



Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern



Luft



Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern

Impressum

Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de/

Konzept/Text:

LfU, Dr. Stefan Weigand, Referat 24

Redaktion:

LfU, Referate 23 und 24

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Druck:

Schmidt & Buchta

Fliegerweg 7

95233 Helmbrechts

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Stand:

November 2019

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
Vorwort	7
1 Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern	9
1.1 Das LÜB im Wandel der Zeit	9
1.2 Aufgaben des LÜB	11
2 Gesetzliche Grundlagen	12
2.1 Rechtliche Verankerung des Immissionsschutzes	12
2.2 Immissionsgrenzwerte	13
3 Messnetz	15
3.1 Aufbau des Messnetzes	15
3.2 LÜB-Stationen	18
3.3 Kostenaufwand	20
4 Messkomponenten	21
4.1 Stickstoffoxide	23
4.2 Feinstaub (PM ₁₀ und PM _{2,5})	24
4.3 Ozon	25
4.4 Kohlenmonoxid	25
4.5 BTX – Benzol, Toluol und o-Xylol	26
5 Datenerfassung und -veröffentlichung	27
5.1 Datenerfassung	27
5.2 Veröffentlichung der Messdaten	28
6 Qualitätssicherung	31
6.1 Voraussetzungen	31
6.1.1 Einsatz eignungsgeprüfter Messgeräte	31
6.1.2 Regelmäßige Wartung der Messgeräte	32
6.1.3 Regelmäßige Kalibrierung der Messgeräte	32
6.1.4 Automatische Funktionskontrollen	33

6.1.5	Ringversuche/Vergleichsmessung	33
6.2	Korrigierende Maßnahmen	34
6.2.1	Plausibilitätskontrolle der Messdaten	34
6.2.2	Berechnung der Messunsicherheit	35
6.3	Akkreditierung	35
6.4	Weitere unabhängige Überprüfung	36
7	Ausblick	37
8	Literaturverzeichnis	38

Abkürzungsverzeichnis

AS	Alarmschwelle
BayImSchG	Bayerisches Immissionsschutzgesetz
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BTX	Sammelbegriff für Benzol, Toluol und <i>ortho</i> -Xylol
CO	Kohlenmonoxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
EG	Europäische Gemeinschaft
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
GW	Grenzwert
IEC	International Electrotechnical Commission
IR	Infrarotstrahlung
IS	Informationsschwelle
ISO	Internationale Organisation für Normung
JVA	Justizvollzugsanstalt
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LÜB	Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern
MG	Messgerät
MSR	Messstationsrechner
NO _x	Stickstoffoxide (Summe aus Stickstoffmono- und -dioxid)
NO ₂	Stickstoffdioxid
O ₃	Ozon
PM	Particulate Matter – Feinstaub
QR	Quick Response
RL	Richtlinie
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UBA	Umweltbundesamt (Deutschland)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UV	Ultraviolettstrahlung
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WHO	Weltgesundheitsorganisation
ZW	Zielwert

Vorwort

Saubere Luft ist eine Grundvoraussetzung für ein gesundes Leben und eine intakte Umwelt. Täglich atmen wir etwa 10- bis 30-tausend Liter Luft in unsere Lungen. Deshalb ist es wichtig, dass sie möglichst frei von Schadstoffen ist.

Das Erreichen sowie der Erhalt einer guten Luftqualität sind eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Sie erfordert kontinuierliche Luftgütemessungen, denn nur anhand von qualitätsgeprüften Messergebnissen lassen sich die Zusammenhänge besser verstehen, geeignete Maßnahmen wie die Ausrüstung von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor mit Partikelfiltern ableiten und deren Wirksamkeit überprüfen.

Zu diesem Zweck betreibt das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) seit 1974 das Lufthygienische Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB) mit seinen über 50 auf ganz Bayern verteilten Messstationen. Während in den 1980er-Jahren der durch hohe Schwefeldioxid-Konzentrationen aus Industrieanlagen und Hausbrand hervorgerufene saure Regen im Fokus stand, ist es heute vor allem die Stickstoffdioxid-Belastung aus dem Verkehrssektor in den Innenstädten. Mit den Themen ändern sich auch zwangsläufig die Anforderungen, die es zu erfüllen gilt.

Diese Publikation gibt einen Einblick in die Luftgüteüberwachung in Bayern. Sie führt zurück in die Anfangszeit des LÜB mit spektakulären Sondermessungen, stellt das heutige Messnetz vor und spannt den Bogen zu den aktuellen Herausforderungen, um die Luftqualitätsziele zu erreichen, die sich die Mitgliedstaaten der Europäischen Union gemeinsam gesetzt haben. Mit jahrzehntelanger Erfahrung in der Messung von Luftschadstoffen und Offenheit für neue Entwicklungen und Herausforderungen sollte das LÜB für die Aufgaben der Zukunft gerüstet sein.

1 Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern

1.1 Das LÜB im Wandel der Zeit

Im Jahr 1974 fiel der Startschuss. Das 1971 gegründete Bayerische Landesamt für Umweltschutz – heute Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) – nahm das Lufthygienische Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB) mit damals 14 Messstationen in Betrieb. Grundlage hierfür waren bereits vorhandene Stationen im Raum München sowie an den Raffineriestandorten Ingolstadt und Neustadt a. d. Donau. Damit begann in Bayern eine neue Ära in der Luftüberwachung. Mit dem fortschreitenden Stand der Technik erfolgte stets eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Messmethoden und der Geräteausstattung. Veränderte rechtliche Rahmenbedingungen verlangten außerdem nach Anpassungen des Messnetzes.

Die Anfangsjahre waren eine spannende Zeit. Vieles war neu und musste mit Forscher- und Pioniergeist erprobt werden. Bereits 1976 standen fünf Messfahrzeuge und ein Zeppelin zur Verfügung, die bei einer Informationsveranstaltung publikumswirksam im Herzen Münchens der interessierten Öffentlichkeit präsentiert wurden. Das Thema saubere Luft wurde verstärkt öffentlich wahrgenommen und entsprechend interessiert waren die Münchnerinnen und Münchner (siehe Abb. 1).



Abb. 1: LfU-Informationsveranstaltung in den 1970er-Jahren am Odeonsplatz in München

Die Messnetzzentrale (siehe Abb. 2) war damals im Bayerischen Umweltministerium am Rosenkavalierrplatz 3 untergebracht und sah völlig anders aus als heute. Auf großen Magnetbändern wurden die Messdaten gespeichert, mit Messschreibern konnten Messverläufe dargestellt werden und Telefone mit Wählscheiben dienten der Kommunikation nach außen. Für damalige Verhältnisse war man bestens ausgestattet und darauf war man auch ein klein wenig stolz.



Abb. 2:
Blick in die Münchner
Messnetzzentrale am
Rosenkavalierplatz 3

Anfang der Achtzigerjahre wurden im Bayerischen Wald zwei hoch gelegene Messstationen errichtet. Man wollte mit ihnen direkt am Eisernen Vorhang die Luftschadstoffe erfassen, die aus dem Osten über die Grenze kamen. Die Logistik hierfür war teilweise sehr speziell: Zur LÜB-Station auf dem Dreisesselberg musste man für wenige Meter sogar über tschechoslowakischen Grund zur Station fahren, was nur mit einer Ausnahmegenehmigung möglich war. Im Gedächtnis bleiben die beiden nach wenigen Jahren wieder abgebauten Messstationen auch wegen der Schneemassen, unter denen sie im Winter regelmäßig verschwanden und die von den Wartungstechnikern körperliche Höchstleistungen beim Schneeschaukeln forderten.

Die späten Achtziger brachten für das LfU einige Veränderungen mit sich: Die Gerätewerkstatt und die Büros zogen in die Infanteriestraße und im Herbst 1988 wurde die neue Außenstelle Kulmbach im Schloss Steinenhausen eröffnet. Von da an waren die Zuständigkeiten aufgeteilt: Kulmbach war für die nordbayerischen, München für die südbayerischen Messstationen zuständig.

Die Neunzigerjahre waren geprägt durch zahlreiche spektakuläre Sondermessungen – vor allem Ozon war ein Thema. Messungen auf dem Olympiaturm in München sowie mit Flugzeugen und einem Wasserstoffballon sollten Erkenntnisse zur vertikalen Verteilung dieses Luftschadstoffs bringen. In Kulmbach wurden die Ozon-Untersuchungen dagegen mit dem Zeppelin fortgesetzt, bis dieser letztendlich ausgemustert wurde. Auch auf dem Wasser fanden Messungen statt: 1996 mietete man ein Elektroboot an und ermittelte den Ozongehalt an der Wasseroberfläche des Chiemsees. Mehrere ungeklärte Badeunfälle hatten im Vorfeld zur Vermutung geführt, direkt oberhalb der Wasseroberfläche würde sich eine lokale Ozonschicht ausbilden, die für die Todesfälle verantwortlich sein könnte. Zur Freude aller Schwimmer konnte diese These rasch widerlegt werden. Mit einer Messstation in Sokolov (heute Tschechische Republik) wurde nach dem Mauerfall für einige Jahre in Zusammenarbeit mit den dortigen Behörden sogar eine Station außerhalb Deutschlands betreut.

Für das LÜB änderte sich zur Jahrtausendwende einiges. Die Hauptdienststelle des LfU zog 1999 mitsamt der LÜB-Messnetzzentrale und allen Laboren sowie Werkstätten von München in ein neu errichtetes Gebäude nach Augsburg-Haunstetten. Im Jahr 2005 erfolgte die Fusion mit dem damaligen Landesamt für Wasserwirtschaft und dem Landesamt für Geologie zum neu gegründeten Landesamt für Umwelt. Auch am LÜB wurden Synergien geschaffen, als im Jahr 2014 der nordbayerische Teil

des Messnetzes wieder mit dem südbayerischen Teil vereint wurde. Die Aufteilung der Wartungszuständigkeit blieb aus logistischen Gründen erhalten.

Von 2011 bis 2014 wurde mit dem Kurmessnetz ein weiteres Sondermessprogramm am LÜB durchgeführt. Zeitlich befristet wurden vorwiegend in Luftkurorten Immissionsmessungen durchgeführt.

Fast ein halbes Jahrhundert nach der Inbetriebnahme des LÜB werden über 50 auf ganz Bayern verteilte Messstationen betrieben, mit denen verschiedene Luftschadstoffe erfasst werden. Die Schwerpunkte haben sich seitdem verschoben – die Schwefeldioxid-Belastung der Anfangsjahre hat sich durch die zunehmende Rauchgasentschwefelung erheblich verringert und auch die Benzol- und die Kohlenmonoxid-Konzentrationen konnten deutlich reduziert werden. Heutzutage stellen vor allem die Luftschadstoffe Feinstaub und Stickstoffdioxid eine große Herausforderung dar. Auch diese Aufgaben können durch das im Immissionsbereich aufgebaute Wissen und die hoch entwickelten Regelungen gemeistert werden. Die Hauptaufgabe besteht darin, den aufwendigen Routinebetrieb der Messstationen aufrecht zu halten und weiterzuentwickeln, Auswertungen zu erstellen und Bürgeranfragen zu beantworten. Neue Fragen werden vor allem durch aktuelle Ergebnisse aus der Forschung zu ultrafeinen Partikeln aufgeworfen. Offenheit für Optimierungspotenziale und jahrzehntelange Erfahrung – damit ist das LÜB für die Herausforderungen der Zukunft gut gerüstet.

