzt. Das langsame Perlen der Luftprobe durch die Absorptionsflüssigkeit kann Vorteile im Absorptionsgrad ergeben.

Die Muenke-Waschflasche, bei der die Probeluft aus dem Einleitungsrohr seitlich in die Absorptionslösung geleitet wird, nimmt hinsichtlich der Absorptionseigenschaften (und der Reinigungsmöglichkeit) eine Mittelstellung zwischen Impinger und Frittenwaschflasche ein.

Seltener wird bei den Probenahmen für diskontinuierliche Immissionsmessungen eine trockene Sorption des zu messenden anorganischen Gases vorgenommen. Als Sorptionsmittel werden für Schwefelwasserstoff beschichtete Glaskugeln (VDI 2454, Blatt 1 /5/) und für Fluorwasserstoff beschichtete Silberkugeln (VDI 2452, Blatt 2 und 3 /5/) verwendet. Filter als Sorptionsmittel für Gase haben in Deutschland kaum Eingang in die Immissionsmesstechnik gefunden.

Für die Trennung von gasförmigen und partikelförmigen Luftverunreinigungen bei der Probenahme werden eingesetzt:

- Filter zur Abtrennung der Partikel von Gasen.
Fehlermöglichkeiten bestehen hier insbesondere in einer Abscheidung auch von Gasen durch den Filter oder durch auf dem Filter abgeschiedenen Staub oder Kondensat.
- Denuder (Diffusionsabscheider), zur Abtrennung von Gasen von Partikeln (Bild 11).

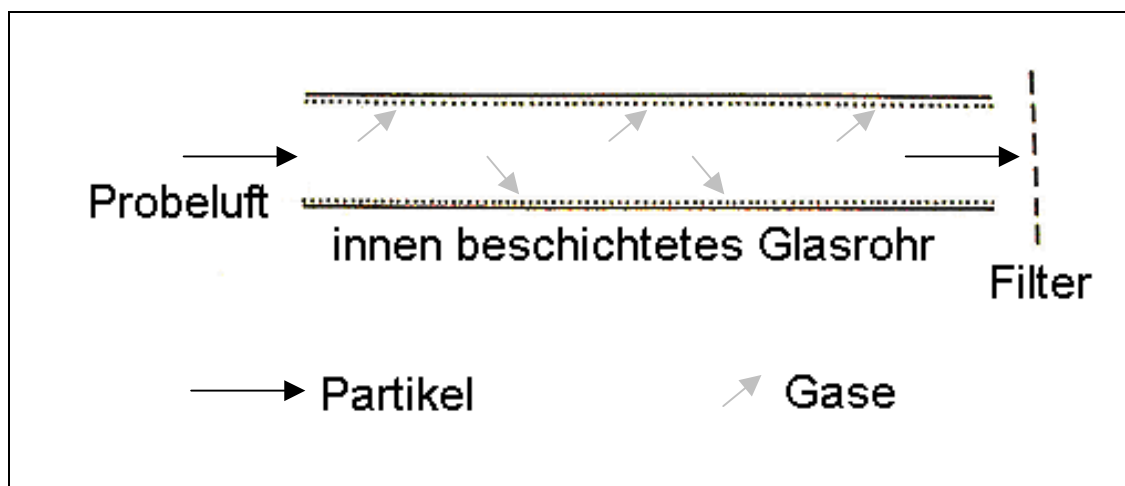


Bild 11: Denuder (Prinzip)

Die Probeluft wird in laminarer Strömung durch ein Denuder-Rohr gesaugt, dessen Innenwand mit einem Absorptionsmittel für das zu messende Gas beschichtet ist. Das durch Diffusion an die Wandung gelangende Gas wird dort abgeschieden. Die Methode wird z.B. für die Bestimmung von Aerosol-Schwefelsäure (mittels eines auf 135°C beheizten Denuders) eingesetzt (VDI 3869, Blatt 1 /5/).

Die oben unter 2. benannte Probenahmetechnik "Ohne Ansaugen, mit Abscheiden" wird heute meist als „passive Probenahme“ (passive sampling) bezeichnet. Diese früher - mangels anderer geeigneter Probenahmemethoden - weit verbreitete Arbeitsweise /15, 115/, wird auch heute noch (bzw. wieder) wegen ihres geringen Aufwandes für verschiedene Messaufgaben eingesetzt, insbesondere bei Innenraumluftuntersuchungen, aber auch für Immissionsmessungen. Anforderungen beim Einsatz von Passivsammlern zur Bestimmung liegen als Norm-Entwurf vor /116/.

Besondere Bedeutung erlangte der Passivsammler nach Palmes, ein etwa 75 mm langes Plexiglas-Röhrchen (innerer Durchmesser 10 mm), das zur Absorption des zu messenden Gases beschichtete Drahtnetze enthält /117/. Die Palmes-Röhrchen bewährten sich bei NO₂-Messungen in Außenluft /118, 119/.

Die passive Probenahme erfolgt ohne Pumpe oder Zusatzgeräte und ist daher lautlos, wenig aufwendig und einfach auszuführen. Der luftfremde Stoff gelangt durch Diffusion, Permeation oder direkten Übergang in ein Ad- oder Absorptionsmittel. Für diese ad- bzw. absorptive Sammlung werden z.B. (meist mit einem Reagens) imprägnierte Filter oder Röhrchen verwendet, welche das Ab- bzw. Adsorptionsmittel enthalten.

Mit Passivsammlern erzielt man Mittelwerte über relativ lange Expositionszeiten (ein oder mehrere Tage). Für die Erfassung kurzzeitiger Immissionsspitzen reicht in der Regel die Nachweisgrenze nicht aus.

6.2.2 Analyse von anorganischen Gasen

6.2.2.1 Photometrische Verfahren

Die dominierende Arbeitsweise zur Bestimmung anorganischer Gase in atmosphärischer Luft ist die photometrische Bestimmung der in einer wässrigen Absorptionslösung aufgefangenen Substanz. Nach dieser Verfahrensweise können

- Schwefeldioxid,
- Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid,
- Schwefelwasserstoff,
- Chlor,
- Chlorwasserstoff,
- Ammoniak,
- Ozon,

sowie auch einige organische Gase bestimmt werden. Tabelle 6.3 zeigt eine Zusammenstellung der in Deutschland gebräuchlichen photometrischen Immissionsmessverfahren.

Komponente	VDI-Richtlinie/ DIN-Norm	Absorptionslösung	Photometrisches Reagens
Schwefeldioxid	VDI 2451 Blatt 3	Tetrachlormercurat-Lösung	Pararosanilin und Formaldehyd
Stickstoffdioxid	VDI 2453 Blatt 1	Reagenslösung	N-Naphtyl-(1)-ethendiammoniumchlorid
Stickstoffmonoxid		Nach Oxidation zu NO ₂ : Messung wie NO ₂	
Schwefelwasserstoff	VDI 2454 Blatt 1	Cadmiumhydroxidsuspension	Molybdänblau
	VDI 2454 Blatt 2	Cadmiumhydroxidsuspension	N,N-Dimethyl-p-phenylendiammoniumdichlorid
Fluorid-Ionen	VDI 2452 Blatt 3	Silberkugel Sorption	Photometrie
Chlor	VDI 2458 Blatt 1	Saure Methylorangellösung	Messung der Farbaufhellung
Chlorwasserstoff (Chlorid)		0,1-mol/l-NaOH	Quecksilberrhodanid und Eisen (III)-Salz
Ammoniak	VDI 2461 Blatt 1	0,005-mol/l-H ₂ SO ₄	Phenol u. Natriumhypochlorid
	VDI 2461 Blatt 2	0,005-mol/l-H ₂ SO ₄	
Ozon	VDI 2468 Blatt 5	5,5-Indigosulfonsäurelösung	Messung der Farbaufhellung
Formaldehyd	VDI 3484 Blatt 1	Tetrachlormercurat-Lösung	Pararosanilin und Sulfit
Phenole	VDI 3485 Blatt 1	0,1-mol/l NaOH	p-Nitranilin

Tabelle 6.3: Photometrische Verfahren zur Messung gasförmiger Immissionen

Bei den photometrischen Verfahren wird üblicherweise das farbbildende Reagenz der Absorptionslösung nach der Probenahme zugegeben. Bei der Bestimmung von Stickstoffdioxid erfolgt diese Zugabe bereits vor der Probenahme. Für Chlor- und für Ozon-Messungen werden farbstoffhaltige Absorptionslösungen verwendet, deren Aufhellung nach der Probenahme photometrisch bestimmt wird.

Voraussetzungen für eine photometrische Analyse sind

- ein auf das zu analysierende Gas weitgehend spezifisches und möglichst empfindliches Reagenz,
- eine Dauer der Farbbildung von möglichst nicht über 30 Minuten,
- ein möglichst scharfes Absorptionsmaximum des gebildeten Farbstoffes,
- die Erfüllung des Lambert-Beer'schen Gesetzes (Linearität zwischen Masse der zu analysierenden Substanz und der Extinktion der Färbung) über einen möglichst großen Konzentrationsbereich und
- eine ausreichende Haltbarkeit der Färbung.

Für die beiden wohl am meisten untersuchten gasförmigen anorganischen Luftverunreinigungen - Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid - wurden schon vor Jahrzehnten international bewährte pho-

tometrische Verfahren entwickelt: Das Tetrachloromercurat-Verfahren (TCM) nach West und Gaeke /120/ zur SO₂-Bestimmung und das Saltzman-Verfahren /121/ zur NO₂-Bestimmung.

6.2.2.2 Andere Verfahren

Als andere Analysenmethoden von Absorptions- und Extraktionslösungen bei diskontinuierlichen Immissionsmessungen - neben der Photometrie - führt das VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft /5/

- die Bestimmung von Fluoriden (Fluorwasserstoff) mittels ionensensitiver Elektroden (VDI 2452 Blatt 1)
- die Ionenchromatographie (IC) zur Bestimmung von Schwefelsäure-Aerosolen (die wegen der überwiegenden Entstehung aus Schwefeldioxid bei den Gasen abgehandelt werden; VDI 3869, Blatt 1)

auf. Diese beiden Methoden - vor allem die Ionenchromatographie - sind auch für andere Messaufgaben geeignet, z.B. für die Bestimmung von Anionen im Schwebstaub, im Staubniederschlag und im Regenwasser.

Bei der Ionenchromatographie werden die Probelösung mittels eines Laufmittels durch eine spezielle Trennsäule (Ionenaustauscher) geleitet, dort aufgetrennt, und die Komponenten bei Austritt aus der Trennsäule durch einen Detektor (Leitfähigkeitsdetektor) bestimmt.

6.2.3 Analyse von organischen Gasen

Die dominierende Methode zur Bestimmung gasförmiger oder verdampfbarer organischer Stoffe in atmosphärischer Luft ist die Gaschromatographie /122/. Die Luftprobe wird in einem Trägergasstrom („mobile Phase“: Stickstoff, Helium) durch eine Trennsäule geleitet und dort durch Absorptions- und Desorptionsvorgänge an der Beschichtung der Säulen in ihre Komponenten zerlegt. „Gepackte“ Säulen sind mit einem porösen, inerten, anorganischen oder organischen Material („stationäre Phase“: Silikagel, Aluminiumoxid, Polymere) gefüllt; Kapillarsäulen sind mit der „stationären Phase“ an den Innenwandungen beschichtet.

Die Austrittszeit am Ende der Säule ist unter definierbaren Arbeitsbedingungen (Gasfluss, Säulenfüllung, Temperatur, Druck) charakteristisch für den zu analysierenden Stoff. Seine Masse wird durch das Signal des hinter die Trennsäulen geschalteten Detektors bestimmt. Als Detektoren stehen zur Verfügung:

- Flammenionisationsdetektor (FID);
- Flammenphotometrischer Detektor (FPD);
- Elektroneneinfangdetektor (ECD), geeignet z.B. für die Bestimmung von Halogenverbindungen;
- Photoionisationsdetektor (PID), besonders geeignet für aromatische Kohlenwasserstoffe;
- Thermoionischer Detektor (NPD), geeignet für Stickstoff- und Phosphorverbindungen;
- Infrarot-Detektor (IRD);
- Atomemissionsdetektor (AED).

Durch den Einsatz eines Massenspektrometers am Ausgang der gaschromatographischen Trennsäule lassen sich die einzelnen Bestandteile auch unbekannter Luftproben identifizieren. Das „GC/MS“-Verfahren ist heute die leistungsfähigste Methode für Immissionsmessungen von organisch-chemischen Stoffen.

Absorptions- oder Extraktionslösungen mit organischen Komponenten können mittels der - der Gaschromatographie ähnlichen - Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC) analysiert werden (VDI 2467, Blatt 2 /5/). Hier werden die Probenlösungen in einem Flüssigkeitsstrom durch spezielle Trennsäulen geführt und die aufgetrennten Komponenten in einem Durchflussdetektor - z.B. in der Durchflussküvette eines UV- oder Fluoreszenz-Spektrometers - bestimmt. Die Methode wird vor allem für die Untersuchung partikelförmiger, gegen höhere Temperaturen empfindlicher Luftverunreinigungen eingesetzt.

