



Lufthygienischer Jahresbericht 2021

A microscopic image showing a dense network of cells, likely representing a biological or environmental sample.

luft



Lufthygienischer Jahresbericht 2021

Impressum

Lufthygienischer Jahresbericht 2021

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, Referat 23

Stand:

Oktober 2022

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 12 22 20 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

1	Einführung	5
2	Grundlagen zur Messung der Luftqualität in Bayern	5
2.1	Gesetzliche Grundlagen der Immissionsüberwachung	5
2.2	Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB)	6
2.3	Veröffentlichung der Immissionsdaten	12
2.4	Immissions-, Grenz-, Richt-, Leit-, Schwellen- und Zielwerte für Luftverunreinigungen	13
2.5	Allgemeine Informationen zur Messwertbekanntgabe und Ergebnisdarstellung	18
3	Ergebnisse der Immissionsmessungen 2021	19
3.1	Tabellarische Gesamtübersichten	19
3.2	Einzelergebnisse nach Luftschadstoff	22
3.2.1	Stickstoffmonoxid	22
3.2.2	Stickstoffdioxid	23
3.2.3	Feinstaub (PM ₁₀ und PM _{2,5})	26
3.2.4	Ozon	30
3.2.5	Kohlenmonoxid	36
3.2.6	Benzol	36
3.2.7	Blei, Arsen, Cadmium und Nickel im Feinstaub PM ₁₀	37
3.2.8	Benzo[a]pyren im Feinstaub PM ₁₀	37
3.3	Weitere Auswertungen im Internet	37
4	Trendanalysen je Messstation und Entwicklung unterschiedlicher Belastungsniveaus	38
4.1	Trendanalysen je Messstation	38
4.1.1	Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid	38
4.1.2	Feinstaub (PM ₁₀ und PM _{2,5})	39
4.1.3	Ozon	40
4.1.4	Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid	40
4.2	Entwicklung unterschiedlicher Belastungsniveaus	41
5	Ergebnisse der Staubbiederschlagsmessungen	43
5.1	Erläuterung	43
5.1.1	Allgemeines	43

5.1.2	Analytik der Inhaltsstoffe	43
5.1.3	Wiederfindungsraten	43
5.1.4	Quelle der Inhaltsstoffe, Ausreißer	44
5.1.5	Bestimmungsgrenzen	44
5.2	Messergebnisse	44
5.2.1	Gesamtstaubniederschlag	45
5.2.2	Inhaltsstoffe im Staubniederschlag	45
6	Tabellenverzeichnis	46
7	Abbildungsverzeichnis	47
8	Literaturverzeichnis	48

1 Einführung

Der ausführliche Lufthygienische Jahresbericht ergänzt den Jahreskurzbericht [1], der nach Abschluss der abschließenden Plausibilitätsprüfung der Messergebnisse des Vorjahres erstellt wird und über die kontinuierlichen Messergebnisse des Vorjahres informiert.

Im vorliegenden Bericht werden sämtliche Auswertungen des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) zur Überwachung der Luftqualität im Freistaat Bayern dargestellt. Die den Auswertungen zugrundeliegenden Messergebnisse sind im Internet [2] zugänglich.

Im Jahresbericht wird zunächst auf die gesetzlichen Grundlagen eingegangen. Hier bildet die Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) [3] die einschlägige Grundlage zur Konfiguration des Messnetzes und zur Beurteilung der Luftqualität anhand vorgegebener Schadstoffe. Anschließend wird in tabellarischer Form über Lage, Inbetriebnahme, Belastungsniveau und Messgerätebestückung der einzelnen LÜB-Messstationen informiert. Neben der grundlegenden Berichterstattung über die geforderten Mittelwerte (bezogen in der Regel auf ein Kalenderjahr, einen Tag oder eine Stunde) anhand vorgegebener Schwellenwerte (z. B. Grenzwerte, Zielwerte) wird die Luftqualität für ausgewählte Stoffe anhand von Trendanalysen über zehn Jahre bewertet. Dadurch wird die zeitliche Entwicklung der Luftqualität an den Messstationen und auch für unterschiedliche Belastungsniveaus bzw. Messstationstypen (z. B. Verkehrs- oder Hintergrundmessstationen) beleuchtet.

Neben den gesetzlich begründeten kontinuierlichen Immissionsmessungen und diskontinuierlichen Passivsammlermessungen der Konzentration von Luftschadstoffen führt das LfU Messungen der Gesamtstaubdeposition durch. Der abgelagerte Staub wird zusätzlich auf den Gehalt an einer breiten Palette an Metallen untersucht.