1.2 Aufgaben des LÜB

Kernaufgabe des LÜB ist die Messung von Luftschadstoffen zur Erfüllung gesetzlicher Anforderungen. Schwerpunkte hierbei sind:

- Ermittlung von lokalen und regionalen Immissionsbelastungen
- Erkennen von erhöhten Immissionskonzentrationen, vor allem bei länger andauernden Inversionswetterlagen
- Feststellen von grenzüberschreitenden Schadstoffverfrachtungen
- Beobachtung der Ozonbelastung
- Information der Öffentlichkeit
- Auslösung von Luftreinhalteplänen und kurzfristig zu ergreifenden Maßnahmen
- Sondermessungen und Schadstoffanalysen
- Trendbeobachtungen und Beiträge zu Luftqualitätsindizes
- Immissionsdaten für landesplanerische und wissenschaftliche Zwecke
- Weiterentwicklung von Rechen- und Prognosemodellen

2 Gesetzliche Grundlagen

2.1 Rechtliche Verankerung des Immissionsschutzes

Die Gesetzgebung im Bereich der Luftreinhaltung und deren Überwachung ist dreistufig aufgebaut. Die Europäischen Richtlinien geben den rechtlichen Rahmen vor, der im Bundesrecht verankert ist. Auf Landesebene werden die Zuständigkeiten festgelegt (siehe Abb. 3).

Seit 1974 regelt das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)^[1] mit seinen nachgeordneten Durchführungsverordnungen das Immissionsschutzrecht. Es verpflichtete die Länder erstmals, Luftverunreinigungen in den Belastungsgebieten fortlaufend zu registrieren. Im Jahr 1975 wurden Anzahl und Lage der Messstellen geregelt sowie die anzuwendenden Messverfahren festgelegt.

Durch die Luftqualitätsrahmenrichtlinie^[2] wurde im Jahr 1996 erstmals ein europäischer Ansatz zur Luftreinhaltung und deren Überwachung geschaffen, der in vier Tochterrichtlinien^{[3], [4], [5], [6]} weiter konkretisiert wurde. Im Jahr 2008 erfolgte eine grundlegende Novellierung der europäischen Gesetzgebung zur Luftreinhaltung: Mit der Luftqualitätsrichtlinie^[7] wurden die Luftqualitätsrahmenrichtlinie^[2] von 1996 samt der ersten drei Tochterrichtlinien aufgehoben, sodass heute die Luftqualitätsrichtlinie und die nicht außer Kraft gesetzte 4. Tochterrichtlinie für die Mitgliedsstaaten der EU den rechtlichen Rahmen im Immissionsbereich vorgeben.

Zur Umsetzung der EU-Richtlinien in deutsches Recht wurde im Jahr 2010 die 39. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (39. BImSchV)^[8] erlassen. Sie enthält unter anderem Regelungen zur Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität, zu Luftreinhalteplänen, zu kurzfristigen Maßnahmen sowie zu Informations- und Berichtspflichten gegenüber der Europäischen Kommission. Die Zuständigkeit für die Luftüberwachung im Freistaat Bayern wird im Bayerischen Immissionsschutzgesetz (BayImSchG)^[9] dem LfU übertragen. Dieser gesetzliche Auftrag ist Grundlage des LÜB.

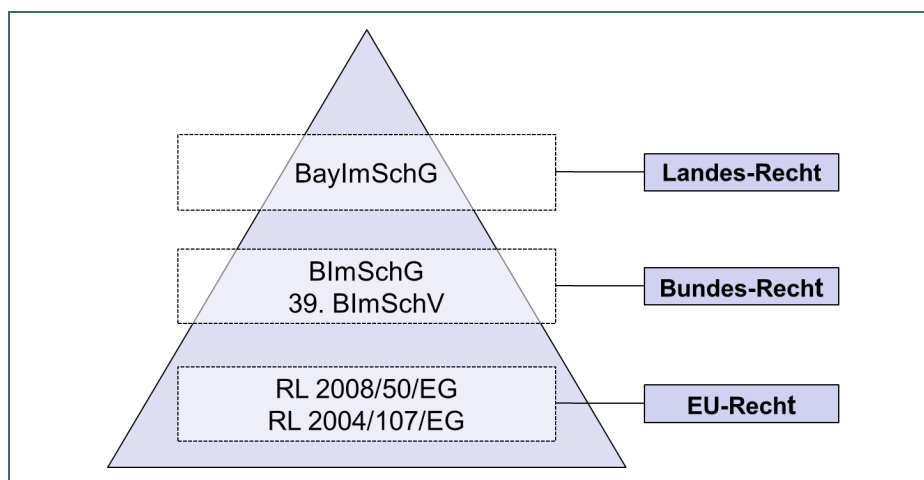


Abb. 3:
Rechtliche Verankerung der Immissionsmessungen des LÜB

2.2 Immissionsgrenzwerte

Die in der Europäischen Union derzeit gültigen Immissionsgrenzwerte (Definition siehe Abb. 4) sowie der Zielwert für Ozon sind in der Luftqualitätsrichtlinie^[7] festgelegt. Mit der 39. BImSchV^[8] wurden sie im Jahr 2010 in Bundesrecht übernommen. Die Grenzwerte haben zum Ziel, die Bevölkerung vor zu hohen Schadstoffbelastungen an allgemein zugänglichen Orten zu schützen. Dies umfasst auch besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen wie Kleinkinder, ältere Menschen sowie Asthmatiker^[10].

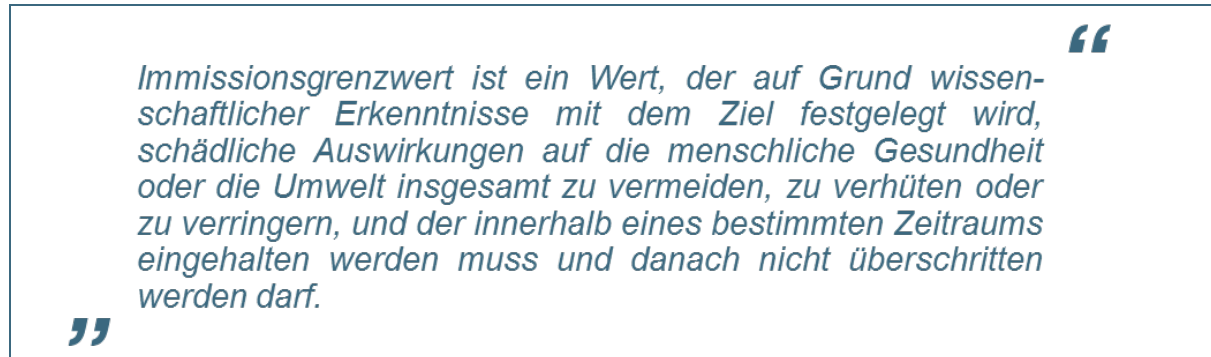


Abb. 4: Definition des Begriffs *Immissionsgrenzwert* aus der 39. BImSchV^[8]

Grenzwerte sollen schädliche Auswirkungen auf ein akzeptables Maß verringern. Welche Belastung noch toleriert werden kann, wird anhand wissenschaftlicher Daten abgeschätzt. Bei der Ausarbeitung der Luftqualitätsrichtlinie^[7] wurden beispielsweise Leitwerte für Stickstoffdioxid aus den Air Quality Guidelines for Europe^[11] der *World Health Organization* (WHO) als Grenzwerte übernommen.

In Tab. 1 sind die Grenz- und Zielwerte sowie die Informations- und Alarmschwellen zum Schutz der menschlichen Gesundheit dargestellt.

Tab. 1: Grenzwerte (GW), Zielwerte (ZW), Alarmschwellen (AS) und Informationsschwellen (IS) zum Schutz der menschlichen Gesundheit aus der 39. BImSchV^[8]

Luftschadstoff	Art	Mittelungszeitraum	Wert	zulässige Zahl an Überschreitungen	einzuhalten seit
Schwefeldioxid	GW	1 Stunde	350 µg/m ³	24 mal im Kalenderjahr	01.01.2005
	GW	1 Tag	125 µg/m ³	3 mal im Kalenderjahr	01.01.2005
	AS	1 Stunde ¹⁾	500 µg/m ³	–	18.09.2002
Stickstoffdioxid	GW	1 Stunde	200 µg/m ³	18 mal im Kalenderjahr	01.01.2010
	GW	Kalenderjahr	40 µg/m ³	–	01.01.2010
	AS	1 Stunde ¹⁾	400 µg/m ³	–	18.09.2002
Partikel PM ₁₀	GW	1 Tag	50 µg/m ³	35 mal im Kalenderjahr	01.01.2005
	GW	Kalenderjahr	40 µg/m ³	–	01.01.2005
Partikel PM _{2,5}	GW	Kalenderjahr	25 µg/m ³	–	01.01.2015
Blei	GW	Kalenderjahr	0,5 µg/m ³	–	01.01.2005
Benzol	GW	Kalenderjahr	5 µg/m ³	–	01.01.2010
Kohlenmonoxid	GW	8 Stunden ²⁾	10 mg/m ³	–	01.01.2005
Ozon ³⁾	ZW	8 Stunden ²⁾	120 µg/m ³	25 Tage pro Kalenderjahr ⁴⁾	01.01.2010
	IS	1 Stunde	180 µg/m ³	–	21.07.2004
	AS	1 Stunde	240 µg/m ³	–	21.07.2004
Arsen ⁵⁾	ZW	Kalenderjahr	6 ng/m ³	–	01.01.2013
Kadmium ⁵⁾	ZW	Kalenderjahr	5 ng/m ³	–	01.01.2013
Nickel ⁵⁾	ZW	Kalenderjahr	20 ng/m ³	–	01.01.2013
Benzo[a]pyren ⁵⁾	ZW	Kalenderjahr	1 ng/m ³	–	01.01.2013

1) gemessen an drei aufeinander folgenden Stunden

2) höchster Achtstundenmittelwert eines Tages

3) bodennah

4) gemittelt über drei Jahre

5) in den Partikeln der PM₁₀-Fraktion

3 Messnetz

3.1 Aufbau des Messnetzes

Die derzeit 54 Messstationen des LÜB^a befinden sich straßennah in Innenstädten, an besonders verkehrsbelasteten *hot spots* mit schluchtartiger Randbebauung, im städtischen Hintergrund, in Stadtrandzonen und in ländlichen Bereichen. Um Messdaten mit möglichst hoher Aussagekraft zu erhalten, die sowohl zwischen den Standorten als auch bundes- und europaweit mit denen anderer Messnetze vergleichbar sind, wird sowohl die Planung des Messnetzes als auch die Ausgestaltung der Messstationen nach einheitlichen Kriterien^[8] durchgeführt. Die Wartung der LÜB-Stationen ist aus logistischen Gründen auf zwei Standorte aufgeteilt: Die nordbayerischen Stationen werden von Kulmbach, die südbayerischen von Augsburg aus gewartet. Gemeinsamer Schnittpunkt ist die Messnetzzentrale am LfU-Hauptsitz in Augsburg – hier werden sämtliche Messwerte gespeichert. Die Abb. 5 zeigt eine Übersicht der Messstationen mit Stand 2019.



Abb. 5: Übersicht der LÜB-Stationen; die blau dargestellten Stationen werden von Kulmbach, die rot abgebildeten von Augsburg aus gewartet.

^a Im LfU-Internetauftritt findet sich für alle LÜB-Stationen eine Stationsdokumentation: <https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/dokumentation/index.htm>

Zusätzlich zu den Schadstoffmessungen an den Messstationen gewinnt das LfU Erkenntnisse aus Sondermessungen mit Passivsammlern und Messfahrzeugen sowie durch Berechnungen und Modellierungen. Auf diese Weise lassen sich über die lokalen Messergebnisse hinaus auch Aussagen zu den Immissionen an anderen Stellen Bayerns ableiten. Aus diesen Informationen kann die Schadstoffbelastung EU-konform und repräsentativ für das gesamte Gebiet des Freistaats Bayern ermittelt werden.