Als ein kostengünstiges Verfahren zur schnellen und selektiven Bestimmung komplizierter organischer Schadstoffe in der Luft wird eine immunologische Analyse beschrieben /123/. Sie besteht aus der Probenahme (z.B. Kryosammeltechnik) und der immunologischen Nachweisreaktion. Es sollen Substanzen bestimmt werden, die nach den üblichen chemischen Methoden nur sehr aufwendig (hohe Voranreicherung; hoher Trennaufwand) analysiert werden können. Als Beispiel wird die Messung des Triazinherbizids Atrazin genannt. Als weitere zu erprobende Stoffklassen werden polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, halogenierte Dibenzodioxine bzw. Dibenzofurane, halogenierte Phenoxyessigsäuren und nitrierte aromatische Kohlenwasserstoffe bezeichnet.

6.2.4 Messung von Schwebstaub und Partikeln (PM₁₀)

Schwebstaubmessungen können mittels entsprechender Probenahmeköpfe sowohl mit als auch ohne Fraktionierung nach der Partikelgröße vorgenommen werden.

Als Probenahmegeräte für diskontinuierliche Schwebstaub-Messungen nach dem Filterverfahren werden in der Bundesrepublik vor allem

- das LIB-Gerät (VDI 2463, Blatt 4 und 9 /5/) mit einem Probeluftvolumenstrom von ca. 15 m³/h und
- das Kleinfltergerät (VDI 2463, Blatt 7 /5/) mit einem Probeluftvolumenstrom von ca. 3 m³/h

eingesetzt. Das VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft /5/ führt noch zwei weitere, diskontinuierlich arbeitende Filtergeräte auf, das (heute nicht mehr hergestellte) TBF 50f-Gerät (VDI 2463, Blatt 3; Volumenstrom ca. 3 m³/h) und den High Volume Sampler HV100 (VDI 2463, Blatt 2).

Der in den USA entwickelte High Volume Sampler hat den Vorteil eines hohen Probeluftvolumenstroms (fast 100 m³/h), der eine hohe, für Analysen gut geeignete Staubmasse sammeln lässt. Nachteile sind die Geräuschentwicklung und die Messung nur des momentanen Volumenstromes (Schwebekörper-Durchflussmesser), nicht aber des Probeluftvolumens, sofern nicht eine Modifikation des Gerätes mit einem Quantometer zur Messung des Volumens /124/ verwendet wird.

Der Schwebstaubgehalt der Probeluft wird durch Wägung des Filters (meist aus Glasfasern oder Quarzfasern) vor und nach der Probenahme unter definierten Bedingungen /125/ ermittelt.

Das LIB-Gerät wurde für einen stationären Einsatz entwickelt, das Kleinfltergerät insbesondere auch für einen mobilen Einsatz. Besondere Kennzeichen des Kleinfltergerätes sind:

- geringes Gewicht;
- leiser Betrieb;
- Messung des Probeluftvolumens durch ein Flügelrad-Anemometer oder durch eine Messblende;
- geregelter Luftdurchsatz;
- Vorwahlmöglichkeit für Anfang und Ende der Probenahme;
- Wechsel des Filters *mit* dem Probenahmekopf und dadurch Vermeidung von Fehlern bei einem Filterwechsel durch ungeübtes Personal;
- Einsatz verschiedener Probenahmeköpfe für die nichtfraktionierende und fraktionierende Staubbmessung;

- Möglichkeit einer externen Anordnung des Probenahmekopfes vom Gerät ohne Störung der Messung durch Staubabscheidung im Probenmesystem.

Ein „Basisverfahren“ für den Vergleich von nichtfraktionierenden Schwebstaub-Messverfahren wird in der VDI-Richtlinie 2463, Blatt 8 /5/ beschrieben. Der in der Probeluft enthaltene Schwebstaub wird über ein genau definiertes Probenmesystem /126/, das dem des Kleinfiltergerätes entspricht, auf einem Glasfaserfilter abgeschieden und gewogen. Der Probenahmekopf dieses Systems ist in Bild 12 wiedergegeben. Das Basisverfahren ist als Referenzverfahren für die bundeseinheitliche Praxis bei der Überwachung der Immissionen festgelegt /127/.

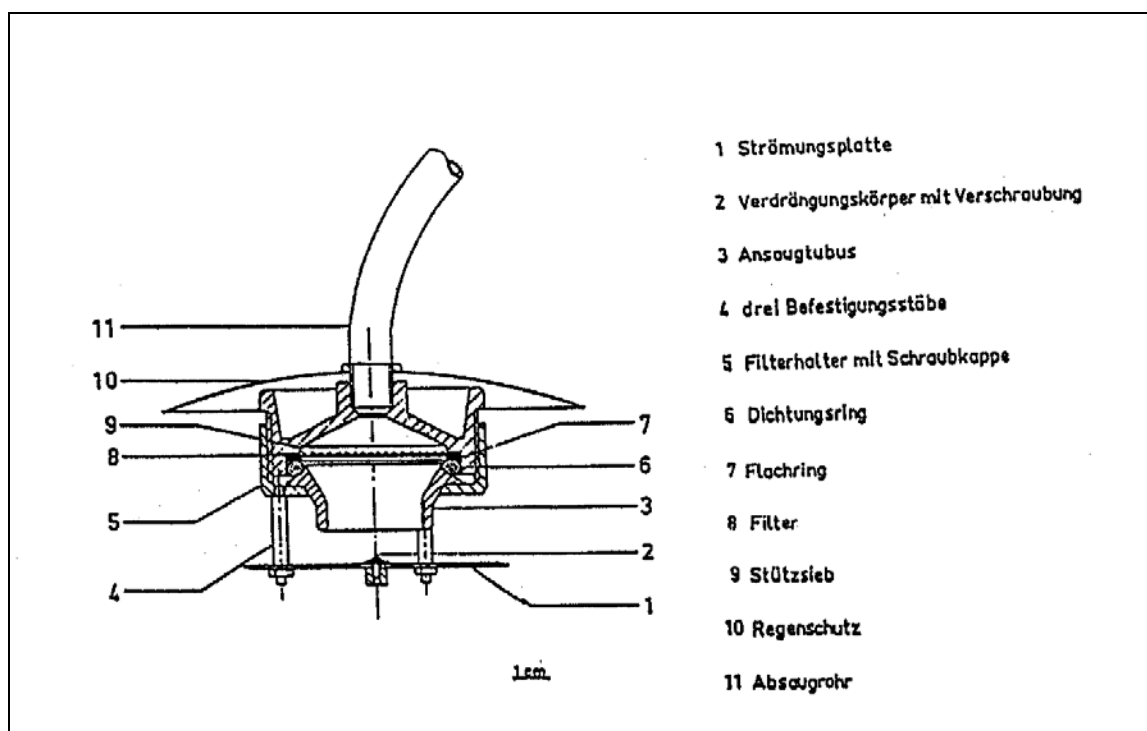


Bild 12: Probenahmekopf für nichtfraktionierende Schwebstaub-Messungen

Für kontinuierliche Probenahmen bei der gravimetrischen Schwebstaubbestimmung können automatische Filterwechsler dienen (VDI 2463, Blatt 10 und 11 /5/; /128/). Über 37 bzw. 15 Filterhalter können nach einer vorwählbaren Probenahmedauer nacheinander eingesetzt und nach der Probenahme in einem Magazin verwahrt werden.

Als Referenzverfahren für die PM₁₀-Messung ist ein manuelles, gravimetrisches Staubmessverfahren nach DIN EN 12341 /5, 129/ festgelegt. Konstruktions- und Leistungsmerkmale für PM₁₀-Referenzgeräte sind für niedrige (2,3 m³/h, hohe (68 m³/h) oder sehr hohe (996 m³/h) Volumenströme genormt.

Die Konstruktionsangaben für die Probeneinlässe sind in den Abbildungen 13, 14 und 15 dargestellt.

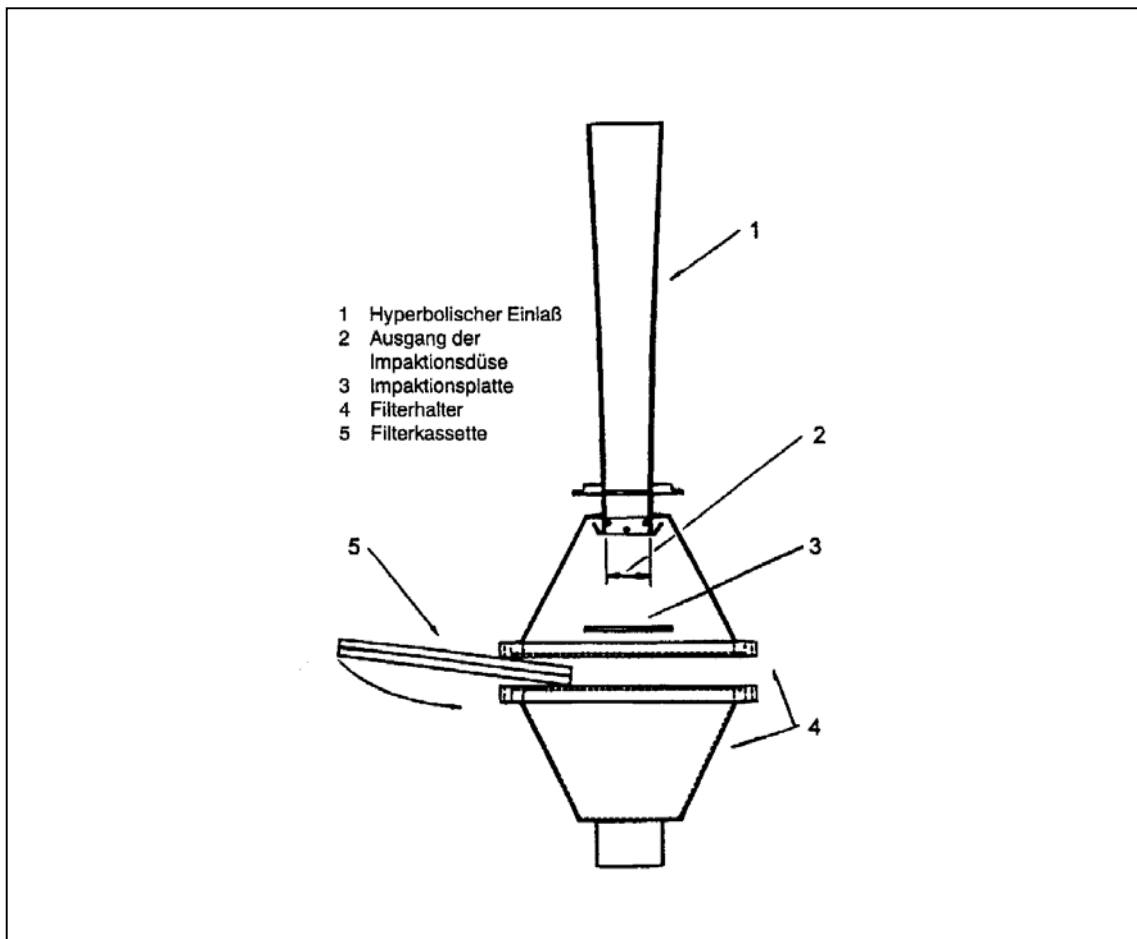


Bild 15: PM10-Stufe des WRAC-Gerätes

Die PM10-Referenzgeräte arbeiten nach dem Impaktionsprinzip (siehe auch Kapitel 6.2..5).

Die Probeluft wird durch 8 (LVS-Gerät) oder 9 (HVS-Gerät) Impaktionsdüsen mit hoher Geschwindigkeit auf eine Impaktionsplatte geleitet. Das WRAC-Gerät verfügt über vier parallel betriebene Impaktoren mit isokinetischem Probeneinlass für verschiedene Trenndurchmesser und eine Sammeleinrichtung für den Gesamtschwebstaub. Als Abscheidemedien kommen jeweils Quarzfaserfilter mit einem Abscheidegrad von > 99,5 % zur Anwendung.

Die DIN EN 12341 /5, 129/ beschreibt Feldprüfverfahren zum Nachweis der Gleichwertigkeit von (kontinuierlichen) Messverfahren zur Ermittlung der PM₁₀-Fraktion mit der (gravimetrisch-manuellen) Referenzmessmethode.

In der Bundesrepublik wurde im Jahr 2002 an rund 560 Stationen Schwebstaub gemessen /57/, wobei an ca. 460 Stationen die Angabe als PM₁₀ erfolgte. An ca. 180 Stationen erfolgte die Bestimmung gravimetrisch-diskontinuierlich (Stichprobenumfang zur Angabe des Jahresmittelwertes 50 –180).