2 Grundlagen zur Messung der Luftqualität in Bayern

2.1 Gesetzliche Grundlagen der Immissionsüberwachung

Das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) [4] enthält in § 44 „Überwachung der Luftqualität“ das gesetzliche Instrumentarium zur Immissionsüberwachung.

Die Kriterien für die Lage der Probenahmestellen für Messungen von Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxiden, Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}), Blei, Benzol, Kohlenmonoxid und Ozon in der Luft sowie für die Bestimmung der Inhaltsstoffe Arsen, Cadmium, Nickel und Benzo[a]pyren im Feinstaub PM₁₀ sind in der 39. BImSchV [3] festgelegt, mit der die Luftqualitätsrichtlinien 2008/50/EG [5], 2004/107/EG [6] und 2001/81/EG [7] in deutsches Recht umgesetzt wurden. Gemäß dieser Verordnung sollen die Immissionsmessungen unter anderem für ein Gebiet bzw. einen Ballungsraum repräsentativ sein und in Bereichen liegen, in denen die höchsten Konzentrationen auftreten, denen die Bevölkerung über einen definierten Zeitraum ausgesetzt ist, der der Mittelungszeit des betreffenden Immissionsgrenzwerts Rechnung trägt. Außerdem sollen Immissionsmessungen auch an Standorten durchgeführt werden, die für die Exposition der Bevölkerung allgemein repräsentativ sind.

2.2 Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB)

Das LfU betreibt aufgrund Art. 2 des Bayerischen Immissionsschutzgesetzes [8] das vollautomatische Lufthygienische Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB) [9, 10] mit 55 LÜB-Messstationen im Jahr 2021 (Abb. 1). Die Messstationen sind systematisch über das ganze Land verteilt, so dass eine landesweite Überwachung der lufthygienischen Situation gewährleistet ist.

Konzept zur Errichtung von Luftmessstationen

Das Konzept zur Errichtung von Luftmessstationen gibt die 39. BImSchV [3] vor. Grundlagen für Lage und Anzahl der Messstationen sind vorwiegend die Bevölkerungsanzahl sowie die Höhe der Schadstoffbelastung in den festgelegten Gebieten und Ballungsräumen. In Bayern sind dies München, Augsburg und Nürnberg/Fürth/Erlangen als Ballungsräume und die sieben Regierungsbezirke (jeweils ohne Ballungsraum) als Gebiete. Die Kontrolle der Luftqualität erfolgt für jede dieser voneinander abgegrenzten Flächen separat. Hierfür sind innerhalb eines jeden Gebiets und Ballungsraums verschiedene Belastungsniveaus zu erfassen. Dies sind Bereiche mit der höchsten Belastung (an verkehrsbelasteten Straßen) als auch Bereiche mit einer durchschnittlichen Belastung der Bevölkerung in Siedlungsbereichen (städtischer und vorstädtischer Hintergrund) sowie – bis auf Ballungsräume – ländliche Bereiche. Die vorgegebene Messhöhe liegt im Bereich von 1,5 m (Atemzone) bis 4 Meter. Die Anzahl ortsfester Messstationen ist nach oben durch den damit verbundenen hohen Aufwand (Personal und Kosten) begrenzt, so dass nur die erforderliche Mindestanzahl an Messstationen für eine richtlinienkonforme Erfassung der Luftqualität vorgehalten werden kann. Dafür ist mit diesen kontinuierlichen ortsfesten Messungen eine sehr gute und damit verlässliche Datenqualität gegeben. Durch das Konzept zur Errichtung der Messstationen stehen die Daten einer Messstation stellvertretend für Bereiche innerhalb desselben Gebiets bzw. Ballungsraums mit gleicher Belastungskategorie (verkehrsnahe, städtisch, vorstädtisch und ländlich), so dass auch Aussagen über große Flächen möglich sind. Ergänzend durch Sondermessungen und Ausbreitungsrechnungen lassen sich darüber hinaus Aussagen zu den Immissionen an Stellen Bayerns ableiten, die aufgrund der ortsfesten Messungen hinsichtlich der Einhaltung von Grenzwerten nicht mit ausreichender Sicherheit beurteilt werden können. Insgesamt kann so die Schadstoffbelastung EU-konform und repräsentativ für das gesamte Gebiet des Freistaats Bayern ermittelt werden. Damit entspricht das Lufthygienische Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB) mit derzeit 55 Messstationen den gesetzlichen Anforderungen.

Die Messgerätebestückung orientiert sich an der jeweiligen Standortcharakteristik. Das Spektrum der gemessenen Komponenten umfasst die Schadstoffe Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}), Ozon und Kohlenmonoxid; des Weiteren Benzol, Toluol und Xylol (BTX) sowie Arsen, Blei, Cadmium, Nickel und Benzo[a]pyren im Feinstaub PM₁₀. Für die zu Grunde liegenden Messverfahren ist das LfU bei der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiert.