Bezüglich der Luftüberwachung ist Bayern in sieben Gebiete und drei Ballungsräume unterteilt, die jeweils separat betrachtet werden. Dabei handelt es sich um die drei Ballungsräume München, Nürnberg/Fürth/Erlangen und Augsburg – festgelegt durch die jeweilige Stadtgrenze – sowie sieben Gebiete entsprechend den bayerischen Regierungsbezirken ohne die Ballungsräume (siehe Abb. 6).



Abb. 6: Gebiete und Ballungsräume zur Immissionsüberwachung in Bayern

Die Anzahl der in den Gebieten bzw. Ballungsräumen zu betreibenden Messstellen ist für die einzelnen Messkomponenten gesetzlich^[8] vorgeschrieben und richtet sich in erster Linie nach der Bevölkerungszahl und der jeweiligen Schadstoffbelastung. Zudem sind diverse Anforderungen an die groß- sowie die kleinräumige Ortsbestimmung formuliert^[8]. Die Anforderungen finden sich für die einzelnen Komponenten in verschiedenen Abschnitten der 39. BImSchV^[8] (siehe Tab. 2).

Ist eine Messstation neu zu errichten oder zu versetzen, muss sichergestellt sein, dass der jeweilige Standort den gesetzlichen Anforderungen entspricht. Die Standorte müssen zudem so gelegen sein, dass die notwendige Infrastruktur (Stromanschluss, Datenleitung, Erreichbarkeit etc.) gegeben ist, um für die Errichtung einer Messstation in Betracht zu kommen. Erst nach einem erfolgreich absolvierten Probetrieb wird eine neue Messstation vollumfänglich in das LÜB-Messnetz integriert.

Tab. 2: Anforderungen an die Wahl der Probenahmestellen und zur Festlegung der Mindestzahl der Probenahmestellen aus der 39. BImSchV^[8]

39. BImSchV	Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel, Blei, Benzol, Kohlenmonoxid	Ozon	Arsen, Kadmium, Nickel, Benzo[a]pyren
Allgemeine Festlegungen zu Probenahmestellen	§ 14	§ 18	§ 20
Groß-/kleinräumige Ortsbestimmung	Anlage 3	Anlage 8	Anlage 16
Mindestzahl an Probenahmestellen	Anlage 5	Anlage 9	Anlage 16

Die LÜB-Stationen sind in die Kategorien *Verkehr* und *Hintergrund* unterteilt. Die Hintergrundstationen erfassen die Grundbelastung, während die Verkehrsmessstationen die Spitzenbelastung vorwiegend an vielbefahrenen Straßen abbilden. Zudem erfolgt eine Klassifizierung analog der jeweiligen Stationsumgebung in *ländlich*, *vorstädtisch* und *städtisch*. Die Tab. 3 gibt einen Überblick über die Anzahl der in den Gebieten und Ballungsräumen vorhandenen Messstationen.

Tab. 3: Anzahl der in den Gebieten und Ballungsräumen Bayerns vorhandenen LÜB-Stationen

Gebiet/Ballungsraum	Einwohner ^[12]	Gebietstyp	Stationszahl		Gesamt
			Hintergrund	Verkehr	
Ballungsraum München	1.500.000	städtisch	1	2	5
		vorstädtisch	2	0	
		ländlich	0	0	
Ballungsraum Augsburg	295.000	städtisch	1	2	4
		vorstädtisch	1	0	
		ländlich	0	0	
Ballungsraum Nürnberg/ Fürth/Erlangen	758.000	städtisch	1	3	5
		vorstädtisch	1	0	
		ländlich	0	0	
Oberbayern ohne Ballungsraum München	3.215.000	städtisch	1	1	9
		vorstädtisch	3	0	
		ländlich	3	1	
Niederbayern	1.239.000	städtisch	1	2	6
		vorstädtisch	2	0	
		ländlich	1	0	
Oberpfalz	1.109.000	städtisch	1	1	5
		vorstädtisch	2	0	
		ländlich	1	0	
Unterfranken	1.317.000	städtisch	1	1	5
		vorstädtisch	3	0	
		ländlich	0	0	

Tab. 3 (Forts.): Anzahl der in den Gebieten und Ballungsräumen Bayerns vorhandenen LÜB-Stationen

Gebiet/Ballungsraum	Einwohner ^[12]	Gebietstyp	Stationszahl		Gesamt
			Hintergrund	Verkehr	
Mittelfranken ohne Ballungsraum Nürnberg/Fürth/Erlangen	1.012.000	städtisch	1	1	3
		vorstädtisch	0	0	
		ländlich	1	0	
Oberfranken	1.067.000	städtisch	2	2	7
		vorstädtisch	2	0	
		ländlich	1	0	
Schwaben ohne Ballungsraum Augsburg	1.593.000	städtisch	1	1	5
		vorstädtisch	2	0	
		ländlich	1	0	
Insgesamt	13.105.000	städtisch	11	16	54
		vorstädtisch	18	0	
		ländlich	8	1	

3.2 LÜB-Stationen

Im LÜB werden vorrangig mit Polyurethanschaum wärmeisolierte Beton-Messkabinen mit den Maßen 3,5 × 2,9 × 2,9 Meter (Länge × Breite × Höhe) verwendet (siehe Abb. 7). Zudem sind begehbare und nicht begehbare Metallcontainer mit den Maßen 1,8 × 1,0 × 2,25 Meter beziehungsweise 1,5 × 0,9 × 1,4 Meter (siehe Abb. 8) im Einsatz; am Standort Augsburg/LfU befindet sich eine Beton-Messkabine mit Glasfront. Sämtliche Stationen sind klimatisiert, die Innenraumtemperatur wird laufend aufgezeichnet und überwacht.



Abb. 7: LÜB-Station in Nürnberg-Muggenhof



Abb. 8: LÜB-Station in Bayreuth

Die Außenluftprobe wird kontinuierlich zur Messung gasförmiger und partikulärer Stoffe etwa 1 bis 1,5 Meter über dem Dach der Messstation angesaugt. Insgesamt ergeben sich dadurch Probenahme-Ansauhöhen von 3,5 Meter bis 4 Meter über Grund. Zulässig sind nach den Vorgaben der 39. BImSchV^[8] Ansaughöhen von 1,5 (Atemzone) bis 4 Meter über dem Boden. Unter bestimmten

Umständen kann auch eine höhere Lage des Einlasses bis zu 8 Meter über dem Boden erforderlich sein, wenn zum Beispiel die Messstation für ein größeres Gebiet repräsentativ ist. Abweichungen sollen umfassend dokumentiert sein. Es muss zudem eine freie Anströmung für alle Windrichtungen gewährleistet sein. Die Probenahme für Feinstaub muss stets vertikal ausgerichtet sein, um Verluste durch Abscheidung von Stäuben vom Probenahme-Eintritt bis zum Messgerät zu vermeiden. Die Probenahme für die Bestimmung der gasförmigen Schadstoffe erfolgt separat (siehe Abb. 9).

An der Feinstaubprobenahme sind am Einlass Vorabscheider installiert. Diese stellen sicher, dass Partikel mit einem definierten aerodynamischen Durchmesser (PM_{10} : $< 10 \mu m$ bzw. $PM_{2,5}$: $< 2,5 \mu m$) in das Messgerät gelangen. Jedes Feinstaubmessgerät besitzt stets eine eigene Probenahme mit Vorabscheider (siehe Abb. 10).

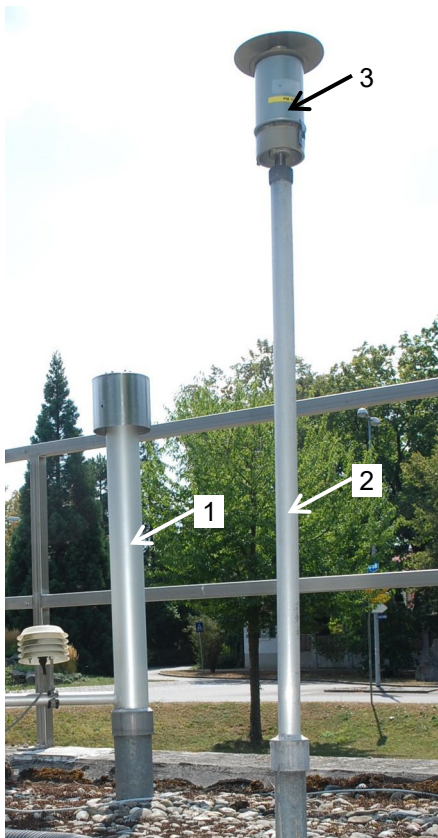


Abb. 9: Probenahme für gasförmige Luftschadstoffe (1) und Feinstaubmessgerät (2) mit Vorabscheider (3)

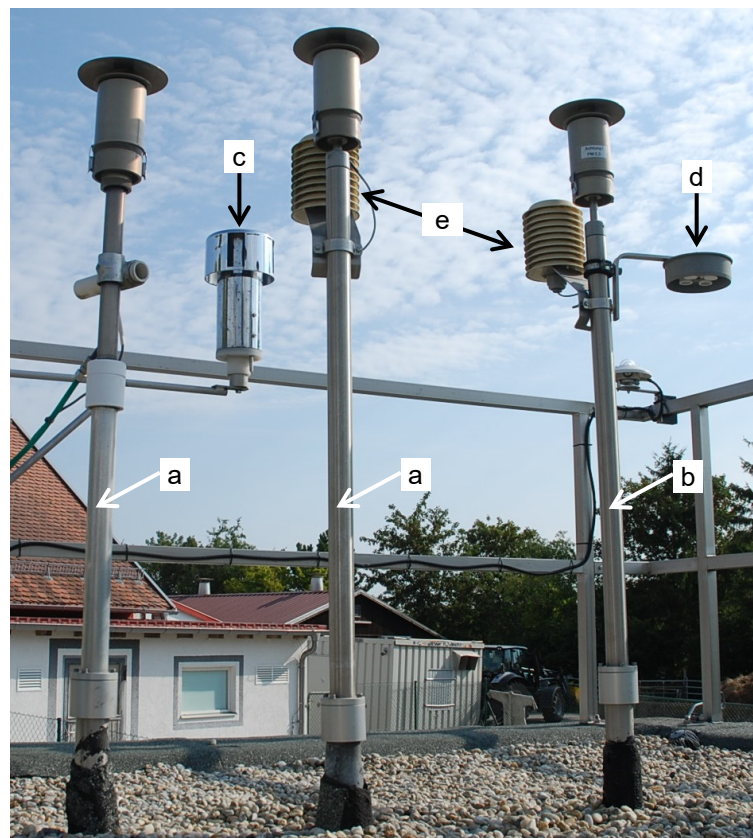


Abb. 10: Probenahmen (a) für PM_{10} und (b) für $PM_{2,5}$ mit entsprechenden Vorabscheidern. Die Rohre der Probenahmen dienen häufig zum Anbringen von weiteren Messgeräten: (c) Passivsammler für Benzol (d) Passivsammler für Stickstoffdioxid (e) Temperatursensor.