6.2.5 Messung von schwarzem Rauch (Black Smoke) /130, 131/

Bei dem in Großbritannien entwickelten Black-Smoke-Verfahren wird der bei niedrigem Probeluftvolumenstrom ($2 \text{ m}^3/\text{Tag}$) auf einem Filter abgeschiedene Staub mittels eines Reflexionsphotometers gemessen. Die photometrisch gemessenen Black-Smoke-Werte werden mit Hilfe einer früher aufgestellten Kalibrierkurve in gravimetrische Werte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) umgerechnet. Das Black-Smoke-Verfahren erlangte Bedeutung auch in Deutschland, weil Grenzwerte für Schwebstaub in einer Richtlinie der Kommission der Europäischen Gemeinschaften /28/ auf Messergebnisse dieses Verfahrens bezogen sind (s. Kapitel 4.2). Diese Richtlinie ist bis zum 01.01.2005 teilweise weiterhin gültig.

Umfangreiche Vergleichsmessungen nach dem Black-Smoke-Verfahren und den in Deutschland üblichen gravimetrischen Methoden zeigten /132/, dass bei starken zeitlichen wie räumlichen Schwankungen die gravimetrischen Messwerte etwa dreimal höher als die ebenfalls in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ angegebenen Black-Smoke-Werte lagen. Gravimetrie und Reflektometrie erfassen offensichtlich verschiedene Messobjekte. So hat u.a. die Staubfarbe wegen des unterschiedlichen Reflexionsgrades der Partikel einen erheblichen Einfluss auf das Messergebnis /133/.

Für die Black-Smoke-Methode wurde eine Probenahmeapparatur entwickelt, die mit 8 nacheinander einsetzbaren Filtereinheiten ausgerüstet ist. Sie ermöglicht bei 24-Stunden-Proben einwöchige Probenahmen ohne Wartung.

6.2.6 Messung von Korngrößen

Korngrößen-Bestimmungen von Schwebstaub werden bislang nicht in Richtlinien des VDI-Handbuches Reinhaltung der Luft /5/ beschrieben. Sie werden üblicherweise nach dem Impaktor-Prinzip vorgenommen /134/.

Im Impaktor wird die Probeluft durch eine Düse mit hoher Geschwindigkeit auf eine Impaktionsplatte geleitet. Dort wird der Staub durch seine Trägheit entsprechend der Korngröße abgeschieden, während die Luft mit nicht abgeschiedenen (kleineren) Staubfraktionen seitlich abgeführt wird. Die Abscheidung der Partikel hängt insbesondere von der Strömungsgeschwindigkeit, vom Düsendurchmesser und vom Abstand der Düse von der Platte ab. Bei Variationen dieser Größen (insbesondere abnehmende Düsendurchmesser) in den hintereinandergeschalteten Düsen eines „Kaskaden-Impaktors“ gelingt die nach Korngrößen getrennte Abscheidung des Schwebstaubes aus der Probeluft.

Bei einer Weiterentwicklung des Impaktor-Prinzips, bei dem „Vieldüsen-Impaktor“ (z.B. Andersen-Impaktor /135, 136/) sind die Düsen durch Lochplatten mit abnehmenden Lochdurchmessern ersetzt. Dadurch wird ein erheblich höherer Probeluftdurchsatz und die Abscheidung größerer Staubmengen ermöglicht, die eine direkte Massenbestimmung durch Wägung erlauben und auch für chemische Analysen genutzt werden können. Hinter der letzten Impaktorstufe werden feinste Staubanteile von einem Filter zurückgehalten.

6.2.7 Messung ultrafeiner Partikel /Nanopartikel

Aufgrund neuerer Erkenntnisse sind ultrafeine Partikel und Nanopartikel sowohl in Bezug auf Gesundheitsaspekte (Atemwegs- und Kreislauferkrankungen) als auch aufgrund klimatischer Effekte (Treibhauseffekt) in der Diskussion.

Methoden zur Immissionsmessung ultrafeiner Partikel und Nanopartikel sind bislang noch nicht in Rechtsvorschriften, Normen oder VDI-Richtlinien festgeschrieben. Es existieren auch keine verbindlichen Immissionsgrenzwerte.

Die Bezeichnungen Nanopartikel und Feinpartikel sind nicht standardisiert. In der Literatur werden häufig die folgenden Korngrößenbereiche genannt:

Ultrafeine Partikel: ca. 0,05 μm bis 0,1 μm

Nanopartikel: < 0,05 μm

Die Messverfahren zur Bestimmung ultrafeiner Partikel und Nanopartikel lassen sich einteilen in:

- Bestimmung der Partikelmasse
- Bestimmung der Partikelzahl

Die Bestimmung der Partikelmasse kann gravimetrisch oder unter Ausnutzung der trägen Masse der Partikel erfolgen.

Bei TEOM (Tapered Element Oscillation) und QCM (Quarz Crystal Microbalance) wird die Verstimmung eines Quarzoszillators gemessen, die aus der zusätzlichen Partikelmasse resultiert.

Anstelle einer gravimetrischen Bestimmung (die bei geringen Partikelkonzentrationen lange Messzeiten voraussetzt) kann auch eine oberflächenbasierende Messung mittels elektrischer Aufladung der Partikel vor Eintritt in einen Niederdruckimpaktor erfolgen. Im Niederdruckimpaktor wird der Gasstrom stark beschleunigt, um die geringen Trägheitskräfte zu erhöhen. Bei diesem Messprinzip (ELPI; Electrical Low Pressure Impaktor) wird der auf der Impaktionsstufe eintreffende Strom mit einem Elektrometer gemessen. Die Ladung kann durch Diffusion von Gasionen (DC), oder durch Licht (PAS, PC) erfolgen.

Als weiteres Verfahren zur Bestimmung der Partikelmasse ist das Aethalometer zu nennen. Messgröße ist die (kontinuierlich erfasste) Abschwächung eines Lichtstrahls durch ein Filter während dessen Beladung mit Aerosolteilchen. Dabei wird über einen Teil des Filters Luft gesaugt und die darin enthaltenen Partikel abgesaugt. Eine stabilisierte Lampe beleuchtet gleichmäßig die beladene und unbeladene Filterfläche. Die durch die beiden Filterflächen transmittierte Strahlung wird mittels zweier Photodioden gemessen, die ein Referenzsignal und das eigentliche Messsignal liefern. Der negative natürliche

Logarithmus der beiden Signale ist als optische Abschwächung (Attenuation) definiert. Die Differenz der optischen Abschwächungen zu verschiedenen Zeitpunkten ist (innerhalb eines bestimmten Messbereiches) direkt proportional zur Änderung der Massenbelegung des Filters.

Gesamtpartikelzahlen lassen sich mit dem Prinzip des Kondensationskernzählers (CNC/CPC) bestimmen. Da die als Messgröße dienende Lichtabsorption mit dem Partikeldurchmesser stark abnimmt, werden die Feinpartikel künstlich (meist durch Anlagerung organischer Flüssigkeiten) vergrößert. Zur Bestimmung von Korngrößen kann dem Kondensationskernzähler ein elektrischer Klassierer (DMA=Differential Mobility Analyzer) vorgeschaltet werden. Dabei werden die im Messgasstrom enthaltenen Partikel elektrisch geladen. Der Messgasstrom wird als Hüllstrom auf einen Reinluftstrom gegeben und durch ein elektrisches Feld geführt. Abhängig von der anliegenden Spannung können nur Partikel einer bestimmten Größenklasse den DMA passieren. Diese Kombination aus Kondensationskernzähler und elektrischem Klassierer wird als SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) bezeichnet.

In optischen Partikelzählern werden einzelne Partikel mit dem Probenahmestrom durch ein beleuchtetes Messvolumen transportiert. Im Messvolumen streuen die Partikel das Licht, das von einem Photodetektor in elektrische Signale umgewandelt wird. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass sich nur ein Partikel im Probeluftvolumen befindet und das Licht streut. Eine nachgeschaltete Signalverarbeitung wertet die Signale meist anhand von definierten Schwellenwerten bezüglich Partikelgröße und Anzahl aus. Das Prinzip der Streulichtmessung wird auch als Nephelometrie bezeichnet.

Diffusionsbatterien nutzen die unterschiedlich schnelle Diffusion von Partikeln unterschiedlicher Größe aufgrund der Brown'schen Molekularbewegung durch hintereinander geschaltete Netze oder Blenden. In jeder Stufe der Diffusionsbatterie werden kleinere Partikel anteilig durch Kollisionen mit dem Netz oder der Blende am stärksten zurückgehalten. Aus der Partikelabnahme von einer Stufe zur nächsten lassen sich Größenverteilungen bestimmen. Die Partikel werden meist mit Kondensationskernzählern nachgewiesen.

Als neuere Entwicklungen sind die lasergestützten Verfahren LI²SA und photoakustischer Partikelsensor zu nennen.

Bei der Incandescenz (LI²SA) werden die Partikel eines Messgasstromes laserindiziert zum Glühen gebracht. Messgröße ist das Abklingen des Glühlichtes, wobei die Intensität des Glühlichtes mit der Partikelzahl und die Abklingrate mit der Partikelgröße korrelieren.

Beim photoakustischen Partikelsensor wird durch einen gepulsten Laserstrahl ein Ausdehnen und Zusammenziehen der Partikel erzeugt und die hierdurch erzeugte Schallschwingung gemessen.

6.2.8 Messung von Staubniederschlag

Die Ergebnisse von Staubniederschlagsmessungen können durch das eingesetzte Probenahmegerät stark beeinflusst werden. Die gerätebedingten Unterschiede von Messergebnissen können bis etwa 50% betragen /137/.

In der Bundesrepublik Deutschland ist das Bergerhoff-Gerät (VDI 2119, Blatt 2 /5/) das dominierende Gerät für Staubniederschlagsmessungen, weil die Immissionswerte der TA Luft 86 /51/ auf Ergebnisse dieses Gerätes bezogen waren. Weitere Staubniederschlagsmessgeräte sind in der VDI-Richtlinienreihe 2119 beschrieben (Hibernia- und Löbner-Liesegang-Gerät). In Bild 16 ist das Bergerhoff-Gerät skizziert.

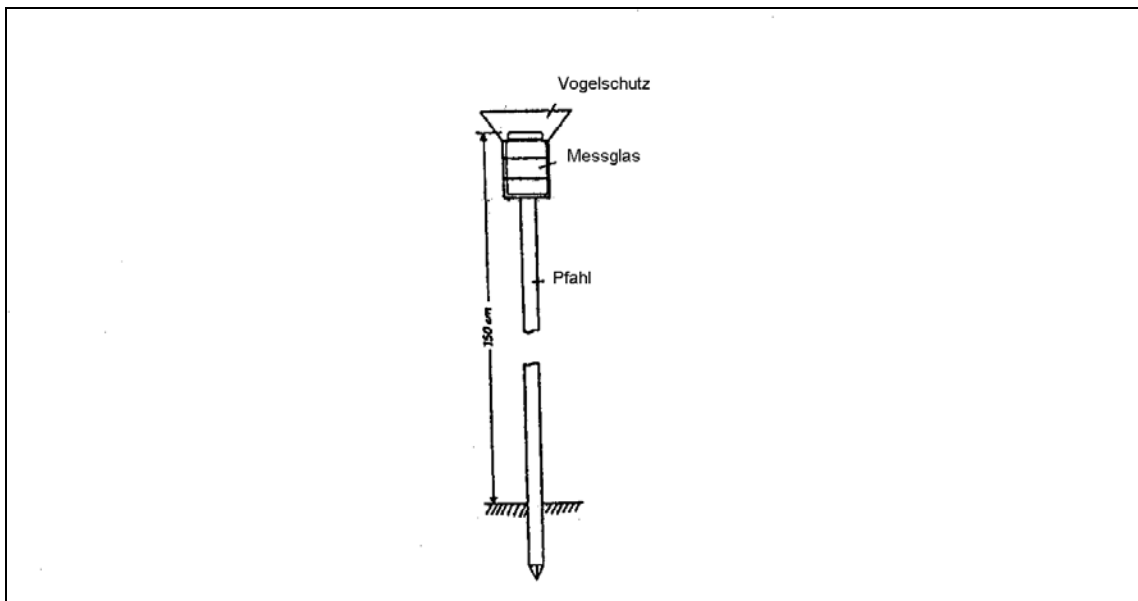


Bild 16: Bergerhoff-Gerät

Das Bergerhoff-Gerät enthält als Auffanggefäß ein gewöhnliches Konservenglas (Firma Weck) von 1,5 l Inhalt (8,9 cm innerer Durchmesser, 62 cm² Auffangfläche). Das Auffangglas wird in eine Vogelschutzvorrichtung aus Draht gestellt, die auf einem etwa 1,5 m langen Eisenrohr im Boden befestigt wird.

Das Auslaufen der Produktion von 1,5-l-Konserven-Gläsern und die Bruchanfälligkeit der Glasgefäße veranlassten vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung, ob bei einer Verwendung von Sammelgefäßen aus Kunststoff Messergebnisse erzielt werden, die an das Bergerhoff-Verfahren angebunden werden können /138/. Statistische Auswertungen ergaben prinzipiell keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messwerten der beiden Verfahren /138/. Das modifizierte Probennahmeverfahren wurde somit 1996 in das VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft /5/ aufgenommen.

In der VDI Richtlinie 2119 Blatt 4 /5/ wird die Messung partikelförmiger Niederschläge durch mikroskopische Unterscheidung und größenfraktionierte Bestimmung der Partikeldeposition auf Haftfolien -Probenahmegerät Sigma-2 beschrieben.

6.2.9 Messung von Staubinhaltsstoffen

Als Bestandteile des atmosphärischen Staubes werden in erster Linie folgende Stoffe bestimmt:

- Metalle, insbesondere Schwermetalle,
- polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und
- Anionen (vor allem Sulfate, Nitrate und Chloride).

6.2.9.1 Metalle

Für einige Metalle sind in Deutschland Immissionsbegrenzungen festgelegt. Die TA Luft /24/, die 22. BImSchV /25/, der Entwurf der vierten EU-Tochterrichtlinie /22/ und die 4. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz /33/ benennen mehrere Metalle bzw. Metallverbindungen als Messobjekte. Die gebräuchlichen Analysenverfahren für Metalle sind /139, 140, 141, 142/:

– **Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) /143/**

Der Extrakt der Staubprobe wird verdampft. Durch diesen Dampf wird das Licht einer Hohlkathodenlampe von derjenigen Wellenlänge geschickt, bei der die Atome des zu messenden Metalls eine Absorption aufweisen. Die Abnahme der Strahlungsintensität ist das Maß für den Metallionengehalt in der Probenlösung. Die Verdampfung der Probelösung kann durch eine Flamme oder durch ein elektrisch beheiztes Graphitrohr erfolgen. Die Flammenmethode ist einfacher auszuführen, die Graphitrohrmethode ermöglicht niedrigere Nachweisgrenzen.

Für einige Metalle und Halbmetalle wurden spezielle Techniken für atomabsorptionsspektrometrische Bestimmungen entwickelt, so die Hydridtechnik (Überführung des Elementes in sein Hydrid vor der Analyse) für Arsen, Antimon und Selen und die Kaltdampftechnik für das leicht flüchtige Quecksilber.

Mehrere VDI-Richtlinien (VDI 2267, Blatt 4 und 7 /5/) beschreiben atomabsorptionsspektrometrische Bestimmungen von Metallen in Schwebstaub bzw. in Staubniederschlag.

– **Atomabsorptionsspektrometrie (ASS) mit Kaltdampftechnik**

Bei diesem Verfahren zur Bestimmung der Massenkonzentration von Quecksilber wird an einem aufgewickelmten Gold-Platinnetz das Quecksilber durch Amalgambildung sorbiert. Gegebenenfalls vorhandenes partikelgebundenes Quecksilber wird durch einen Filter zurückgehalten. Aufgrund des hohen Dampfdruckes von Quecksilber ist nach einer thermischen Desorption eine atomabsorptionsspektrometrische Bestimmung ohne vorherige Atomisierung möglich. Das Verfahren wird in der VDI Richtlinie 2267 Blatt 8 /5/ beschrieben.

– **Atomfluoreszenzspektrometrie (AFS) mit Kaltdampftechnik**

Bei diesem Verfahren zur Bestimmung der Massenkonzentration von Quecksilber wird an einem goldbedampften Trägermaterial das Quecksilber durch Amalgambildung sorbiert und anschließend mithilfe eines Trägergases in den Strahlengang transportiert.

Die Quecksilberatome werden energetisch angeregt und geben beim Übergang auf ein niedrigeres Energieniveau Fluoreszenzstrahlung ab, die gemessen und ausgewertet wird.

Das Verfahren wird in der VDI-Richtlinie 2267 Blatt 9 /5/ beschrieben.

– **Atomemissionsspektroskopie mit Plasmaanregung (ICP-AES) /145, 151/**

Bei dem emissionsspektrometrischen ICP-AES-Verfahren bringt ein elektrisch beheizter Plasmapbrenner die Atome der Probe auf eine Temperatur von etwa 8000 K. Der Brenner ist induktiv mit einem Hochfrequenzgenerator hoher Leistung gekoppelt. Leicht ionisierbares Argon führt zum Übergang in den Plasmazustand. Das induktiv gekoppelte Plasma (ICP) ist das Atomisierungs- und Anregungsmedium für die Probe. Zur Messung gelangt das Emissionsspektrum der in der Probe enthaltenen Atome.

Die ICP-Methode ermöglicht die gleichzeitige Bestimmung zahlreicher Elemente in der Probe. Sie ist wegen dieses Vorteils weit verbreitet und wird in der VDI-Richtlinie 2267, Blatt 5 /5/ beschrieben

– **Optische Emissionsspektrometrie (ICP-OES)**

Bei der optischen Emissionsspektrometrie (ICP-OES) nach Filterprobenahme und Aufschluss in oxidierendem Säuregemisch erfolgt die Elementbestimmung durch Atomemissionsspektrometrie im induktiv gekoppeltem Plasma (VDI 2267, Blatt 5 und 14 (Entwurf) /5/).

– **Massenspektrometrie mit Plasmaanregung (ICP-MS) /146/**

Die massenspektrometrische Bestimmung von zahlreichen Metallen im Staub, der wie beim ICP-AES-Verfahren aufbereitet wird, hat eine wesentlich höhere Empfindlichkeit als die ICP-AES-Methode, bei jedoch höheren apparativen Kosten. Der Entwurf der DIN-Norm 38406-29 /146/ beschreibt die Bestimmung von 61 Elementen in wässrigen Medien und Schlämmen.

– **Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) /147/**

Die RFA arbeitet zerstörungsfrei. An der Staubprobe wird die elementspezifische Fluoreszenzstrahlung gemessen, die nach der Röntgenbestrahlung der Probe auftritt. Die Methode ist im VDI-Handbuch für die Bleibestimmung in Partikeln beschrieben (VDI 2267, Blatt 2, 11 und 12 /5/).

Weitere Methoden zur Bestimmung von Metallen wie die

– **Polarographie**

(Messung von Strom/Spannungskurven bei Redox-Vorgängen an einer Quecksilbertropfektrode) und die

– **Neutronenaktivierungsanalyse**

(eine zerstörungsfrei arbeitende Methode, bei der die charakteristische Gammastrahlung gemessen wird, die Isotopen des zu bestimmenden Metalls nach Neutronenbestrahlung emittieren)

erlangten keine besondere Bedeutung bei der Immissionsüberwachung in Deutschland.

6.2.9.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

Für die Bestimmung polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (wie auch weiterer organischemischer Komponenten von partikelförmigen Luftverunreinigungen) werden in erster Linie chromatographische Verfahren eingesetzt, insbesondere die Gaschromatographie und die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie. Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik nach der Gaschromatographie werden in der VDI-Richtlinie 3875, Blatt 1 /5/ (Innenraumluft) beschrieben.

6.2.9.3 Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane

Verfahren zur Bestimmung der PCDD/F-Deposition sind in der VDI-Richtlinie 2090; Blatt 1 und 2 /5/ beschrieben. Als Analyseverfahren erfolgt eine massenspektrometrische Bestimmung nach gaschromatographischer Trennung (GC/HMRS) nach Bergerhoff-Probenahme (Blatt 1) oder Trichter-Absorber-Probenahme (Blatt 2).

Zur Bestimmung der hochtoxischen Dioxine und der Furane in Innenraumluft beschreibt die VDI-Richtlinie 3498, Blatt 1 und 2 /5/ ein Verfahren, bei dem diese Substanzen bei der Probenahme auf einem Glasfaserfilter (Partikel) und auf einem Polyurethanschaum (Gase) gesammelt werden. Zur Analyse werden Filter und Schaum extrahiert und die Extrakte gereinigt. Nach gaschromatographischer Trennung erfolgt die massenspektrometrische Bestimmung der einzelnen Verbindungen.

6.2.9.4 Anionen

Für die auf Filtern abgeschiedenen Anionen werden im VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft /5/ folgende Methoden beschrieben:

- **Isotopenverdünnungsanalyse** für Sulfat (VDI 3497, Blatt 2)
- **Ionenchromatographie** für Chlorid, Nitrat und Sulfat (VDI 3497, Blatt 3 (Suppressortechnik) und Blatt 4 (Einsäulentchnik)).

Die Ionenchromatographie ist heute auch die bevorzugte Methode zur Bestimmung von Anionen in nassen Niederschlägen (vgl. Kapitel 6.2.2.2).

6.2.9.5 Ruß

“Ruß“ wird nicht chemisch, sondern letztlich durch das Messverfahren definiert. Die kanzerogenen Eigenschaften von Ruß und die mit der 23. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz /27/ eingeführte Überwachung von Ruß-Immissionen durch den Kraftverkehr wiesen seiner Messung eine besondere Bedeutung zu. Nach der 23. BImSchV wird unter Ruß der elementare Kohlenstoff des lungengängigen Feinstaubes in der Außenluft verstanden.

Nach Aufhebung der 23. BImSchV soll Ruß als Teilmenge der Partikel (PM₁₀) vom diesbezüglichen Jahresgrenzwert der 22. BImSchV /25/ mit erfasst werden.

Zur Messung von Ruß in Luft wurden schon verschiedene Verfahren vorgeschlagen. Das “Black-Smoke“-Verfahren (s. Kapitel 6.2.5) kann bedingt auch als eine Rußmessung verstanden werden. Vergleichsmessungen in Deutschland ergaben eine unbefriedigende Nachweisgrenze und unbefriedigende Unsicherheitsbereiche der Methode /148/.

In der VDI-Richtlinie 2465, Blatt 1 /5/ wird ein Verfahren zur Ruß-Immissionsmessung /149/ beschrieben. Zur Probenahme wird ein zur Abscheidung von Feinstaub geeignetes Filtergerät eingesetzt, z.B. das Kleinfiltergerät GS 050/3-C (VDI 2463, Blatt 7 /5/). Im abgeschiedenen Feinstaub wird der Kohlenstoff durch Verbrennen der Probe unter Sauerstoff und coulometrische Messung des dabei gebildeten Kohlenstoffdioxids bestimmt. Eine Vorbehandlung der Proben (Flüssigkeitsextraktion zur Entfernung extrahierbarer organisch-chemischer Verbindungen und Thermodesorption nicht extrahierbarer organischer Verbindungen und anhaftender Lösemittelreste unter Stickstoff) macht das Verfahren spezifisch für elementaren Kohlenstoff.

Die VDI-Richtlinie 2465, Blatt 2 /5/ beschreibt ein Verfahren zur thermographischen Bestimmung des elementaren Kohlenstoffs nach Thermodesorption des organischen Kohlenstoffs. Der Staubprobenahme

nach DIN EN 481 /150/ und DIN ISO 7708 /151/ in Verbindung mit VDI 2463, Blatt 7 /5/ mit PM₁₀-Probenahmekopf folgt eine Pyrolyse und Messung durch einen NDIR-Detektor.

6.2.10 Messung von Asbest und anorganischen Fasern /152/

Asbest und andere anorganische Fasern werden in Immissionsmessungen nicht als Massenkonzentration, sondern als Faserzahlen pro Luftvolumen angegeben. Darüber hinaus wird in der Regel nach Faserlängenklassen differenziert, nach VDI 3492, Blatt 1 /5/, in die Klassen

$$2,5 \mu\text{m} \leq L < 5 \mu\text{m} \text{ und} \\ 5 \mu\text{m} \leq L \leq 100 \mu\text{m}.$$

In der Bundesrepublik Deutschland wurde bei Asbest-Immissionsmessungen gewöhnlich ein Verfahren eingesetzt, das in der VDI-Richtlinie 3492, Blatt 1 näher beschrieben ist. Bei der Probenahme werden die Fasern auf einem mit Gold bedampften Kernporen-Filter abgeschieden. Die Probe wird nach einem speziellen Plasmaveraschungsverfahren weitgehend von organischem Material befreit. An einer Teilfläche des Filters werden die Einzelfasern im Rasterelektronenmikroskop (REM) ausgezählt, nach der Größe klassifiziert und ihre Art mittels der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse (EDXA) identifiziert.

Als eine Folge des Verwendungs- und Herstellungsverbotes asbesthaltiger Produkte haben Messungen von Asbestfasern (insbesondere in Außenluft) nur noch eine untergeordnete Bedeutung. Das Interesse richtet sich verstärkt auf andere anorganische Fasern, z.B. künstliche Mineralfasern (KMF).

Das in der Richtlinie VDI 3492 (Entwurf vom Dezember 2002) vorgeschlagene Verfahren ermöglicht die Messung der Faserzahlkonzentrationen anorganischer Faserförmiger Partikel und deren Zuordnung zu Faserklassen (Chrysotil, Amphiloasbest, Gips, sonstige anorganische Fasern). Die Faserzählung und –zuordnung erfolgt ebenfalls mit REM/EDXA.