Die Luftprobe wird in den Messstationen durch Probenahmeleitungen aus inertem Material wie Borosilikatglas (Gasanalysatoren) und Edelstahl (Kohlenwasserstoff- und Staubmessgeräte) geführt. Sofern gebogene Probenahmeleitungen für die Gasprobenahme eingesetzt werden, sind diese temperiert, um Kondensation an der Innenwand zu vermeiden. Die Gasanalysatoren sind in Racks eingebaut und über Teflonschläuche mit der Probenahmeleitung gasdicht verbunden. Die Messgeräte saugen mittels einer integrierten Pumpe die Probenluft aus der Probenahmeleitung an. Die Gesamtverweilzeit der Probenluft bis zur Messung in den Geräten beträgt maximal sechs Sekunden. Um dies zu gewährleisten, wird der Volumenstrom der Gasprobenahme automatisch überwacht.

Jede LÜB-Station verfügt über einen Stationsrechner, der mit den Messgeräten verbunden ist und die Daten verarbeitet. Der Zentralrechner in der Messnetzzentrale in Augsburg ruft die Messwerte jeder LÜB-Station halbstündlich automatisch ab.

Durch die unterschiedlichen baulichen Ausführungen der Messstationen und die jeweiligen Messaufgaben unterscheiden sich die technischen Ausstattungen der Stationen.

3.3 Kostenaufwand

Am LfU sind zwei Referate für den Betrieb des LÜB sowie der Qualitätssicherung und Auswertung der Luftqualitätsdaten zuständig. Über insgesamt 30 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verschiedener Ausbildungsrichtungen sind mit den erforderlichen Aufgaben betraut. Darüber hinaus ist weiteres LfU-Personal beispielsweise bei Beschaffungen und beim Betrieb der IT-Infrastruktur für das LÜB unterstützend tätig.

Die Kosten für die Neuerrichtung einer Messstation können von Station zu Station stark variieren. Gründe sind die unterschiedlichen Messkabinen (Beton oder Metall), die Geräteausstattungen – nicht an jeder Station werden dieselben Schadstoffe erfasst – und die schwankenden Preise der Gerätschaften im Handel. Außerdem schlagen je nach Standort unterschiedliche Erschließungskosten zu Buche. Der Kostenrahmen für den Aufbau einer LÜB-Station bewegt sich derzeit (2019) zwischen etwa 60.000 und 120.000 Euro. Hinzu kommen jährliche Betriebskosten von circa 15.000 Euro für Gase, Filter, Ersatzteile, Strom etc. sowie Personalkosten in Höhe von rund 30.000 Euro.

4 Messkomponenten

Die Tab. 4 zeigt die am LÜB automatisch erfassten Luftschadstoffe, das jeweilige Messprinzip sowie Messbereich und Nachweisgrenze.

Tab. 4: Übersicht der am LÜB gemessenen Luftschadstoffe unter Angabe des jeweiligen Messprinzips, des Messbereichs und der Nachweisgrenze

Messkomponente	Messprinzip	Messbereich	Nachweisgrenze
Stickstoffoxide (NO _x)	Chemilumineszenz ^[13]	0 – 1,91 mg/m ³ (NO ₂)	1 µg/m ³ (NO ₂)
Feinstaub-PM ₁₀	β-Absorption ^[14] β-Absorption/Lichtstreuung ^[14]	0 – 1,0 mg/m ³ 0 – 1,0 mg/m ³	3 µg/m ³ 0,5 µg/m ³
Feinstaub-PM _{2,5}	β-Absorption/Lichtstreuung ^[14]	0 – 1,0 mg/m ³	0,5 µg/m ³
Ozon (O ₃)	UV-Absorption ^[15]	0 – 1,0 mg/m ³	1 µg/m ³
Kohlenmonoxid (CO)	IR-Absorption ^[16]	0 – 58 mg/m ³	0,1 mg/m ³
BTX: Benzol Toluol o-Xylol	Thermodesorption mit Kapillargaschromatogra- phie ^[17]	0 – 0,1 mg/m ³ 0 – 0,3 mg/m ³ 0 – 0,1 mg/m ³	0,1 µg/m ³

Zur Qualitätssicherung der täglichen Konzentrationswerte an Feinstaub-PM₁₀ und Feinstaub-PM_{2,5} werden außerdem an einigen Stationen Filterproben gesammelt und manuell mittels Gravimetrie^[18] bestimmt. Feinstaubproben werden auch für ausgewählte Standorte im Labor auf die Inhaltsstoffe Blei, Arsen, Kadmium, Nickel und Benzo[a]pyren analysiert.

Des Weiteren werden am LÜB Schwermetalle in Staubniederschlägen nach der Bergerhoff-Methode^[19] bestimmt sowie mit Passivsammlern Proben gesammelt, aus denen die Konzentrationen von Benzol^[20], Stickstoffdioxid^[21] und Ammoniak^[22] ermittelt werden. Vor allem, um die Ausbreitung von Schadstoffen in der bodennahen Luftschicht zu untersuchen, werden die wesentlichen meteorologischen Parameter Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Globalstrahlung und Luftdruck an beziehungsweise in der Nähe einiger LÜB-Stationen erfasst.

Die jeweilige Messaufgabe einer LÜB-Station ist stets individuell und richtet sich nach der Immissionssituation am Messort. Daher variiert die Bestückung der Stationen mit Messgeräten. Die Tab. 5 gibt eine Übersicht der an den verschiedenen LÜB-Stationen kontinuierlich gemessenen Luftschadstoffe.

Tab. 5: Bestückungsübersicht der LÜB-Stationen (Stand 10/2019)

EU-Code	Ort	Standort	Stationstyp	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	CO	BTX
DEBY109	Andechs	Rothenfeld – JVA	ländlich, Hintergrund	X	X	X	X		
DEBY001	Ansbach	Residenzstr.	städtisch, Verkehr	X	X	X		X	
DEBY002	Arzberg	Egerstr.	vorstädtisch, Hintergrund			X	X		
DEBY005	Aschaffenburg	Bussardweg	vorstädtisch, Hintergrund	X		X	X		
DEBY007	Augsburg	Bourges-Platz	städtisch, Hintergrund	X	X	X	X		
DEBY110	Augsburg	Karlstr.	städtisch, Verkehr	X	X			X	
DEBY006	Augsburg	Königsplatz	städtisch, Verkehr	X	X			X	X
DEBY099	Augsburg	Bgm.-Ulrich-Str.	vorstädtisch, Hintergrund	X	X	X	X	X	X
DEBY122	Bad Hindelang	Riedlesweg	ländlich, Hintergrund	X	X		X		
DEBY079	Bad Reichenhall	Kirchholzstr.	städtisch, Hintergrund	X			X		
DEBY009	Bamberg	Löwenbrücke	städtisch, Hintergrund	X	X	X			
DEBY111	Bayreuth	Hohenzollernring	städtisch, Verkehr	X	X				
DEBY124	Burgbernheim	Grüne Au	ländlich, Hintergrund	X		X	X		
DEBY012	Burghausen	Klausenstr.	vorstädtisch, Hintergrund	X	X	X	X		
DEBY014	Coburg	Lossastr.	städtisch, Verkehr			X		X	
DEBY113	Erlangen	Kraeplinstr.	vorstädtisch, Hintergrund	X			X		
DEBY056	Fürth	Theresienstr.	städtisch, Verkehr		X				
DEBY196	Garmisch-Part.	Tegernauweg	ländlich, Hintergrund	X			X		
DEBY020	Hof	Dr.-Enders-Str.	vorstädtisch, Hintergrund	X			X		
DEBY021	Ingolstadt	Rechbergstr.	städtisch, Verkehr	X	X	X		X	
DEBY028	Kelheim	Regensburger Str.	städtisch, Verkehr	X	X	X		X	
DEBY031	Kempten	Westendstr.	vorstädtisch, Hintergrund	X		X	X		
DEBY004	Kleinwallstadt	Hofstetter Str.	ländlich, Hintergrund	X		X	X		
DEBY032	Kulmbach	Konrad-Adenauer-Str.	städtisch, Hintergrund	X	X				
DEBY033	Landshut	Podewilsstr.	städtisch, Verkehr	X	X				
DEBY035	Lindau	Friedrichshafener Str.	städtisch, Verkehr	X	X	X		X	
DEBY013	Mehring	Scheibelbergstr.	ländlich, Hintergrund	X		X	X		
DEBY189	München	Allacher Str.	vorstädtisch, Hintergrund	X			X		
DEBY089	München	Nußstr.	vorstädtisch, Hintergrund	X	X	X	X		
DEBY115	München	Landshuter Allee	städtisch, Verkehr	X	X	X	X	X	
DEBY039	München	Lothstr.	städtisch, Hintergrund	X	X	X	X		
DEBY037	München	Sonnenstr.	städtisch, Verkehr	X	X	X	X	X	
DEBY047	Naila	Selbitzer Berg	ländlich, Hintergrund				X		
DEBY052	Neu-Ulm	Gabelsbergerstr.	städtisch, Hintergrund	X	X	X	X		
DEBY049	Neustadt/Donau	KEH7	ländlich, Hintergrund	X		X	X		
DEBY053	Nürnberg	Köhnstr.	städtisch, Verkehr	X		X			
DEBY058	Nürnberg	Fuchsstr.	städtisch, Hintergrund	X		X	X		
DEBY120	Nürnberg	Von-der-Tann-Str.	städtisch, Verkehr	X	X			X	
DEBY121	Oberaudorf	Auenstr.	ländlich, Verkehr	X	X	X			
DEBY187	Oettingen	Goethestr.	vorstädtisch, Hintergrund	X		X	X		
DEBY118	Passau	Stelzhamerstr.	städtisch, Hintergrund	X	X	X			
DEBY062	Regen	Bodenmaiser Str.	vorstädtisch, Hintergrund				X		
DEBY063	Regensburg	D.-Martin-Luther-Str.	städtisch, Verkehr	X	X			X	
DEBY030	Saal/Donau	Regensburger Str.	vorstädtisch, Hintergrund	X			X		
DEBY188	Schwabach	Angerstr.	städtisch, Hintergrund	X	X		X		
DEBY067	Schwandorf	Wackersdorfer Str.	vorstädtisch, Hintergrund	X		X	X		
DEBY068	Schweinfurt	Kornmarkt	städtisch, Hintergrund	X	X		X		
DEBY093	Sulzbach-Rosenberg	St.-Christophorus-Str.	vorstädtisch, Hintergrund		X		X		
DEBY072	Tiefenbach	Flurstück-Nr. 14	ländlich, Hintergrund	X	X	X	X		
DEBY088	Trostberg	Schwimmbadstr.	vorstädtisch, Hintergrund	X	X	X	X		
DEBY062	Vohburg/Donau	Alter Wöhrer Weg	vorstädtisch, Hintergrund				X		
DEBY075	Weiden/OPf.	Nikolaistr.	städtisch, Hintergrund	X		X	X		
DEBY077	Würzburg	Lindleinstr.	vorstädtisch, Hintergrund	X		X	X		
DEBY119	Würzburg	Stadtring Süd	städtisch, Verkehr	X	X			X	

4.1 Stickstoffoxide

Stickstoffoxide ist ein Sammelbegriff für gasförmige Oxide des Stickstoffs. Im Immissionsbereich sind insbesondere Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid von Relevanz. Stickstoffoxide entstehen vor allem bei Verbrennungsreaktionen unter erhöhtem Druck aus Stickstoff, der in der Umgebungsluft zu etwa 80 Prozent enthalten ist. Stickstoffmonoxid wird hauptsächlich direkt emittiert, bei Stickstoffdioxid spielt zudem die Sekundärbildung in der Atmosphäre aus Stickstoffmonoxid eine Rolle. Stickstoffoxide – in besonderem Maße Stickstoffdioxid – können negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben, da sie insbesondere die Atmungsorgane schädigen können. Stickstoffdioxid kann zu Entzündungsreaktionen vor allem in den Bronchien und den Lungenbläschen führen.