Im Zuge des Trends zur internationalen Vereinheitlichung in der Messtechnik wurden die Faserzählregeln der WHO übernommen.

Bei dem in Kürze zu erwartenden Erscheinen der Richtlinie als Weißdruck werden die beiden in der Richtlinienreihe 3492 erschienen Blätter 1 (betrifft Außenluft) und 2 (betrifft Innenraumluft) ersetzt.

7. Qualitätssicherung

Die Durchführung von Immissionsuntersuchungen ist in der Bundesrepublik Deutschland weitgehend durch staatliche Bestimmungen (z.B. TA Luft /24/, 22. und 33. BImSchV /25, 26/) geregelt und erfolgt anhand von staatlich anerkannten Normen und Richtlinien. Die hierfür tätigen Untersuchungsinstitute unterliegen einer fachbehördlichen Aufsicht. Daher fließen neben der Basisnorm für die Qualitätssicherung, der ISO 9000-Serie, und der für die Akkreditierung von Prüflaboratorien zu Grunde gelegten Norm DIN ISO/IEC 17025 /153/ zusätzliche Qualitätsanforderungen aus dem staatlichen Bereich in die Qualitätssicherung ein (z.B. Datenqualitätsziele der 22. und 33. BImSchV).

Die Qualitätssicherungsmaßnahmen bei Immissionsuntersuchungen betreffen die folgenden Handlungsebenen:

- Messplanerische Vorgaben
- Einsatz standardisierter Immissionsmessverfahren (VDI-Richtlinien, Normen, Referenz-, Äquivalenz- und Kalibrierverfahren, eignungsgeprüfte Messgeräte)
- Fachkompetenzermittlung und –bestätigung durch Akkreditierung und Bekanntgabe
- Qualitätskontrolle der Messstellen (Ringversuche, Laboraudits, QM-Systeme)

Die verschiedenen Maßnahmen werden im folgenden dargestellt.

7.1 Messplanerische Vorgaben

Zweck messplanerischer Vorgaben ist das Erreichen eines einheitlichen Qualitätslevels der Messergebnisse durch die Standardisierung der Messdurchführung. Sie sind damit auch unter Qualitätssicherungsaspekten zu betrachten.

Von der EU ist die Messstrategie zur Beurteilung der Konzentrationen verschiedener Schadstoffe in den sogenannten Tochterrichtlinien /19, 20, 21/ neu festgelegt worden und durch Novellierungen des BImSchG /31/, der TA Luft /24/ und der 22. BImSchV /25/ sowie die Einführung der 33. BImSchV /26/ (in Vorbereitung) in deutsches Recht überführt worden.

Eine der wichtigsten Änderungen gegenüber der vorherigen Situation ist durch einen Übergang von der flächenbezogenen auf die punktbezogene Messung und Beurteilung von Belastungen anhand neu bemessener Immissionsrichtwerte gekennzeichnet. Bezüglich der Auswahl der Messorte besteht ein großer Ermessensspielraum, der die Reproduzierbarkeit der Messortfestlegung erschwert und zur

Unsicherheit des Messergebnisses beiträgt. Die VDI-Richtlinienreihe 4280 /54, 55, 56/ ist daher u.a. mit dem Ziel der Vereinheitlichung des Auswahlverfahrens von Probenahmestellen aufgelegt worden.

7.2 Einsatz standardisierter Messverfahren

Die Zielsetzung der Standardisierung von Messverfahren ist ein Erreichen zuverlässiger, vergleichbarer Messergebnisse durch Festlegung vollständiger Verfahren vom Probenahmevergange bis zur Analyse unter Benennung quantitativer Qualitätskenngrößen, den sog. Verfahrenskenngrößen (Nachweisgrenze, Messunsicherheit etc.).

7.2.1 Standardisierung von Messverfahren als VDI-Richtlinien oder Normen

Bereits Ende der 50er Jahre befasste sich die VDI-Kommission „Reinhaltung der Luft“ (heute: Kommission „Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss“) mit der Erprobung und Standardisierung von Immissions-Messverfahren in Form von VDI-Richtlinien. Im Zuge einer Internationalisierung der Luftüberwachung im Bereich der Europäischen Union gewinnen internationale Normen (ISO-Standards und CEN-Normen) an Bedeutung, die zunehmend als DIN ISO- bzw. DIN EN-Normen übernommen werden.

Entscheidendes Kriterium für die Auswahl von Verfahren ist u.a. ihre Eignung zur Beurteilung der Einhaltung oder Überschreitung von in staatlichen Verordnungen festgelegten Immissionswerten oder anderen Wirkungskriterien.

Neben der Standardisierung der eigentlichen Messverfahren sind unter Qualitätssicherungsaspekten die VDI-Richtlinienreihen 3490 (Messen von Gasen; Prüfgase), 3491 (Messen von Partikeln, Prüfaerosole) und 2449 (Prüfkriterien von Messverfahren) zu nennen /5/.

Die Normen DIN ISO 6879 (Verfahrenskenngrößen) /154/, DIN ISO 13752 (Ermittlung der Unsicherheit eines Messverfahrens) /90/ und DIN EN ISO 14956 (Beurteilung der Eignung eines Messverfahrens durch Vergleich mit einer geforderten Messunsicherheit) /99/ sind zur Beurteilung von Messverfahren von Bedeutung /5/ (vgl. Anhang 2).

7.2.2 Eignungsgeprüfte Messgeräte

Durch den Einsatz eignungsgeprüfter Messgeräte wird eine vergleichbare Datenqualität bei der Durchführung kontinuierlicher Immissionsuntersuchungen angestrebt.

Die Mindestanforderungen werden neuerdings in der VDI-Richtlinie 4202 Blatt 1, „Mindestanforderungen an automatische Immissionsmeseinrichtungen zur kontinuierlichen

Überwachung von Immissionen – Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen“ /98/ geregelt und orientieren sich bezüglich der Messunsicherheit an den Bestimmungen der EU-Tochtrichtlinien /19-21/.

Eine entsprechende Richtlinie für optische Fernmesseinrichtungen (VDI 4202, Blatt 2) liegt als Entwurf vor /100/.

Die für die Eignungsprüfung erforderlichen Prüfpläne werden im Rahmen der VDI-Richtlinienarbeit, und zwar in der Richtlinie 4203, Blatt 1, Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen – Grundlagen, und Blatt 3, Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen, z. Zt. Entwurf, standardisiert /101, 102/.

Die Eignungsprüfung wird von hierfür akkreditierten Prüfinstituten vorgenommen.

7.2.3 Referenzverfahren, Äquivalenzverfahren und Kalibrierverfahren

Die 1988 von Fachleuten der Bundes- und Ländereinrichtungen des Immissionsschutzes für den Bereich der Immissionsüberwachung erarbeiteten und vom Bundesumweltministerium im Einvernehmen mit dem LAI erlassenen „Richtlinien über die Festlegung von Referenzverfahren, die Auswahl von Äquivalenzverfahren und die Anwendung von Kalibrierverfahren“ /127/ nennt neben Definitionen und allgemeinen Angaben konkrete Festlegungen von Referenzverfahren für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Ozon, Kohlenmonoxid und Schwebstaub. Da sich im Zeitraum seit dem Erlass der Richtlinie die Immissionsmesstechnik stark auf die Anwendung kontinuierlich registrierender, automatischer Messgeräte verlagert hat und inzwischen diesbezügliche europäische Regelungen zur Immissionsmessung bestehen bzw. erarbeitet werden, ist eine Überarbeitung der Richtlinie erforderlich.

7.3 Fachkompetenzermittlung und –bestätigung der Messstellen durch Bekanntgabe und Akkreditierung

Mit der Durchführung von Immissionsmessungen im Einwirkungsbereich von Anlagen sind gemäss §§ 26, 28 BImSchG Untersuchungsstellen zu beauftragen, die von den obersten Landesbehörden für den Immissionsschutz notifiziert worden sind. Diese Notifizierung wird als Bekanntgabe bezeichnet und besagt, dass die Befähigung einer Messstelle für die Durchführung dieser Messaufgaben festgestellt und anerkannt worden ist.

Zur Erzielung einheitlicher Standards wurde Anfang der 90er die in allen EU-Mitgliedsstaaten gültige Akkreditierung von Prüf- und Kalibrierlaboratorien gemäss der europäischen Norm EN 45001 /155/ eingeführt. An ihre Stelle ist inzwischen die internationale Norm DIN/ISO/IEC 17025 „Allgemeine

Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien“ /153/ getreten. Sie berücksichtigt Übergangsfristen für die nach alter Norm akkreditierten Laboratorien. Insbesondere wird bei der Akkreditierung die Durchführung eines internen Qualitätsmanagement unter Querverweis auf die internationale Normenreihe DIN ISO EN 9000 verlangt.

In der 47. Umweltministerkonferenz (UMK) wurde beschlossen, dass die Feststellung der Kompetenz (Fachkunde) eines im gesetzlich geregelten Umweltbereich tätigen Laboratoriums als Voraussetzung für die Notifizierung nach Wunsch des Antragstellers durch eine private evaluierte Akkreditierungsstelle oder eine hierzu vom Land benannte Stelle durchgeführt werden kann.

Der Kompetenznachweis hat entsprechend der europäischen Norm DIN EN 45001 /155/ bzw. in deren Nachfolge der DIN/ISO/IEC 17025 /153/, „Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien“ /148/ zu erfolgen.

Die Umsetzung der Zusammenarbeit von privaten und staatlichen Stellen erfolgt auf Grundlage der „Vereinbarung über das Zusammenwirken der Länder mit beteiligten Akkreditierungsstellen im Umweltbereich“ /157/ und der „Verwaltungsvereinbarung über den Kompetenznachweis und die Notifizierung von Prüflaboratorien und Messstellen im gesetzlich geregelten Umweltbereich“ /158/. Beide Vereinbarungen wurden von den Ländern und Akkreditierungsstellen durch Zeichnung in Kraft gesetzt und im Bundesanzeiger veröffentlicht.

Neben diesen, den gesamten gesetzlich geregelten Umweltbereich betreffenden Beschlüssen wurden spezifische Regelungen für den Immissionsschutz aufgestellt.

Zur notwendigen Vereinheitlichung der von privaten und staatlichen Akkreditierungsstellen zugrundegelegten Anforderungen dient der im LAI erarbeitete „Fachkundenachweis für Ermittlungen im Bereich des Immissionsschutzes“, auch „Modul Immissionsschutz“ /159/ genannt.

Weiterhin wurden die Richtlinien des LAI für die Bekanntgabe und die Zulassung von sachverständigen Stellen im Bereich des Immissionsschutzes /160/ durch eine Neufassung vom 17.10.2000, Aktualisierung am 20.05.2001, angepasst.

Zukünftig soll dementsprechend als Grundlage für Notifizierungen und Akkreditierungen eine Kompetenzfeststellung ausreichen.

Endgültige diesbezügliche Vereinbarungen werden gegenwärtig noch zwischen den drei Akkreditierungsstellen DACH (Deutsches Akkreditiersystem Chemie), DAP (Deutsches Akkreditiersystem Prüfwesen, DASMIN (Deutsche Akkreditierungsstelle Mineralöl) und den obersten Umweltbehörden der Bundesländer verhandelt.

7.4 Qualitätskontrolle der Laboratorien

7.4.1 Ringversuche

Ein wesentliches Element der Qualitätskontrolle von gem. § 26 BImSchG bekannt gegebenen Messstellen ist die Verpflichtung zur Teilnahme an Ringversuchen.

Gemäß einer Vereinbarung des LAI werden diese seit 1989 zentral im Landesumweltamt (LUA) Nordrhein-Westfalen in Essen für alle, in verschiedenen Bundesländern anerkannten Messstellen durchgeführt.

1996 wurde auf Beschluss des LAI im Rahmen einer fortschreitenden Harmonisierung der europäischen Akkreditierungspraxis ein neuer Aus- und Bewertungsmodus, das sog. z-score-Verfahren eingeführt.

Der Schätzwert für das „wahre“ Ergebnis ergibt sich hierbei als Medianwert aller Teilnehmerergebnisse pro Komponente und Konzentrationsstufe. Aus statistischen Gründen ist eine Mindestteilnehmerzahl von 10 Bedingung.

Zur Ableitung der sog. Präzisionsvorgabe, also des vom Ringversuchsteilnehmer einzuhaltenden Präzisionswertes wurde - wie auch beim früheren Auswertungssystem - als Anhalts- und Ausgangspunkt die Anforderung an die Reproduzierbarkeit aus den Mindestanforderungen für kontinuierliche Immissionsmessgeräte herangezogen.