Am LÜB wird das gesetzlich^[8] festgelegte Referenzverfahren^[13] zur Messung verwendet, das auf dem Prinzip der Chemilumineszenz beruht: Stickstoffmonoxid wird in einer Messkammer im Messgerät mit Ozon zur Reaktion gebracht. Dabei werden angeregte Stickstoffdioxidmoleküle gebildet, die bei ihrer Rückkehr in den Grundzustand elektromagnetische Strahlung aussenden. Diese wird mit einem selektiven optischen Filter gefiltert und durch eine Photodiode in ein elektrisches Signal umgewandelt. Aus der Stärke dieses Signals lässt sich die Konzentration an Stickstoffmonoxid berechnen.

Um Stickstoffdioxid messen zu können, hat das Messgerät einen parallelen Messkanal: Darin wird die Luft vor der Messkammer durch einen beheizten Konverter geleitet, in dem alles in der Luft vorhandene Stickstoffdioxid zu Stickstoffmonoxid umgewandelt wird. Auf diese Weise wird bei der Messung die Gesamt-Stickstoffoxid-Konzentration erfasst. Aus der Differenz der beiden Messkanäle errechnet sich die Stickstoffdioxid-Konzentration.

Parallel zur Messung mittels Referenzverfahren^[13] wird an einigen Messstationen die Stickstoffdioxid-Konzentration durch Passivsammler^[21] bestimmt. Durch den Vergleich der Messwerte kann dokumentiert werden, dass mit den Passivsammlern vergleichbare Ergebnisse wie mit dem Referenzverfahren erzielt werden.

4.2 Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5})

Die Feinstaubbelastung stammt aus direkten Feinstaubemissionen beispielsweise durch den Straßenverkehr (Abgas, Reifen-, Bremsen- und Straßenabrieb), heimische Kamine und aus Industrieanlagen sowie aus sekundär gebildetem Feinstaub. Dieser entsteht, wenn gasförmige Luftschadstoffe miteinander reagieren und dabei kleinste Teilchen (Keime) bilden, die durch Folgereaktionen weiterwachsen. Feinstaub hat auf den menschlichen Körper vielfältige schädliche Wirkungen, die neben der chemischen Zusammensetzung in hohem Maße von der Größe der Staubteilchen abhängen. Daher wird im Rahmen der Immissionsüberwachung zwischen zwei Staubfraktionen unterschieden: Die Staubfraktion, die aus Partikeln mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer besteht, wird als PM₁₀ bezeichnet. Analog setzt sich die Staubfraktion PM_{2,5} aus Partikeln mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 2,5 Mikrometer zusammen. PM steht hierbei für die englische Bezeichnung für Feinstaub: *Particulate Matter*.

Am LÜB erfolgt eine kontinuierliche Messung der Staubfraktionen PM₁₀ und PM_{2,5}. Ein konstanter Volumenstrom der zu vermessenden Luft wird durch einen gröÙenselektiven Probeneinlass gesaugt. Dadurch wird erreicht, dass Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 10 beziehungsweise 2,5 Mikrometer in das Messgerät gelangen können, größere Partikel werden abgeschieden. Anschließend wird der Luftstrom durch einen Probenfilter geführt, auf dem die entsprechende Staubfraktion gesammelt wird. Die Menge des gesammelten Staubs wird durch Absorption von β -Strahlung ermittelt: Ein schwacher β -Strahler sendet Strahlung aus, die den Probenfilter durchstrahlt und auf der anderen Seite von einem Detektor erfasst wird. Je mehr Staub auf dem Filter abgeschieden ist, desto weniger Strahlung kommt am Detektor an und desto geringer ist das Signal. Aus diesem Signal wird unter Bezugnahme des Volumens der Luftprobe die Staubkonzentration berechnet.

Zudem ist am LÜB ein weiteres System zur kontinuierlichen Staubmessung im Einsatz, das neben der β -Strahlen-Absorption zusätzlich Lichtstreuung zur Bestimmung der Staubmasse heranzieht.

Die am LÜB betriebenen Verfahren zur kontinuierlichen Feinstaubmessung^[14] werden an ausgewählten Messstationen mit dem gesetzlich^[8] festgelegten Referenzverfahren abgeglichen. Hierzu bedarf es parallel zur kontinuierlichen Staubmessung eines weiteren Geräts, das auf vergleichbare Art und Weise die zu vermessende Staubfraktion auf einem Probenfilter abscheidet. Im Unterschied zu den kontinuierlichen Staubmessungen wird der beaufschlagte Filter allerdings manuell in einem extra dafür konzipierten Wägeraum unter exakt festgelegten Bedingungen ausgewogen. Aus der hierbei erhaltenen Staubmasse errechnet sich die Staubkonzentration unter Berücksichtigung des Volumens der Luftprobe^[18].

4.3 Ozon

Auch wenn die Ozonschicht in der Stratosphäre für die Menschheit überlebensnotwendig ist – in der Atemluft ist Ozon ein gesundheitsschädliches Reizgas. Es beeinträchtigt vor allem die Atemwege. Im Gegensatz zu den anderen am LÜB gemessenen Luftschadstoffen wird es nicht direkt anthropogen freigesetzt, sondern bildet sich in komplexen photochemischen Reaktionen aus dem Luftsauerstoff. Die Ozonbildung in Bodennähe erfordert das Vorhandensein von Vorläuferstoffen wie Stickstoffoxiden und Kohlenwasserstoffen. Es bedarf zudem intensiver Sonneneinstrahlung, wie sie hauptsächlich im Sommer vorkommt. Daher ist bodennahes Ozon vor allem unter dem Begriff *Sommersmog* bekannt.

Ozonmoleküle absorbieren ultraviolette Strahlung. Darauf beruht ihre Schutzwirkung vor UV-Licht in der Stratosphäre. Zur Messung der Ozonkonzentration am LÜB mittels gesetzlich^[8] festgelegtem Referenzverfahren wird diese Eigenschaft ausgenutzt: Die Messgeräte saugen kontinuierlich Umgebungsluft an, die in einer optischen Absorptionsküvette von monochromatischem Licht der Wellenlänge 253,7 Nanometer durchstrahlt wird. Eine Photodiode wandelt das Licht nach dem Durchqueren der Küvette in ein elektrisches Signal um. Die Ozon-Moleküle absorbieren einen Teil des Lichts, entsprechend schwächer ist das von der Photodiode erzeugte Signal bei höheren Ozonkonzentrationen. Durch synchrone Differenzmessung von geräteintern erzeugter, ozonfreier Luft und Umgebungsluft wird die Absorption bestimmt und daraus die Ozon-Konzentration berechnet.

4.4 Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid ist ein für den Menschen gefährliches Atemgift, da es an den roten Blutfarbstoff Hämoglobin bindet und damit den Sauerstofftransport behindert. Es entsteht, wenn bei Verbrennungsprozessen zu wenig Sauerstoff zur Verfügung steht. Die Entwicklung geregelter Katalysatoren und die optimierte motorische Verbrennung bei Fahrzeugmotoren haben in den letzten Jahrzehnten zu einer deutlichen Abnahme der Immissionsbelastung durch Kohlenmonoxid geführt.

Im LÜB wird zur Messung der Kohlenmonoxid-Konzentration das gesetzlich^[8] festgelegte Referenzverfahren mittels nicht-dispersiver Infrarot-Photometrie^[16] verwendet: Es nutzt die Abschwächung von infrarotem Licht durch Kohlenmonoxid aus. Hierzu wird ein kontinuierlicher Probenluftstrom von den Messgeräten durch eine Absorptionsküvette geleitet, die von infrarotem Licht passiert wird. Ein Detektor registriert das Licht nach dem Durchqueren der Küvette und wandelt es in ein elektrisches Signal um. Je mehr Infrarotlicht durch Kohlenmonoxid absorbiert wird, desto kleiner ist das Signal. Da auch andere Moleküle wie Wasser oder Kohlendioxid infrarotes Licht absorbieren, werden am LÜB Messgeräte betrieben, die durch synchrone Differenzmessung von Kohlenmonoxid-freier Luft und Probenluft den Effekt von Störkomponenten zuverlässig unterdrücken.

4.5 BTX – Benzol, Toluol und o-Xylol

Benzol ist der einfachste Vertreter der sogenannten aromatischen Kohlenwasserstoffe. Es handelt sich hierbei um einen Kohlenstoff-Sechsring, an jedes Kohlenstoffatom ist ein Wasserstoffatom gebunden. Toluol und o-Xylol sind Derivate des Benzols, bei denen ein beziehungsweise zwei Wasserstoffatome durch eine Methylgruppe ersetzt sind.

Insbesondere bei Benzol handelt es sich um ein Gift, das auf den Menschen eine karzinogene Wirkung hat. In den letzten Jahrzehnten konnte die Immissionsbelastung durch Benzol deutlich verringert werden. Dies wurde vor allem durch eine Senkung des Benzolgehalts im Ottokraftstoff, verbesserte Verbrennungstechniken, Gasrückführungssysteme an Tankstellen sowie Gaspendelverfahren beim Befüllen von Tanks erreicht.

Die kontinuierliche Messung von Benzol, Toluol und o-Xylol erfolgt am LÜB mit dem gesetzlich^[8] festgelegten Referenzverfahren mittels Gaschromatographie^[17]: Die aromatischen Kohlenwasserstoffe werden in ein Sorptionsrohr gesaugt und dort adsorbiert. Nach definierter Zeitspanne werden sie thermisch wieder desorbiert und mit Hilfe eines inerten Trägergases in einen Gaschromatographen überführt. Hier werden sie in einer Kapillarsäule aufgetrennt und in einem Detektor nachgewiesen. Die sogenannte Retentionszeit – die Zeit, die für die Durchströmung der Kapillarsäule benötigt wird – ist charakteristisch für die jeweilige Verbindung und erlaubt ihre Identifizierung. Eine quantitative Aussage ist über die Intensität des Detektorsignals möglich.

Neben der kontinuierlichen gaschromatographischen Messung^[17] werden am LÜB an einigen weiteren Messstationen Passivsammler zur Bestimmung von Benzol, Toluol und o-Xylol eingesetzt. Diese werden nach Ablauf der Expositionsdauer im Labor gaschromatographisch analysiert^[20].

5 Datenerfassung und -veröffentlichung

5.1 Datenerfassung

Jede LÜB-Station verfügt über einen Messstationsrechner. Dieser steuert die Messgeräte, erfasst, verarbeitet und speichert die Daten und wickelt die Datenfernübertragung an die Messnetzzentrale ab. Über die Messnetzzentrale ist eine vollständige Interaktion mit dem Messstationsrechner jederzeit möglich. Zudem hat das Wartungspersonal vor Ort über eine vereinfachte Bedieneinheit die Möglichkeit, den Messstationsrechner zu steuern und Messstations- sowie Messgeräteinformationen abzurufen.

Die Messgeräte in den Messstationen erfassen laufend Messdaten sowie den internen Betriebs- und Fehlerstatus. Der Messstationsrechner fragt alle fünf Sekunden Daten ab und die Messgeräte übertragen daraufhin den aktuellen Messwert sowie etwaige Status- und Fehlermeldungen. Die aktuellen Messwerte werden am Messstationsrechner zwischengespeichert und zu Ein-Minuten- und Halbstunden-Mittelwerten verarbeitet.

Jeweils zwei Minuten nach jeder halben Stunde startet die Messnetzzentrale in Augsburg automatisch einen Datenabruf aller Messstationen. Hierbei werden die Rohdaten als Halbstunden-Mittelwerte zusammen mit sämtlichen Betriebs- und Fehlerstatusmeldungen der letzten halben Stunde über eine UMTS-Verbindung^b von den Messstationsrechnern an die Messnetzzentrale übertragen und permanent in einer Datenbank gespeichert. Jedem Halbstunden-Mittelwert ist ein Eintrag in einer Referenz-tabelle eindeutig zugeordnet, der weitere Informationen wie zum Beispiel Messort und Messzeit enthält. Anschließend erfolgt bei der Messwertverarbeitung komponentenabhängig eine automatische Plausibilitätsprüfung der Halbstunden-Mittelwerte. Auf Basis dieser Werte werden die weiteren Daten, wie beispielsweise Stunden- oder Jahreswerte, berechnet. Zur Datensicherung wird die Datenbank in der Messnetzzentrale regelmäßig in zeitlichem Abstand von unter einer Minute auf einen zweiten Server gespiegelt. Sind Wartungs- oder Kalibriertätigkeiten an einem Messgerät notwendig, gehen die erfassten Werte nicht in die Messwertverarbeitung ein.

Um bedeutsame Immissionssituationen rechtzeitig zu erkennen, ist an die Messnetzzentrale ein automatischer Alarmmelder gekoppelt. Dieser alarmiert im Bedarfsfall das Betriebs- oder das Bereitschaftspersonal zu jeder Tages- und Nachtzeit.

^b Universal Mobile Telecommunications System

5.2 Veröffentlichung der Messdaten

Zur Unterrichtung der Öffentlichkeit und zur Weitergabe der Messdaten an die Europäische Kommission nach den Paragraphen 30 bis 32 der 39. BImSchV^[8] gibt es am LÜB drei Hauptwege der Veröffentlichung:

- Unterrichtung der Öffentlichkeit über aktuelle Messwerte durch das Internet
- Übertragung plausibilitätsgeprüfter Datensätze an das Umweltbundesamt
- Erstellung und Veröffentlichung von Auswertungen wie den Lufthygienischen Jahresberichten im Internet

Der Datenfluss innerhalb des Messnetzes sowie die verschiedenen Veröffentlichungsarten sind schematisch in Abb. 11 skizziert.

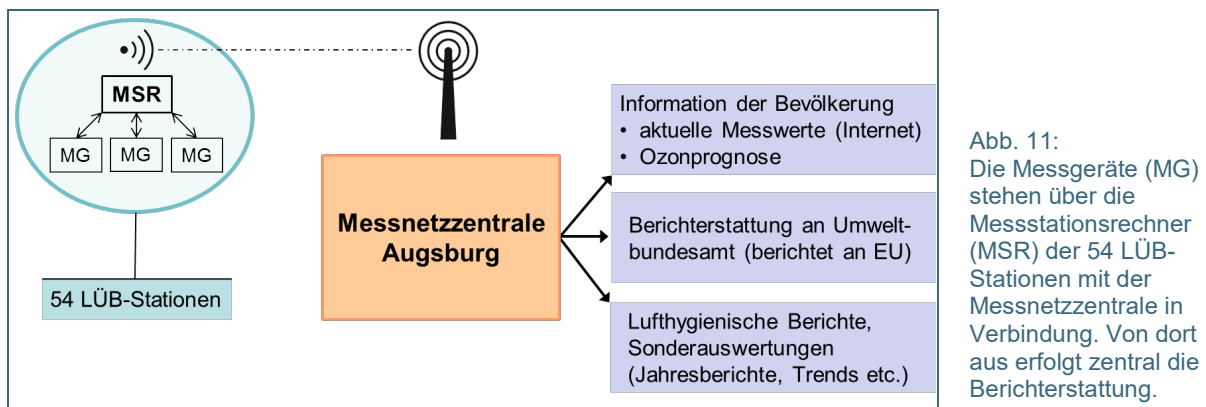


Abb. 11:
Die Messgeräte (MG) stehen über die Messstationsrechner (MSR) der 54 LÜB-Stationen mit der Messnetzzentrale in Verbindung. Von dort aus erfolgt zentral die Berichterstattung.

Die Veröffentlichung der aktuellen Messwerte über das Internet ist eine wesentliche Säule im Informationsangebot des LÜB. Interessierte Bürger werden zeitnah über die aktuelle Luftqualität an den Messstationen informiert. Eine Aktualisierung erfolgt stündlich, außerdem werden Überschreitungen von Grenzwerten, Informations- und Alarmschwellen aufgelistet. Eine Übersicht der im Internet einsehbaren Messdaten zeigt die Tab. 6. Beim Anklicken des jeweiligen Messwerts wird zudem der Messwertverlauf der letzten 48 Stunden (Stickstoffdioxid, Ozon und Kohlenmonoxid) beziehungsweise der letzten fünf Tage (Feinstaub PM₁₀) grafisch veranschaulicht.

Schadstoff	Art	Einheit
Stickstoffdioxid	letzter Stundenmittelwert	µg/m ³
Feinstaub PM ₁₀	Tagesmittelwert am Vortag	µg/m ³
Feinstaub PM ₁₀	gleitender 24-Stunden-Mittelwert	µg/m ³
Ozon	gleitender 8-Stunden-Mittelwert	µg/m ³
Ozon	letzter Stundenmittelwert	µg/m ³
Kohlenmonoxid	gleitender 8-Stunden-Mittelwert	mg/m ³

Tab. 6:
Im Internetauftritt des LfU veröffentlichte LÜB-Messwerte^c

^c <https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/messwerte/index.htm>

Da bei dieser Form der Veröffentlichung die Aktualität im Vordergrund steht, sind die Messwerte bei der Veröffentlichung noch nicht abschließend auf Plausibilität geprüft und daher als vorläufig gekennzeichnet. Diese vorläufigen Messwerte werden auch dem Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt, das auf seiner Homepage über die Immissionssituation im gesamten Bundesgebiet informiert.

Für ausgewählte LÜB-Stationen wird im Sommerhalbjahr aus den vorläufigen Ozonmesswerten eine Ozonprognose für den Folgetag erstellt. Die jeweils für Nord- und Südbayern maximal zu erwartenden Ozonkonzentrationen werden gegen 16 Uhr im Internet im Ozonbericht veröffentlicht.

Monats- und jahresweise wird nach erfolgter Plausibilitätsprüfung der Messdaten ein vollständiger Messdatensatz an das Umweltbundesamt übertragen. Die Details der Datenübertragung sind vom Umweltbundesamt geregelt^[23], damit ein einheitliches Vorgehen der Ländermessnetze erreicht wird. Die übermittelten Daten dienen unter anderem der Berichterstattung an die Europäische Kommission.

Im LÜB werden die auf Plausibilität geprüften Messdaten für Auswertungen herangezogen, die im Internet veröffentlicht werden. Hierzu wird für jedes Jahr ein Lufthygienischer Jahresbericht erstellt, in dem die Immissionssituation den gesetzlich^[8] festgelegten Grenz- und Zielwerten gegenübergestellt ist und der für ausgewählte Luftschadstoffe Trendanalyse der letzten zehn Jahre enthält. Einige weiterführende Auswertungen sind zudem in der Rubrik Auswertungen^d im Internet zu finden.

Zusätzlich zu den Formaten des LfU können sich die Bürger mit der App *umweltinfo* des Bayerischen Umweltministeriums unter anderem aktuell über die Luftqualität in Bayern an sämtlichen LÜB-Stationen informieren. Der Nutzer kann bis zu drei Standorte festlegen (Wohn-, Arbeits- oder Ferienort), für die er jeweils seine für ihn wichtigen Umweltinformationen (zum Beispiel Messwerte, -verläufe) und Gefahrenwarnungen auswählt. Sind die Orte festgelegt und eine Auswahl der gewünschten Informationen getroffen, werden aktuelle Warnhinweise auf sein Smartphone gesendet. Die gewählten Umweltinformationen werden auf der Startseite der App angezeigt. In Abb. 12 und Abb. 13 sind die QR-Codes zum Herunterladen der App *umweltinfo* für Android- und iPhone-Geräte abgebildet.



Abb. 12: QR-Code zur App *umweltinfo* des Bayerischen Umweltministeriums im Google Play Store



Abb. 13: QR-Code zur App *umweltinfo* des Bayerischen Umweltministeriums im iTunes® App-Store

^d <https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/auswertungen/index.htm>

Auch das Umweltbundesamt^e (UBA) bietet neben dem Luftdatenportal^f mit umfassenderen Informationen in der App *Luftqualität* wichtige Informationen zur Luftqualität an den über 400 Luftmessstationen in ganz Deutschland an. Ein Luftqualitätsindex, der sich aus den gemessenen Konzentrationen der drei Schadstoffe Feinstaub (PM₁₀), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) errechnet und von „sehr gut“ bis „sehr schlecht“ reicht, ergänzt das Angebot. In Abb. 14 und Abb. 15 sind die QR-Codes zum Herunterladen der App *Luftqualität* für Android- und iPhone-Geräte abgebildet.



Abb. 14: QR-Code zur App *Luftqualität* des UBA im Google Play Store



Abb. 15: QR-Code zur App *Luftqualität* des UBA im iTunes® App-Store

^e Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Roßlau

^f <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/daten>

6 Qualitätssicherung

Was ist Qualität? Die Norm DIN EN ISO 9000^[24] definiert den Begriff *Qualität* laut Abb. 16.



Abb. 16: Definition des Begriffs *Qualität* nach DIN EN ISO 9000^[24]

Vereinfacht ausgedrückt erreicht man Qualität also dann, wenn man Anforderungen erfüllt. Die wesentlichen Anforderungen für das LÜB sind in der 39. BImSchV^[8] festgelegt. Die Verordnung enthält die Datenqualitätsziele für die im LÜB gemessenen Luftschadstoffe und definiert komponentenabhängig die maximal zulässige Messunsicherheit. Um diese Anforderungen nachhaltig erfüllen zu können, werden im LÜB verschiedene Maßnahmen zur Qualitätssicherung vorgenommen. Diese lassen sich einteilen in vorbeugende und korrigierende Maßnahmen, deren Ziel eine gleichbleibend hohe Messqualität ist. Die Tab. 7 gibt einen Überblick über die wichtigsten Grundpfeiler der Qualitätssicherung am LÜB.

Tab. 7: Die wichtigsten Maßnahmen zur Qualitätssicherung am LÜB und ihre Ziele

Maßnahme	Art	Ziel
Einsatz eignungsgeprüfter Messgeräte	vorbeugend	geeignete Messwerterfassung
regelmäßige Wartungen	vorbeugend	Verhindern von Gerätedefekten
regelmäßige Kalibrierungen	vorbeugend	vergleichbare Messwerte
regelmäßige Funktionskontrollen	vorbeugend	Erkennen von Gerätedriften
Ringversuche/Vergleichsmessungen	vorbeugend	vergleichbare Messwerte
Plausibilitätskontrollen	korrigierend	korrekter Datensatz
Berechnung der Messunsicherheit	korrigierend	geeignete Messbedingungen

6.1 Voraussetzungen

6.1.1 Einsatz eignungsgeprüfter Messgeräte

Am Anfang steht die Wahl der Messverfahren. Im LÜB werden zur Messung der gasförmigen Luftschadstoffe die Referenzmessmethoden^[8] angewandt. Bei der Feinstaubbestimmung werden neben dem gravimetrischen Referenzverfahren^[18] zusätzlich kontinuierlich arbeitende Staubmessgeräte^[14] betrieben.

Alle für diese Messverfahren im LÜB eingesetzten Messgerätetypen wurden von unabhängigen Prüflaboratorien auf ihre Eignung untersucht. Sie werden nur eingesetzt, wenn sie in die Liste der eignungsgeprüften Messgeräte auf der Homepage des Umweltbundesamts⁹ aufgenommen sind.