Zur Bewertung des Ringversuchsergebnisses wird die Differenz zwischen dem vom Ringversuchsteilnehmer erzielten Messwert und dem Schätzwert für das wahre Ergebnis zum Wert der jeweiligen Präzisionsvorgabe in Beziehung gesetzt. Der sich auf diese Weise ergebende sog. z-score-Wert eines jeden Versuchsteilnehmers wird unter Berücksichtigung der Messwerte von den verschiedenen Konzentrationsstufen nach einem international allgemein gebräuchlichen Schema bewertet, sodass schließlich eine eindeutige Aussage über eine erfolgreiche bzw. nicht erfolgreiche Teilnahme der Messstelle am Ringversuch resultiert.

Messstellen, die den Ringversuch nicht erfolgreich abschließen konnten, werden zu einer Wiederholungsprüfung aufgefordert. Bei wiederholter Erfolglosigkeit ist mit dem Entzug der Bekanntgabe durch die oberste Landesbehörde zu rechnen.

Die Grundlagen für die gegenwärtige Durchführung der Ringversuche sind in den folgenden Vorschriften des LAI beschrieben, auf die bzgl. Einzelheiten verwiesen wird:

Durchführungsbestimmungen für Ringversuche von § 26-Meßstellen /161/

Empfehlungen zur Bewertung von Ringversuchen für § 26-Meßstellen /161/

Eine Überarbeitung dieser Ringversuchsrichtlinien ist notwendig geworden, da die in Deutschland als Referenzmessverfahren vorgeschriebenen Verfahren zur SO₂- und NO₂-Immissionsmessung überwiegend nur noch für die vorgeschriebenen Ringversuche angewendet werden, in der Messpraxis aber kaum noch Bedeutung haben.

Die diesbezüglichen Novellierungsarbeiten sind auf Beschluss des LAI begonnen worden, eine verbindliche Neuregelung steht noch aus.

Es ist zu erwarten, dass sich die Änderungen u.a. auf folgende Sachverhalte beziehen werden:

1. Als Sollwert wird wegen der in Zukunft zu erwartenden geringen Teilnehmerzahl nicht mehr der Teilnehmer-Mittelwert, sondern ein vorgegebener Wert herangezogen werden.
2. Die Konzentrationsbereiche werden den tatsächlich auftretenden Immissionsbelastungswerten und den neuen Grenzwerten angepasst.
3. Die Präzisionsvorgaben werden unter Berücksichtigung der im europäischen Forschungszentrum in Ispra (Italien) durchgeführten Ringversuche wahrscheinlich verschärft werden
4. Es wird eine einheitlichere Handhabung durch die verschiedenen Bundesländer angestrebt

7.4.2 Qualitätsmanagement-Systeme

Mit Einführung der Akkreditierung gem. der europäischen Norm EN 45001 wurden Qualitätsmanagementsysteme (QM-Systeme) Voraussetzung für die Kompetenzfeststellung von Laboratorien. In der internationalen Norm DIN/ISO/IEC 17025 /153/ ist das QM-System beschrieben, das grundsätzlich (ggfs. ergänzt durch die VDI-Richtlinie 4220 /162/ und das „Modul Immissionsschutz /146/) auch für Immissionsmessstellen geeignet ist.

Des Weiteren wird auf das im LAI erarbeitete Muster-Qualitätsmanagement-Handbuch vom 29.03.2001 /163/ und auf bei den Akkreditierungsstellen erhältliche Informationen als Praxishilfe hingewiesen.

Im folgenden werden die wichtigsten Elemente eines QM-Systems skizziert:

- Für die Durchführung des QM-Systems ist ein Beauftragter einzusetzen, der unabhängig von anderen Aufgaben mit direktem Zugang zur Geschäftsleitung tätig wird
- Das Kernstück des Systems ist das sog. Qualitätsmanagement-Handbuch

Dieses muss beinhalten:

Die grundsätzlichen Regelungen, Systeme, Programme, Verfahren, Anleitungen sowie technische Verfahren

Die Verpflichtung des Labors zu guter fachlicher Praxis und Qualität sowie ein Leistungsangebot

Die Darstellung der Aufgaben des Qualitätsmanagers und der technischen Leitung

- Es müssen Regelungen für die Durchführung interner Audits sowie für Korrekturmaßnahmen bei festgestellten Mängeln festgelegt werden
- Das QM-System muss die in den genannten Normen und im Fachmodul aufgestellten Anforderungen an das Personal, an die Räumlichkeiten, an die Laboreinrichtungen, an die Verfahrensweisen zur Validierung und Schätzung der Messunsicherheit, an die Ergebnisberichte etc. berücksichtigen.

8. Zusammenfassung

Der Leitfaden zur Immissionsüberwachung in Deutschland gibt eine Übersicht über die in der Bundesrepublik angewendeten Verfahren zur Messung der Verunreinigungen der atmosphärischen Luft. Es werden die einschlägigen Rechts- und Verwaltungsvorschriften im Bundes-Immissionsschutzgesetz, in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft, in der Vierten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift vor dem Hintergrund der Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft dargestellt.

Die Aufgaben von Immissionsmessungen werden umrissen und diskontinuierliche und kontinuierliche Messverfahren beschrieben. Die messtechnischen Richtlinien und Normen der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN und eignungsgeprüfte kontinuierliche Immissionsmessgeräte werden in Anhängen zusammengestellt sowie die Ergebnisse der zugehörigen Eignungsprüfungen dargestellt.

Die Qualitätssicherung von Immissionsmessungen wird besonders behandelt, sowohl hinsichtlich der Messplanung, der Messverfahren als auch der ausführenden Institute. Die Ausführungen über die Messplanung beschreiben die wichtigsten Begriffe, Messvorschriften und Messpläne in der Bundesrepublik Deutschland, Messungen in der Umgebung von Emissionsquellen und Messnetze in Deutschland.

Zur Auswertung von Immissionsmessdaten wird auf Kenngrößen zur Beurteilung von Immissionen, auf die technische Durchführung und auf staatliche Vorschriften sowie auf Auswertungen von emissionsquellenbezogenen Messungen eingegangen. Schließlich werden Messberichte vom Bund und insbesondere von den Ländern dargestellt.

Gegenüber der 2. Auflage wurden neue rechtliche Bestimmungen (Änderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 22. und 33. Verordnung und 4. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum BImSchG, Rahmenrichtlinie und Tochtrichtlinie der Europäischen Union), weitere Messmethoden, weitere Richtlinien der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, als DIN-Normen übernommene internationale Standards (ISO und CEN) sowie weitere eignungsgeprüfte automatisch-kontinuierlich arbeitende Messgeräte aufgenommen. Das Kapitel „Qualitätssicherung“ sowie das Literaturverzeichnis wurden aktualisiert. Ein Stichwortverzeichnis soll das Zurechtfinden im Text erleichtern.

Literaturverzeichnis

- 1) Umweltbundesamt (Herausgeber): Luftreinhaltung - Leitfaden zur kontinuierlichen Emissionsüberwachung. 4., überarbeitete Auflage. Umweltbundesamt Berichte 11/90. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1990.
- 2) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Herausgeber): Air Pollution Control - Manual of Continuous Emission Monitoring. Bonn 1988, New Edition, 1992.
- 3) Lahmann, E.: Feststellung und Bewertung von Immissionen - Leitfaden zur Immissionsüberwachung in Deutschland. Umweltbundesamt Texte 34/97. Berlin 1997.
- 4) Lahmann, E.: Determination and Evaluation of Ambient Air Quality - Manual of Ambient Air Monitoring in Germany. Umweltbundesamt Texte 34/97. Berlin 1997.
- 5) Verein Deutscher Ingenieure: VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft (Loseblattsammlung). VDI-Verlag, Düsseldorf.
- 6) Kommission Reinhaltung der Luft (Herausgeber): Aktuelle Aufgaben der Meßtechnik in der Luftreinhaltung. Kolloquium Heidelberg, 17.-19. September 1986. VDI-Berichte 608, VDI-Verlag, Düsseldorf 1987.
- 7) Kommission Reinhaltung der Luft (Herausgeber): Aktuelle Aufgaben der Meßtechnik in der Luftreinhaltung. Kolloquium Heidelberg, 29.-31. Mai 1990. VDI-Berichte 838, VDI-Verlag, Düsseldorf 1990.
- 8) Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Herausgeber): Aktuelle Aufgaben der Meßtechnik in der Luftreinhaltung. Kolloquium Heidelberg, 2.-4. Juni 1993. VDI-Berichte 1059, VDI-Verlag, Düsseldorf 1993.
- 9) Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Herausgeber): Aktuelle Aufgaben der Meßtechnik in der Luftreinhaltung. Kolloquium Heidelberg, 3.-5. Juni 1996. VDI-Berichte 1257, VDI-Verlag, Düsseldorf 1996.
- 10) Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Herausgeber): Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität. Kolloquium Heidelberg, 27.-29. April 1999. VDI-Berichte 1443, VDI-Verlag, Düsseldorf 1999.
- 11) Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Herausgeber): Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität. Tagung Schwäbisch-Gmünd, 11.-13. Juni 2002. VDI-Berichte 1656, VDI-Verlag, Düsseldorf 2002 Baum, F.: Luftreinhaltung in der Praxis. R. Oldenbourg Verlag, München - Wien 1988.
- 12) Baum, F.: Luftreinhaltung in der Praxis. R. Oldenbourg Verlag, München – Wien 1988
- 13) Lahmann, E.: Luftverunreinigung - Luftreinhaltung. Verlag Paul Parey, Berlin 1990.
- 14) Baumbach, G.: Luftreinhaltung. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York 1994.
- 15) Lahmann, E.: Untersuchung und Beurteilung der Luft. In: Handbuch der Lebensmittelchemie, 2. Auflage, Band VIII, Teil 2, S. 1319-1460. Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York 1969.
- 16) Leithe, W.: Die Analyse der Luft und ihrer Verunreinigungen. 2. Auflage. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1974.
- 17) Birkle, M.: Meßtechnik für den Immissionsschutz. Messen der gas- und partikelförmigen Luftverunreinigungen. Oldenbourg Verlag, München 1979.
- 18) Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 296/55

- 19) Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 2. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 163/41, geändert am 17. Oktober 2001, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 278/35
- 20) Richtlinie 2000/69/EG des Rates vom 16. November 2002 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 111/31
- 21) Richtlinie 2002/3/EG des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt in der Luft, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 67/14
- 22) Vorschlag einer Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Arsen, Cadmium, Quecksilber, Nickel und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft vom 16.07.2003, KOM (2003) 423 endgültig, 2003/0164 (OD)
- 23) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 14. Mai 1990. Bundesgesetzblatt 1990, Teil I, S. 880/901; zuletzt geändert am 9. Oktober 1996, Bundesgesetzblatt 1996, Teil S. 1498-1502.
- 24) Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 24. Juli 2002. Gemeinsames Ministerialblatt S. 511
- 25) Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte - 22. BImSchV) vom 11. September 2002. Bundesgesetzblatt 2002, Teil I, S. 3626
- 26) Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen - 33. BImSchV), in Vorbereitung
- 27) Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten - 23. BImSchV) vom 16. Dezember 1996. Bundesgesetzblatt 1996, Teil I, S. 1962
- 28) Richtlinie des Rates vom 15. Juli 1980 über Grenzwerte und Leitwerte der Luftqualität für Schwefeldioxid und Schwebstaub (80/779/EWG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 23 (1980), Nr. L 229, S. 30/48. Änderung: (89/427/EWG). Ibid. 32 (1989), Nr. L 201, S. 53/55.
- 29) Richtlinie des Rates vom 3. Dezember 1982 betreffend einen Grenzwert für den Bleigehalt in der Luft (82/884/EWG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 25 (1982), Nr. L 378, S. 15/18.
- 30) Richtlinie des Rates vom 7. März 1985 betreffend Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid (85/203/EWG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 28 (1985), Nr. L 87, S. 1/7.
- 31) Siebtes Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 11. September 2002. Bundesgesetzblatt 2002, Teil I, S. 3622
- 32) Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung. Amtsblatt der europäischen Gemeinschaften, Nr. L 257
- 33) Vierte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Ermittlung von Immissionen in Untersuchungsgebieten - 4. BImSchVwV) vom 26. November 1993. Gemeinsames Ministerialblatt 44 (1993), S. 827/830.
- 34) Musterentwurf einer neuen Smogverordnung. Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 7 (1988), S. 138/140.
- 35) Richtlinie des Rates vom 21. September 1992 über die Luftverschmutzung durch Ozon (92/72/EWG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 35 (1992), Nr. L 297, S. 1/7.

- 36) Munn, R.E.: The Design of Air Quality Monitoring Networks. Macmillan Publishers, London 1981.
- 37) Lahmann, E., W. Morgenstern und L. Grupinski: Schwefeldioxid-Immissionen im Raum Mannheim/Ludwigshafen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 25 (1967).
- 38) Lahmann, E. und K.-E. Prescher: Schwefeldioxid-Immissionen in Berlin. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 41 (1974), S. 83/114.
- 39) Stratmann, H., M. Buck, U. Hölzel und D. Rosin: Untersuchungen über die SO₂-Immissionen im Stadtgebiet von Duisburg. Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW Heft 1 (1965), S. 25/43.
- 40) Prinz, B.: Anwendung statistischer Methoden der Stichprobenerhebung bei der Aufstellung von Immissionsmeßplänen. Staub-Reinhalt. Luft 30 (1970), S. 204/210.
- 41) Keddie, A.W.C., E. Lahmann and G. McInnes: European Community Directive 80/779/EEC: An assessment of monitoring network design and of the corresponding stringency of Annexes I and IV. Report 9249, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg 1984.
- 42) Beier, R.: Zur Planung und Auswertung von Immissionsmessungen gemäß TA-Luft '83. LIS-Berichte Nr. 53. Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Essen 1985.
- 43) Beier, R., P.-L. Gonzales, G. McInnes, E. Muylle and D. Onderdelinden: EEC Directive 80/779/EEC: A study of network design for monitoring suspended particulates and sulphur dioxide in the Member States. Report EUR 10647. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg 1986.
- 44) Beier, R., P.-L. Gonzales, G. McInnes, E. Muylle, K. Stevenson and K.-H. Zierock: A study of network design and measurement methods in Member States for the EC Air Quality Directive for nitrogen dioxide (85/203/EEC). Report to the EC for Study Contract No. 85-B 6642-11-004-11-N, 1986.
- 45) Beier, R. und A. Doppelfeld: Räumliche Repräsentativität kontinuierlicher Immissionsmessungen in Nordrhein-Westfalen. Staub-Reinhalt. Luft 47 (1987), S. 16/21.
- 46) König, R., L. Laskus, E. Eickler, F. Mandjour und E. Lahmann: Nationale Erprobung der in EG-Richtlinien vorgeschriebenen Verfahren zur Bewertung der Immission. Abschlußbericht über das Teilprojekt 'Berliner Meßprogramm'. Forschungsbericht 10402308 des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, vom Juni 1988, im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- 47) Beier, R. und A. Doppelfeld: Analyse der räumlichen Repräsentativität automatischer Meßnetze der Luftqualität. LIS-Berichte Nr. 89. Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Essen 1989.
- 48) Beier, R. und A. Doppelfeld: Räumliche Übertragbarkeit und Interpolation von Luftqualitätsdaten im Meßnetz TEMES. LIS-Berichte Nr. 101. Landesanstalt Nordrhein-Westfalen, Essen 1992.
- 49) Lahmann, E.: Zum Einfluß der Meßdauer auf die Ergebnisse von automatischen Kohlenmonoxid-Bestimmungen an einem Ort. Staub-Reinhalt. Luft 28 (1968), S. 371/373.
- 50) Lahmann, E.: Luftverunreinigung - Luftreinhaltung. Verlag Paul Parey, Berlin 1990.
- 51) Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 27. Februar 1986. Gemeinsames Ministerialblatt 37 (1986), S. 95/144.

- 52) König, R., L. Laskus, E. Eickler, F. Mandjour und E. Lahmann: Nationale Erprobung der in EG-Richtlinien vorgeschriebenen Verfahren zur Bewertung der Immission. Abschlußbericht über das Teilprojekt 'Berliner Meßprogramm'. Forschungsbericht 10402308 des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, vom Juni 1988, im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- 53) Laskus, L. and E. Lahmann: Continuous lead measurements in ambient air using an automatic filter changer. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress 1989, The Hague, Vol. 3, S. 137/141.
- 54) VDI 4280 Blatt 1, Entwurf 1996-11, Planung von Immissionsmessungen-Allgemeine Regeln für Untersuchungen der Luftbeschaffenheit. Berlin: Beuth Verlag
- 55) VDI 4280 Blatt 2, 2000-12, Planung von Immissionsmessungen-Regeln zur Planung von Untersuchungen verkehrsbedingter Luftverunreinigungen an Belastungsschwerpunkten. Berlin: Beuth Verlag
- 56) VDI 4280 Blatt 3, 2003-06, Planung von Immissionsmessungen-Messstrategien zur Ermittlung von Luftqualitätsmerkmalen in der Umgebung ortsfester Emissionsquellen. Berlin: Beuth Verlag
- 57) Bericht an den LAI zum momentanen Stand der Untersuchungen zu den Ursachen der PM10-Belastung in Deutschland und über die bisher erfolgten Messungen von PM10/PM2,5, Aktualisierte Arbeitsversion, Stand 02.11.01, LAI
- 58) Entscheidung der Kommission vom 16.01.2003 über einen Leitfaden für eine vorläufige Referenzmethode für die Probenahme und Messung der PM 2,5-Konzentration im Rahmen der Richtlinie 1999/30/EG des Rates (2003/37/EG), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 17.01.2003, Nr. L 12, S. 31/33
- 59) Bundeseinheitliche Praxis bei der Überwachung der Emissionen und der Immissionen. II. Richtlinien über die Wahl der Standorte und die Bauausführung automatisierter Meßstationen in telemetrischen Immissionsmeßnetzen. Gemeinsames Ministerialblatt 34 (1983), S.78/81.
- 60) Abshagen, J., W. Rudolf und H. Stahl: Maßnahmen zur Sicherung einer bundeseinheitlichen Praxis bei der Überwachung der Immissionen. Staub-Reinhalt. Luft 43 (1983), S. 107/112.
- 61) Verwaltungsvorschriften zum Genehmigungsverfahren nach §§ 6, 15 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) für Mineralölraffinerien und petrochemische Anlagen zur Kohlenwasserstoffherstellung. RdErl. des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales vom 14. April 1975. Ministerialblatt Nordrhein-Westfalen S. 966/1006.
- 62) VDI 3782, Blatt 1: Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Gauß'sches Fahnenmodell für Pläne zur Luftreinhaltung, Berlin: Beuth Verlag, 2001
- 63) VDI 3945, Blatt 3: Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Partikelmodell, Berlin: Beuth Verlag 2000
- 64) DIN ISO 11 222: Luftbeschaffenheit: Ermittlung der Unsicherheit von zeitlichen Mittelwerten von Luftbeschaffenheitsmessungen, Berlin: Beuth Verlag 2002
- 65) DIN V ENV 13005: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, Berlin: Beuth Verlag 1999
- 66) Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz: Das Luftgüte-Meßnetz (BLUME). Informationsreihe zur Luftreinhaltung in Berlin Nr. 5 (1995).
- 67) Pfeffer, H.U.: Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen. LIS-Berichte Nr. 19. Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Essen 1982.
- 68) Pfeffer, H.-U.: Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen. Staub-Reinhalt. Luft 42 (1982), S. 233/236.

- 69) Borchert, H.: Kontinuierliche Überwachung der Luftqualität in Stadt und Land. Beiträge Landespflege Rheinland-Pfalz 12 (1989), S. 387/407.
- 70) Bronder, M.: Ein Immissionsmeßnetz wächst und wandelt sich. Wasser, Luft u. Betrieb 32 (1988), S. 30/34.
- 71) Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Luftqualität in Nordrhein-Westfalen. TEMES-Jahresberichte 1992 bis 1994, Essen 1995.
- 72) Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz: Das Luftgüte-Meßnetz (BLUME). Informationsreihe zur Luftreinhaltung in Berlin Nr. 5 (1995).
- 73) Pfeffer, H.U.: Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen. LIS-Berichte Nr. 19. Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Essen 1982.
- 74) Pfeffer, H.-U.: Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen. Staub-Reinhalt. Luft 42 (1982), S. 233/236.
- 75) Borchert, H.: Kontinuierliche Überwachung der Luftqualität in Stadt und Land. Beiträge Landespflege Rheinland-Pfalz 12 (1989), S. 387/407.
- 76) Munn, R.E.: The Design of Air Quality Monitoring Networks. Macmillan Publishers, London 1981.
- 77) DIN ISO 5725-1: Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Meßverfahren und Meßergebnissen – Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe (ISO 5725-1: 1994), Berlin: Beuth Verlag 1997 und DIN ISO 5725-1, Berichtigung (ISO 5725-1:1994/Cor. 1:1998), Berlin: Beuth Verlag 1998
- 78) ISO (Hrsg.): Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen; Deutsche Übersetzung des „Guide to the expression of uncertainty in measurement“, 1. Auflage. Berlin: Beuth Verlag 1995
- 79) Lahmann, E.: Die Auswertung kontinuierlicher Immissionsmessungen durch punktförmige Registrierung. Staub-Reinhalt. Luft 27 (1967), S. 490/491.
- 80) Bewertung von Ammoniak- und Ammonium-Immissionen, Schriftenreihe des LAI, Band 11, E. Schmidt Verlag, Berlin, 1997
- 81) Immissionswerte für Quecksilber und Quecksilberverbindungen, Schriftenreihe des LAI, Band 10, E. Schmidt Verlag, Berlin, 1997
- 82) Bewertung von Vanadium-Immissionen, Schriftenreihe des LAI, Band 19, E. Schmidt Verlag, Berlin, 1999
- 83) Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind, LAI, Hrsg. MURL NRW, 1990
- 84) Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (Herausgeber): Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen. Länderausschuß für Immissionsschutz, Düsseldorf 1992.
- 85) Bewertung von Chrom-, Nickel- und Styrolimmissionen, Schriftenreihe des LAI, Band 21, E. Schmidt Verlag, Berlin, 2000
- 86) Bewertung von Toluol und Xylol-Immissionen, Bericht des Unterausschusses „Wirkungsfragen“ des Länderausschusses für Immissionen, E. Schmidt Verlag, Berlin, 1998
- 87) Länderausschuß für Immissionsschutz: Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie). Schriftenreihe des LAI, Bd. 5. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1994.

- 88) Both, R., K. Otterbeck und B. Prinz: Die Geruchsimmissions-Richtlinie. Kommentar und Anwendung in der Praxis. Staub Reinhalt. Luft 53 (1993), S. 407/412.
- 89) Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen in der Fassung vom 13. Mai 1998 mit Begründung und Auslegungshinweisen in der Fassung vom 7. Mai 1999
- 90) DIN EN 13725, Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie, Berlin: Beuth Verlag 2000
- 91) Modellprojekt zur Erstellung von Luftreinhalteplänen nach Artikel 8 der Richtlinie 96/62/EG des Rates über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität, Landesumweltamt NRW, Oktober 2002
- 92) Leitfaden zur Erstellung von Luftreinhalteplänen nach Artikel 8 der Richtlinie 96/62/EG des Rates über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität, Landesumweltamt NRW, Entwurf Juni 2002
- 93) Lahmann, E., W. Morgenstern und L. Grupinski: Schwefeldioxid-Immissionen im Raum Mannheim/Ludwigshafen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 25 (1967).
- 94) Lahmann, E. und K.-E. Prescher: Schwefeldioxid-Immissionen in Berlin. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 41 (1974), S. 83/114.
- 95) Abshagen, J., W. Rudolf und H. Stahl: Maßnahmen zur Sicherung einer bundeseinheitlichen Praxis bei der Überwachung der Immissionen. Staub-Reinhalt. Luft 43 (1983), S. 107/112.
- 96) Bundeseinheitliche Praxis bei der Überwachung der Immissionen. Richtlinien für die Eignungsprüfung laufend aufzeichnender Immissionsmeßgeräte. Gemeinsames Ministerialblatt 26 (1975), S. 366/367.
- 97) Bundeseinheitliche Praxis bei der Überwachung der Immissionen; hier: Richtlinien für die Bauausführung und Eignungsprüfung von Meßeinrichtungen zur kontinuierlichen Überwachung der Immissionen. Gemeinsames Ministerialblatt 32 (1981), S. 355/357.
- 98) VDI 4202, Blatt 1: Mindestanforderungen an kontinuierlich arbeitende Immissionsmesseinrichtungen bei der Eignungsprüfung - Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen, Ausgabe Dezember 2000, Berlin: Beuth Verlag
- 99) DIN EN ISO 14956, Luftbeschaffenheit - Beurteilung der Eignung eines Messverfahrens durch Vergleich mit einer geforderten Messunsicherheit, Berlin: Beuth Verlag 2003
- 100) VDI 4202, Blatt 2 (Entwurf): Mindestanforderungen an automatische Immissionsmesseinrichtungen bei der Eignungsprüfung - Optische Fernmessverfahren, Ausgabe Februar 2003, Berlin: Beuth Verlag
- 101) 4203, Blatt1, Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Grundlagen, Ausgabe Oktober 2001, Berlin: Beuth Verlag
- 102) 4203, Blatt 3 (Entwurf): Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen-Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen, Berlin: Beuth Verlag 2003
- 103) Grupinski, L.: Gas-Immissionsmessungen nach dem Leitfähigkeitsverfahren. Wasser, Luft und Betrieb 9 (1965), S. 38/40.
- 104) Buck, M.: Entwicklung und Prüfung einer Filterpatrone zur Ausschaltung von Störeinflüssen bei der Messung von Schwefeldioxid in der Atmosphäre. Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW Heft 6 (1967), S. 28/31.
- 105) Clough, P.N. and B.A. Trush: Mechanism of chemiluminescent reaction between nitric oxide and ozone. Trans. Faraday Soc. 63 (1967), S. 915/925.