Dadurch wird sichergestellt, dass sämtliche technischen Anforderungen des jeweiligen Messverfahrens eingehalten werden.

⁹ <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/messenbeobachtenueberwachen/anerkannte-messgeraete-messverfahren>

6.1.2 Regelmäßige Wartung der Messgeräte

Die im LÜB betriebenen Messgeräte werden in der Regel alle ein bis zwei Wochen vor Ort in den Messstationen von Technikern überprüft und gewartet. Hierbei werden beispielsweise Gerätefilter und Prüfgasflaschen gewechselt oder bedarfsabhängig einfachere Reparaturtätigkeiten an den Messgeräten oder an der Infrastruktur der Messstation ausgeführt. Zudem findet in regelmäßigen Abständen eine Hauptwartung der Messgeräte in einer der LÜB-Werkstätten statt. Die Wartung ist stark an den jeweiligen Messgerätetyp angepasst und richtet sich in der Regel nach den Herstellerangaben. Dabei macht es sich bezahlt, dass man auf langjährige eigene Erfahrungen aufbauen kann. Die Maxime ist, eine einwandfreie Funktionsfähigkeit der Messgeräte für viele Jahre zu erreichen, indem zum Beispiel einzelne Baugruppen bereits nach einer festgelegten Anzahl an Betriebsstunden und nicht erst bei Ausfall ersetzt werden. Die Arbeiten führen ausschließlich speziell geschulte Techniker durch.

6.1.3 Regelmäßige Kalibrierung der Messgeräte

Die Kalibrierung der Messgeräte in regelmäßigen Abständen stellt sicher, dass keine Messwertdriften zu falschen Ergebnissen führen. Die Kalibrierungen dienen der metrologischen Rückführbarkeit auf das Internationale Einheitensystem, was Voraussetzung für weltweit vergleichbare Messergebnisse ist.

Die Kalibrierstrategie im LÜB umfasst zwei Arten der Kalibrierung: Nach jeder Wartung eines Messgeräts wird eine aufwendige Grundkalibrierung durchgeführt. Sie fungiert gleichermaßen als Ausgangskontrolle und ist Voraussetzung für einen Einsatz im Messnetz. Die Grundkalibrierungen finden in Prüflaboratorien des LÜB statt. In regelmäßigen Abständen werden zudem Kontrollkalibrierungen der Messgeräte direkt an der jeweiligen Messstation vorgenommen. Für die Kontrollkalibrierungen der Messgeräte für die gasförmigen Luftschadstoffe verfügt das LÜB über zwei Kalibrierfahrzeuge (siehe Abb. 17), bei denen es sich um mobile Kalibrierlabore handelt. Die Kontrollkalibrierung ist weniger umfangreich als die Grundkalibrierung. Bei etwaigen Auffälligkeiten wird das betroffene Messgerät ersetzt und einer vorgezogenen Jahreswartung zugeführt.



Abb. 17: Blick in ein Kalibrierfahrzeug des LÜB. Die Messgeräte sind im Rack (links) eingebaut, rechts davon befindet sich ein Bildschirmarbeitsplatz, um die Messwerte zu verfolgen.

6.1.4 Automatische Funktionskontrollen

Die Messgeräte für Stickoxide, Ozon und Kohlenmonoxid führen alle 23 Stunden automatisch eine Funktionskontrolle durch. Hierbei wird überprüft, ob das Messgerät am Nullpunkt sowie bei einer hohen Konzentration des zu vermessenden Schadstoffs korrekt misst (Nullpunkt- und sogenannte Spanpunktprüfung). Eine zu große Abweichung vom jeweiligen Sollwert kann ein Hinweis auf eine Gerätefehlfunktion sein. Dazu wird automatisch der normale Messzustand unterbrochen und zunächst mittels einer Aktivkohlekartusche gereinigte Luft aufgegeben und vermessen. Nach einer festen Zeitspanne schaltet ein Ventil um. Das Messgerät wird nun mit Prüfgas^h versorgt und bestimmt dessen Konzentration. Ist der Wert im zulässigen Bereich, war die Funktionskontrolle erfolgreich und das Messgerät schaltet wieder in den normalen Messzustand um.

Die Ergebnisse der Funktionskontrollen werden gesondert über den Messstationsrechner an die Messnetzzentrale übermittelt; die Betrachtung des zeitlichen Verlaufs entspricht einer Kontrollkarte. Tritt bei einer Funktionskontrolle eine zu große Abweichung vom Sollwert auf, wird automatisch eine Meldung generiert, die die Mitarbeiter der Messnetzzentrale auf eine mögliche Gerätefehlfunktion hinweist.

Die Abb. 18 zeigt beispielhaft den zeitlichen Verlauf der Spanpunktprüfungen mit Stickstoffmonoxid-Prüfgas am Messgerät für Stickstoffoxide in der LÜB-Station München Landshuter Allee vom 01.11.2018 bis zum 31.01.2019: Die Ergebnisse der Funktionsprüfungen liegen im zulässigen Bereich.

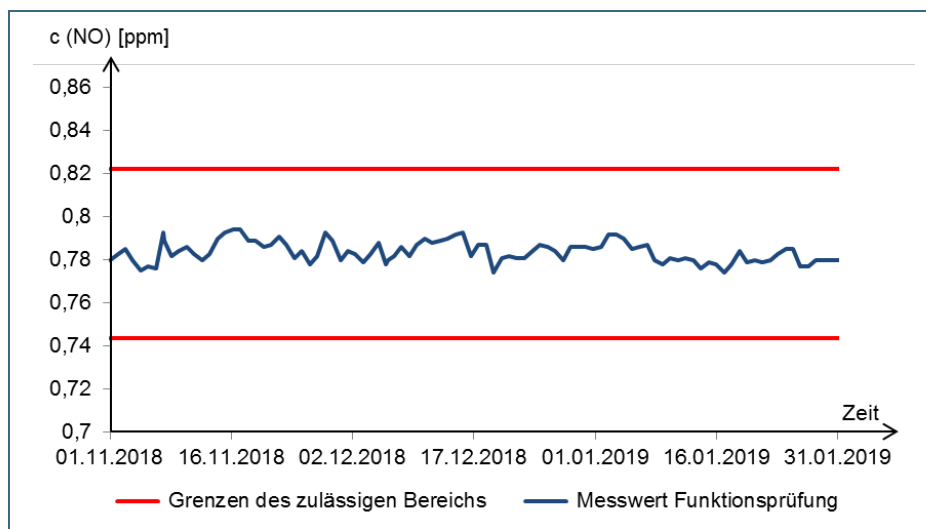


Abb. 18:
Automatische Funktionskontrolle am Beispiel des Messgeräts für Stickstoffoxide in der LÜB-Station München Landshuter Allee von Anfang November 2018 bis Ende Januar 2019

6.1.5 Ringversuche/Vergleichsmessung

Vergleiche mit anderen Messstellen erhöhen die Wahrscheinlichkeit, systematische Fehler zu erkennen und künftig zu vermeiden. Zu diesem Zweck werden in erster Linie für die Ländermessnetze von den nationalen Referenzlaboratorien^[8] Umweltbundesamt und Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalenⁱ (LANUV) Ringversuche organisiert. Hierbei strömt bei den gasförmigen Luftschadstoffen ein homogener Probegasstrom durch eine Ringleitung. Die Teilnehmer entnehmen daraus einen Teil des Gasstroms zur Analyse. Bei Ringversuchen zur Feinstaubbestimmung werden die Messeinrichtungen der Teilnehmer in direkter Nachbarschaft auf einem Versuchsfeld im Freigelände aufgebaut, vermessen wird die örtliche Umgebungsluft.

^h klar definierte Konzentration des jeweiligen Luftschadstoffs beispielsweise aus einer Prüfgasflasche

ⁱ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Leibnizstr. 10, 45659 Recklinghausen

Für die gasförmigen Luftschadstoffe finden etwa alle zwei Jahre Ringversuche statt. Wegen des höheren Organisationsaufwands werden Ringversuche für die Feinstaubbestimmung in Absprache mit den Ländern in größeren Abständen angeboten. Das LÜB nimmt regelmäßig an diesen Ringversuchen teil. Außerdem werden im LÜB ergänzend Vergleichsmessungen an Prüfgasen mit anderen Messnetzen durchgeführt, ausgewertet und dokumentiert.

6.2 Korrigierende Maßnahmen

6.2.1 Plausibilitätskontrolle der Messdaten

Nach der Messung werden die erfassten Rohwerte komponentenabhängig automatisch vom Datenerfassungsprogramm geprüft. Dabei ist es möglich, je nach gemessenem Schadstoff große Messwertsprünge und unplausibel hohe Konzentrationswerte zunächst automatisch auszuklammern sowie Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze zu bearbeiten. Der hierbei erhaltene Datensatz wird für die Veröffentlichung der aktuellen Luftschadstoff-Messwerte im Internet verwendet, die Daten sind als vorläufig gekennzeichnet.

Jede Woche findet eine manuelle Überprüfung des Datensatzes statt. Bewertet wird die Plausibilität vor allem von

- Datenausfällen
- Unstetigkeiten und Versatz (siehe Abb. 19)
- Rauschen
- fehlender Messwertdynamik
- automatisch ausgeklammerten Messwerten
- auffälligen Extremwerten

Hierzu werden Fehler-/Statusmeldungen der Messgeräte sowie Rückmeldungen der Techniker über die Vor-Ort-Situation an den Messstationen herangezogen. An einigen Messstationen sind zudem Webcams installiert, die Informationen für die Bewertung liefern können. Auch die vergleichende Betrachtung der Messwertverläufe verschiedener Messkomponenten liefert Hinweise auf etwaige Messfehler.

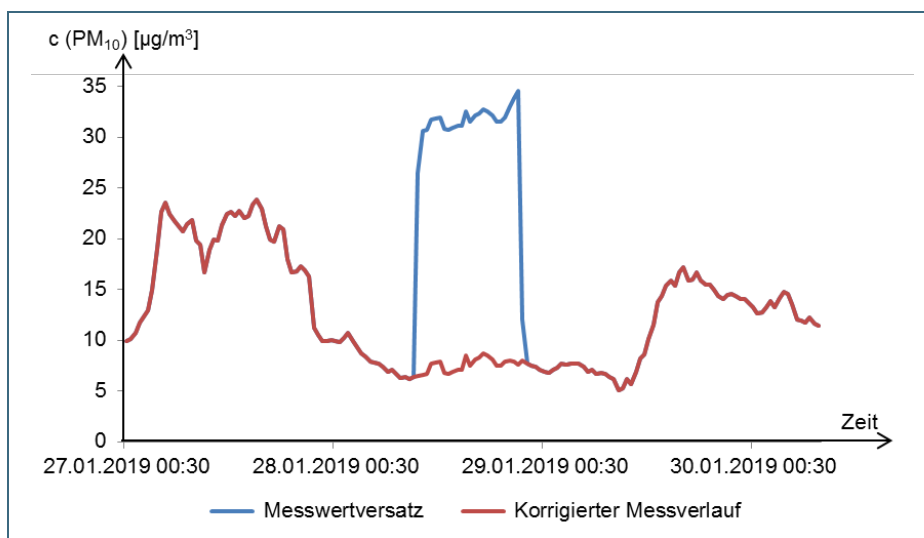


Abb. 19:
Zu korrigierender Versatz im $PM_{2,5}$ -Messwertverlauf an der LÜB-Station Passau am 28./29.01.2019, der durch eine kurzzeitige Unterbrechung der Stromversorgung des Messgeräts ausgelöst wurde.

Die Konzentrationsverläufe werden zudem etwa monatlich auf der Basis des zurückliegenden Kalendermonats sowie jährlich auf Grundlage des Jahresverlaufs überprüft. Im Fokus liegt das Erkennen unplausibler Messwertdriften. Die vergleichende Betrachtung der Messwertverläufe verschiedener Messkomponenten oder der Vergleich von Messungen an verschiedenen Messstationen kann auf mögliche Messfehler hindeuten. An das Umweltbundesamt und die Europäische Kommission werden die erforderlichen Datensätze erst nach der vollständigen Prüfung der Messdaten auf Plausibilität übertragen.

6.2.2 Berechnung der Messunsicherheit

Die Messunsicherheit sagt aus, wie nah der wahre Wert einer Messgröße mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit am Messwert liegt. Sie berechnet sich als geometrische Summe aus den einzelnen Teilunsicherheitsbeiträgen, die für das jeweilige Messverfahren relevant sind. Die genaue Berechnung der Messunsicherheiten richtet sich nach der maßgebenden Norm und berücksichtigt die darin aufgeführten Teilunsicherheiten. Sie wird für die Messverfahren jährlich durchgeführt, Abweichungen zum langjährigen Durchschnitt können ein Hinweis auf Probleme bei der Messung sein.

Die Messunsicherheiten werden stets als erweiterte Messunsicherheit angegeben, 95 % der wahren Werte liegen innerhalb des durch die Messunsicherheit eingegrenzten Bereichs um das Messergebnis. Die 39 BImSchV^[8] legt in Anlage 1 die maximale Messunsicherheit für die einzelnen Messverfahren fest.

6.3 Akkreditierung

Der Begriff *Akkreditierung* kommt ursprünglich aus dem Lateinischen und heißt so viel wie *Glaubenschenken*. Die DIN EN ISO/IEC 17011^[25] definiert *Akkreditierung* laut Abb. 20:

Bestätigung durch eine dritte Seite die formal darlegt, dass eine Konformitätsbewertungsstelle die Kompetenz besitzt, bestimmte Konformitätsbewertungsaufgaben durchzuführen.

Abb. 20: Definition des Begriffs Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17011^[25]

Bei einer Akkreditierung wird einer Konformitätsbewertungsstelle wie zum Beispiel dem LfU von neutraler Seite bestätigt, dass es die von ihm durchgeführten Konformitätsbewertungsaufgaben – beispielsweise die Immissionsmessungen – kompetent ausführt. Diese neutrale Seite ist in Deutschland seit 2010 die Deutsche Akkreditierungsstelle^j. Deren Gutachter überprüfen und bewerten die Konformitätsbewertungsstellen bezüglich der von ihnen durchgeführten Messverfahren auf Grundlage der DIN EN ISO/IEC 17025^[26]. Bei positiv verlauener Begutachtung wird in einer Akkreditierungsurkunde die Kompetenz der jeweiligen Konformitätsbewertungsstelle bestätigt.

Die wichtigsten Voraussetzungen für eine Akkreditierung sind ein laufendes Qualitätsmanagementsystem^k und eine kompetente Durchführung des zu akkreditierenden Messverfahrens. Das LfU hat sich entschieden, die Messverfahren im Immissionsbereich schrittweise akkreditieren zu lassen. Begonnen wurde mit dem Messverfahren für Stickoxide nach DIN EN 14211^[13] (akkreditiert seit März 2019). In den kommenden Jahren sollen die Messverfahren für die Bestimmung von Feinstaub^{[14], [18]}, Ozon^[15]

^j Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH, Spittelmarkt 10, 10117 Berlin

^k die 39. BImSchV fordert für die Messnetze ein *Qualitätssicherungs- und Qualitätskontrollsystem*

und Kohlenmonoxid^[16] folgen. Mit einer Akkreditierung durch die Deutsche Akkreditierungsstelle¹ kann das LfU seine Kompetenz nach außen hin positiv darstellen.

Bei einer Akkreditierung handelt es sich nicht um eine einmalige Aufgabe. In regelmäßigen Abständen überprüft die Deutsche Akkreditierungsstelle¹, ob die Anforderungen eingehalten werden. Außerdem liegt der Akkreditierung der Gedanke der kontinuierlichen Verbesserung zugrunde. Ziel ist also nicht, das einmal erreichte Niveau zu halten, sondern sich dauerhaft weiter zu verbessern. Dies wird beispielsweise durch systematische Fehlerauswertung, die Weiterentwicklung von Analysetechniken sowie die Schaffung effizienterer Strukturen erreicht.

6.4 Weitere unabhängige Überprüfung

Bei der Debatte um Fahrverbote als Konsequenz aus der Überschreitung des Kalenderjahresmittelwerts für Stickstoffdioxid an Messstationen wurde im Frühjahr 2018 in den Medien unter anderem die Frage thematisiert, inwieweit in der Bundesrepublik die Standorte der Verkehrsmessstationen die (Soll-)Vorgaben der 39. BImSchV^[8] überhaupt erfüllen. Diese Debatte nahm das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) zum Anlass, den TÜV Rheinland mit der bundesweiten Überprüfung von 70 Stickstoffdioxid-Messstationen zu beauftragen. Dies betraf alle Messstationen, an denen im Jahr 2017 der Stickstoffdioxid-Jahresmittelwert von 40 µg/m³ überschritten wurde (in Bayern waren das die LÜB-Stationen Augsburg Karlstraße, München Landshuter Allee, München Stachus, Nürnberg Von-der-Tann-Straße und Regensburg Rathaus). Das TÜV-Gutachten¹ bescheinigte den Ländern die korrekte Aufstellung der überprüften Stationen: das heißt, die Messstationen liefern repräsentative Messwerte und sind rechtskonform aufgestellt. Diese Aussage wurde auch für die LÜB-Station München Stachus getroffen, obwohl dort der geforderte Mindest-Sollabstand von der Kreuzung unterschritten wird.

¹ https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/tuev_bericht_probenahmestellen_no2_bf.pdf

7 Ausblick

Immissionsüberwachung ist ein stark in der Öffentlichkeit präsent, vieldiskutiertes Thema. Die Messwerte des LÜB sind beispielsweise Grundlage für die Verkehrsplanung, um die Mobilität der Bürger und Bürgerinnen mit der Forderung nach möglichst hoher Luftqualität in Einklang zu bringen. Die Diskussion über Grenzwerte, Standorte von Messstellen oder Eignung von Messverfahren spiegelt die Wichtigkeit der qualitätsgesicherten Luftüberwachung wider.

Ein Immissionsmessnetz ist ein flexibles, sich stets veränderndes Gebilde, einen Endzustand gibt es nicht. Die Vergangenheit zeigt: Wenn sich die Vorgaben aus der Risikobeurteilung von Luftschadstoffen, die Randbedingungen oder der Stand der Technik ändern, sind auch die Anzahl der Messstationen sowie deren Standorte und die gemessenen Parameter jeweils den aktuellen Forderungen anzupassen. Auch die Erweiterung des Spektrums um Messverfahren für neue Parameter, wie etwa ultrafeine Partikel oder Ruß, ist zukünftig abzuwägen. Die Erfahrung aus über vier Jahrzehnten wird uns beim Bewältigen der Aufgaben von morgen zugutekommen. Auch neue Ansätze, wie die bereits begonnene Akkreditierung der Immissions-Messverfahren, werden ihren Beitrag hierzu leisten.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG). Vom 15. März 1974.
- [2] Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität.
- [3] 1. Tochterrichtlinie: Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft.
- [4] 2. Tochterrichtlinie: Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft.
- [5] 3. Tochterrichtlinie: Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt in der Luft.
- [6] 4. Tochterrichtlinie: Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft.
- [7] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa.
- [8] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen. Vom 2. August 2010.
- [9] Bayerisches Immissionsschutzgesetz (BayImSchG). Vom 8. Oktober 1974.
- [10] Stickstoffdioxid-Belastung: Hintergrund zu EU-Grenzwerten für NO₂, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2018 (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/stickstoffdioxid-belastung-hintergrund-zu-eu>; abgerufen am 08.10.2019).
- [11] WORLD HEALTH ORGANIZATION [Hrsg.]: Air Quality Guidelines for Europe, second edition, WHO Regional Publications, European Series, No. 91, 273 S., Kopenhagen, 2010.
- [12] Fortschreibung des Bevölkerungsstandes zum 31.12.2018, GENESIS Online Datenbank, Bayerisches Landesamt für Statistik, Fürth (<https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?sequenz=tabelleErgebnis&selectionname=12411-001>; abgerufen am 08.10.2019), Werte gerundet.
- [13] DIN EN 14211: Außenluft – Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenz; Deutsche Fassung EN 14211:2012, 101 S. Beuth Verlag, Berlin, 2012.
- [14] DIN EN 16450: Außenluft – Automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM₁₀; PM_{2,5}); Deutsche Fassung EN 16450:2017, 59 S., Beuth Verlag, Berlin, 2017.
- [15] DIN EN 14625: Außenluft – Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Ozon mit Ultraviolett-Photometrie; Deutsche Fassung EN 14625:2012, 95 S., Beuth Verlag, Berlin, 2012.
- [16] DIN EN 14626: Außenluft – Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid mit nicht-dispersiver Infrarot-Photometrie; Deutsche Fassung EN 14626:2012, 84 S., Beuth Verlag, Berlin, 2012.

- [17] DIN EN 14662 Blatt 3: Außenluft – Messverfahren zur Bestimmung von Benzolkonzentrationen – Teil 3: Automatische Probenahme mit einer Pumpe und gaschromatographische In-situ-Bestimmung; Deutsche Fassung EN 14662-3:2015, 82 S., Beuth Verlag, Berlin, 2015.
- [18] DIN EN 12341: Außenluft – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM₁₀- oder PM_{2,5}-Massenkonzentration des Schwebstaubes; Deutsche Fassung EN 12341:2014, 62 S., Beuth Verlag, Berlin, 2014.
- [19] VDI 4320 Blatt 2: Messung atmosphärischer Depositionen – Bestimmung des Staubniederschlags nach der Bergerhoff-Methode, 23 S., Beuth Verlag, Berlin, 2012.
- [20] VDI 2100 Blatt 3: Messen gasförmiger Verbindungen in der Außenluft – Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Gaschromatografische Bestimmung organischer Verbindungen – Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Adsorbentien – Thermodesorption, 60 S., Beuth Verlag, Berlin, 2011.
- [21] DIN EN 16339: Außenluft – Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid mittels Passivsammler; Deutsche Fassung EN 16339:2013, 49. S., Beuth Verlag, Berlin, 2013.
- [22] VDI 3869 Blatt 4: Messen von Ammoniak in der Außenluft – Probenahme mit Passivsammlern – Fotometrische oder ionenchromatografische Analyse, 38 S., Beuth Verlag, Berlin, 2012.
- [23] UMWELTBUNDESAMT [Hrsg.]: Handbuch Luftqualitätsdaten- und Informationsaustausch in Deutschland, Version V 5, 83 S., Dessau-Roßlau, 2019.
- [24] DIN EN ISO 9000 Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2015); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 9000:2015, 104 S., Beuth Verlag, Berlin, 2015.
- [25] DIN EN ISO/IEC 17011: Konformitätsbewertung – Anforderungen an Akkreditierungsstellen, die Konformitätsbewertungsstellen akkreditieren; Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17011:2017, Beuth Verlag, 63 S., Berlin, 2018.
- [26] DIN EN ISO/IEC 17025: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien; Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2018, 65 S., Beuth Verlag, Berlin, 2018.



Eine Behörde im Geschäftsbereich
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