- 106) Schwarz, F.P. and H. Okabe: Fluorescence detection of sulphur dioxide in the air at the parts per billion level. *Analytical Chemistry* 46 (1974), S. 1024/1028.
- 107) Weber, K., V. Klein und W. Diehl: Optische Fernmeßverfahren zur Bestimmung gasförmiger Luftschadstoffe in der Troposphäre. *VDI-Berichte* 838 (1990), S. 201/246.
- 108) Klein, V. und C. Werner: *Fernmessung von Luftverunreinigungen*. Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York 1993.
- 109) Weber, K., T. Lamp, J. Weidemann, G.v. Haren, Th. Eisenmann, H. Mosebach, A. Gärtner und G. Bröker: FTIR - Langwegabsorptionsspektroskopie zur Messung von Luftverunreinigungen: Grundlagen und ausgewählte Beispiele von Messungen bei Industrieanlagen, im urbanen Umfeld und bei Deponien. *VDI-Berichte* 1257 (1996), S. 205/255.
- 110) Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN und Deutsches Institut für Normung: Messen organischer Immissionen. Teil 1: Mindestanforderungen und Prüfung für automatisch messende Geräte für Einzelmessungen von organischen Komponenten in Luft; Teil 2: Mindestanforderungen und Prüfung für automatisch messende Geräte für Einzelmessungen von Benzol in Luft mit anreichernder Probenahme und anschließender gaschromatographischer Trennung. Deutsche Norm DIN 33963-1 und DIN 33963-2, Berlin: Beuth Verlag: Februar 1997.
- 111) Profos, P. (Herausgeber): *Handbuch der industriellen Meßtechnik*. 4. Auflage. Vulkan-Verlag, Essen 1987.
- 112) Lahmann, E.: Neues zur Messung und Untersuchung von Luftverunreinigungen. *Staub-Reinhalt. Luft* 51 (1991), S. 422/423.
- 113) Horodecki, J. und H. Fißan: Vergleich unterschiedlicher Kalibriermethoden für den Sensor eines TEOM-Meßgerätes. *Gefahrstoffe - Reinhaltung Luft* 56 (1996), S. 5/10.
- 114) Klockow, D.: Zum gegenwärtigen Stand der Probenahme von Spurenstoffen in der freien Atmosphäre. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 326 (1987), S. 5/24.
- 115) Lahmann, E.: 50 Jahre Luftuntersuchung in Deutschland. Umweltbundesamt, Monatsberichte aus dem Meßnetz 3/86, S. 3/22.
- 116) Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN: Außenluftqualität - Passivsammler zur Bestimmung der Konzentration von Gasen und Dämpfen, DIN EN 13528-1 (Entwurf, Juli 1997, DIN EN 13528-2 (Entwurf, Juli 1997, DIN EN 13528-3 (Entwurf, November 2001, Berlin: Beuth Verlag
- 117) Palmes, E.D., A.F. Gunnison, J. diMattio and C. Tomczyk: Personal sampler for nitrogen dioxide. *Amer. Industr. Hyg. Assoc. J.* 32 (1975), S. 570/577.
- 118) Moriske, H.J., M. Schöndube, G. Menk und B. Seifert: Erfassung von NO₂-Konzentrationen in der Außenluft mittels Passivsammlern nach Palmes. Teil 1: Laborversuche und Qualitätssicherung. *Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft* 56 (1996), S. 129/132.
- 119) Moriske, H.J., M. Schöndube, G. Ebert, G. Menk, B. Seifert und H.J. Abraham: Erfassung von NO₂-Konzentrationen in der Außenluft mittels Passivsammlern nach Palmes. Teil 2: Feldversuche. *Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft* 56 (1996), S. 161/164.
- 120) West, P.W. and G.C. Gaeke: Fixation of sulfur dioxide as disulfitomercurate (II) and subsequent colorimetric estimation. *Analytical Chemistry* 28 (1956), S. 1816/1819.
- 121) Saltzman, B.E.: Colorimetric microdetermination of nitrogen dioxide in the atmosphere. *Analytical Chemistry* 26 (1954), S. 1949/1955.
- 122) Kaiser, R.E.: *Chromatographie in der Gasphase*. Bibliographisches Institut, Mannheim-Wien-Zürich (1973).

- 123) Nießner, R.: Anwendung immunologischer Screeningtechniken zur Luftinhaltsstoffbestimmung. VDI-Berichte 1059 (1993), S. 33/47.
- 124) Lahmann, E. und K.-E. Prescher: Beitrag zur gravimetrischen Bestimmung der Staubkonzentration in atmosphärischer Luft mittels Filtergeräten (High Volume Sampler), Wasser, Luft u. Betrieb 11 (1967), S. 677/678.
- 125) Laskus, L., K.-E. Prescher und D. Bake: Konditionierung von Schwebstaubproben. Staub-Reinhalt. Luft 45 (1985), S. 47/53.
- 126) Laskus, L., D. Bake und L. Armbruster: Untersuchungen an Probenahmesystemen für den hygienisch relevanten Schwebstaub im Staubkanal und in der Außenluft. Staub-Reinhalt. Luft 40 (1980), S. 18/26, 101/105.
- 127) Bundeseinheitliche Praxis bei der Überwachung der Immissionen. Richtlinien über die Festlegung von Referenzverfahren, die Auswahl von Äquivalenzmeßverfahren und die Anwendung von Kalibrierverfahren. Gemeinsames Ministerialblatt 39 (1988), S. 191/195.
- 128) Lahmann, E.: Neues zur Messung und Untersuchung von Luftverunreinigungen. Staub-Reinhalt. Luft 51 (1991), S. 422/423.
- 129) DIN EN 12341, Luftbeschaffenheit - Ermittlung der PM 10-Fraktion von Schwebstaub – Referenzmethode und Feldprüfverfahren zum Nachweis der Gleichwertigkeit von Messverfahren und Referenzmethode, Berlin: Beuth Verlag 1999
- 130) Lahmann, E., L. Laskus, W. Siggelkow, R. König, J. Abshagen, M. Buck, H. Ixfeld und H. Manns: Schwefeldioxid- und Schwebstaub-Vergleichsmessungen gemäß der EG-Richtlinie 80/779. Staub-Reinhalt. Luft 46 (1986), S. 72/81.
- 131) Lahmann, E., L. Laskus, D. Bake und R. König: Nationale Erprobung der in EG-Richtlinien vorgeschriebenen Verfahren zur Bewertung der Immission, WaBoLu-Hefte 8/1986, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin 1986.
- 132) Organisation for Economic Co-operation and Development: Methods of measuring air pollution, Paris 1964.
- 133) D. Eickelpasch, Application and Comparison of international Standards for Measuring the Dust Load of ambient air, IUAPPA, 5th International Clean Air Congress, Buenos Aires, Oct. 1980
- 134) Lahmann, E., L. Laskus, D. Bake und R. König: Nationale Erprobung der in EG-Richtlinien vorgeschriebenen Verfahren zur Bewertung der Immission, WaBoLu-Hefte 8/1986, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin 1986.
- 135) Laskus, L. und D. Bake: Erfahrungen bei der Korngrößenanalyse von Luftstäuben mit dem Andersen-Kaskaden-Impaktor. Staub-Reinhalt. Luft 36 (1976), S. 102/106.
- 136) Franzen, H. und H.S. Fissan: Das Abscheideverhalten von Andersen non-viable- und Andersen Stack Sampler bei Verwendung von Glasfaserprallplatten. Staub-Reinhalt. Luft 39 (1979), S. 50/55.
- 137) Knop, W., A. Heller und E. Lahmann: Technik der Luftreinhaltung. 2. Auflage. Krausskopf-Verlag, Mainz 1972.
- 138) Bake, D.: Bestimmung der atmosphärischen Deposition an verschieden belasteten Standorten. VDI-Berichte 837 (1990), S. 333/341.
- 139) Lahmann, E., S. Munari, V. Amicarelli, P. Abbaticchio and R. Gabellieri: Heavy metals: Identification of air quality and environmental problems in the European Community. Commission of the European Communities, Report EUR 10678, Luxembourg 1986.
- 140) Merian, E. (Herausgeber): Metals and their compounds in the environment. 2. Auflage. Verlag Chemie, Weinheim-New York-Basel-Cambridge 1991.

- 141) Bruckmann, P. und H.-U. Pfeffer: Immissionen von Metall- und Metalloid-Verbindungen - Meßverfahren und Außenluftkonzentrationen. VDI-Berichte 888 (1991), S. 377/396.
- 142) Nachrichten aus Chemie, Technik und Laboratorium 37 (1989), Sonderheft Spektroskopie.
- 143) Seifert, B. und M. Drews: Atomabsorptionsspektrometrische Bestimmung von Blei, Zink und Arsen in Schwebstaub und in Staubbiederschlag. WaBoLu-Berichte 1/1978. Dietrich Reimer Verlag, Berlin 1978.
- 144) Thompson, M. and J.N. Walsh: Handbook of inductively coupled plasma spectrometry. Blackie, Glasgow-London 1983.
- 145) Sonneborn, M. und V. Bähn: Multielementbestimmung metallischer Bestandteile in Umweltproben mit Hilfe der Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-AES). In: Welz, B. (Herausgeber): Atomspektrometrische Spurenanalytik. Verlag Chemie, Weinheim 1982.
- 146) Normenausschuß Wasserwesen im DIN Deutsches Institut für Normung: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Kationen (Gruppe E). Teil 29: Bestimmung von 61 Elementen durch Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS). DIN 38406-29 (Entwurf). Berlin: Beuth Verlag, Dezember 1996.
- 147) Bertin, E.P.: Principles and practice of x-ray spectrometric analysis. 2nd Edition, Plenum Press, New York-London 1975.
- 148) Petzold, A. und R. Nießner: Rußmessungen in der Außenluft - Vergleich verschiedener Methoden. VDI-Berichte 1059 (1993), S. 303/324.
- 149) Petzold, A. und R. Nießner: Coulometrische Messung der Rußbelastung in der Außenluft - Verfahrensentwicklung und Anwendungen an Meßstellen unterschiedlicher Belastung. Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft 56 (1996), S. 173/177.
- 150) DIN EN 481, Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel, Berlin: Beuth Verlag 1993
- 151) DIN ISO 7708, Luftbeschaffenheit – Festlegung von Partikelgrößenverteilungen für die gesundheitsbezogene Staubprobenahme, Berlin: Beuth Verlag 1996
- 152) Teichert, U.: Methodik und Ergebnisse der Messung von faserigen Stäuben. VDI-Berichte 888 (1991), S. 257/271.
- 153) Allgemein Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, DIN/ISO/IEC 17025 , Berlin, Beuth Verlag 2000
- 154) DIN ISO 6879, Luftbeschaffenheit – Verfahrenskenngrößen und verwandte Begriffe für Messverfahren zur Messung der Luftbeschaffenheit, Berlin, Beuth Verlag 2000
- 155) Allgemeine Kriterien zum Betreiben von Prüflaboratorien DIN EN 45001, Berlin, Beuth Verlag 1990
- 156) Eickhoff, W.: Bekanntgabe sachverständiger Stellen im Bereich des Immissionsschutzes unter Berücksichtigung einschlägiger Akkreditierungen nach DIN EN ISO/IEC 17025 oder vergleichbarer Kompetenzfeststellungen. VDI-Berichte Nr. 1656 (2002), S. 81-90.
- 157) Vereinbarung der Länder mit beteiligten Akkreditierungsstellen zur Zusammenarbeit bei der Akkreditierung und Notifizierung von Prüflaboratorien und Messstellen im Gesetzlich geregelten Umweltbereich, LAI, Bundesanzeiger Nr. 220, Jg. 54, 2002
- 158) Verwaltungsvereinbarung über den Kompetenznachweis und die Notifizierung von Prüflaboratorien und Messstellen im gesetzlich geregelten Umweltbereich, Bundesanzeiger Nr. 220, Jg. 54, 2002

- 159) Fachkundenachweis für Ermittlungen im Bereich des Immissions-schutzes („Modul Immissions-schutz“), LAI, in Vorbereitung
- 160) Empfehlungen für die Bekanntgabe von sachverständigen Stellen im Bereich des Immissions-schutzes. Schriftenreihe des LAI, Band 18 (1999), E. Schmidt-Verlag, Berlin
- 161) Empfehlungen zur Bewertung von Ringversuchen gasförmigen Immissionskomponenten für § 26-Meßstellen; Durchführungsbestimmungen für Ringversuche von § 26-Messstellen (gasförmige Immissionskomponenten). Immissionsschutz 1, s. 30-33 (1996)
- 162) VDI 4220: Qualitätssicherung; Anforderungen an Emissions- und Immissionsprüfstellen für die Ermittlung luftverunreinigender Stoffe, Berlin: Beuth Verlag 1999
- 163) Muster-Qualitätssicherungshandbuch (LAI), in Vorbereitung (i. V. mit /159/)