Neben den Luftschadstoffmessungen werden unterstützend und vorwiegend für die Bewertung und Qualitätssicherung der gemessenen Luftschadstoffe meteorologische Einflussgrößen erfasst. Diese sind Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Luftdruck und Globalstrahlung. Informationen zum Standort der LÜB-Messstationen sowie deren Klassifizierungen im Messkonzept [8] sind in Tab. 1 aufgeführt. Die Tab. 2 enthält Informationen zum Umfang der je Messstation erfassten Luftschadstoffe und meteorologischen Parameter. In Tab. 3 sind die eingesetzten Messverfahren und Messgeräte aufgelistet.



Abb. 1: Karte mit den Messstationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB)

Tab. 1: Übersicht der bayerischen Luftmessstationen (Sortierung nach Gebiet, Stationstyp und Stationsname)

BA/Gebiet	Messstation	Stationscode	Stationstyp	Höhe ü. NN (m)	Messbeginn	UTM 32 E	UTM 32 N
BA M	München / Landshuter Allee	L14.4	ST VK	521	2004	688.658	5.336.036
BA M	München / Stachus	L8.1	ST VK	521	1978	690.817	5.334.737
BA M	München / Lothstraße	L8.3	ST HG	521	1991	689.990	5.336.632
BA M	München / Allach	L8.13	STV HG	510	2014	683.185	5.339.432
BA M	München / Johanneskirchen	L8.12	STV HG	513	1993	696.862	5.338.941
OB	Ingolstadt / Rechbergstraße	L1.1	ST VK	374	1975	678.457	5.404.672
OB	Oberaudorf / Inntal-Autobahn	L14.8	LA-ST VK	469	2008	739.434	5.282.155
OB	Bad Reichenhall / Kirchholzstraße	L1.12	ST HG	463	2018	791.738	5.294.009
OB	Burghausen / Marktler Straße	L1.2	STV HG	420	1976	784.647	5.343.086
OB	Trostberg / Schwimmbadstraße	L1.14	STV HG	488	1992	763.803	5.324.766
OB	Vohburg a.d.Donau / Alter Wöhrer Weg	L1.8	STV HG	355	1978	693.868	5.404.931
OB	Garmisch-Partenkirchen / Wasserwerk	L1.18	LA-ST HG	732	2016	655.001	5.260.232
OB	Andechs / Rothenfeld	L1.16	LA-R HG	700	2003	665.711	5.315.212
OB	Mehring / Sportplatz	L1.15	LA-R HG	415	1977	781.054	5.343.538
NB	Kelheim / Regensburger Straße	L2.1	ST VK	348	1975	710.964	5.421.394
NB	Landshut / Podewilsstraße	L2.3	ST VK	390	1976	733.021	5.381.113
NB	Passau / Angerstraße	L2.13	ST VK	302	2021	829.620	5.390.043
NB	Passau / Stelzhamerstraße	L2.12	ST HG	300	2005	826.151	5.389.506
NB	Regen / Bodenmaier Straße	L2.11	STV HG	545	1989	802.131	5.432.606
NB	Saal a.d.Donau / Regensburger Straße	L2.9	STV HG	340	1978	716.083	5.421.001
NB	Neustadt a.d.Donau / Eining	L2.6	LA-R HG	359	1977	703.762	5.414.859
OP	Regensburg / Rathaus	L3.1	ST VK	337	1975	726.771	5.433.786
OP	Weiden i.d.OPf. / Nikolaistraße	L3.3	ST HG	400	1980	727.908	5.507.728
OP	Schwandorf / Wackersdorfer Straße	L3.4	STV HG	380	1980	727.305	5.467.955
OP	Sulzbach-Rosenberg / Lohe	L3.8	STV HG	393	1999	701.789	5.485.436
OP	Tiefenbach / Altenschneeberg	L3.6	LA-R HG	755	1983	757.262	5.482.256
OF	Bayreuth / Hohenzollernring	L14.2	ST VK	337	2003	684.395	5.535.530
OF	Coburg / Lossaustraße	L4.7	ST VK	291	1987	639.653	5.569.440
OF	Bamberg / Löwenbrücke	L4.3	ST HG	231	1978	635.566	5.529.035
OF	Kulmbach / Konrad-Adenauer-Straße	L4.8	ST HG	303	1988	674.670	5.552.955
OF	Arzberg / Egerstraße	L4.5	STV HG	482	1980	728.225	5.549.972
OF	Hof / LfU	L4.1	STV HG	525	2011	706.254	5.578.294
OF	Naila / Selbitzer Berg	L4.6	LA-ST HG	534	1986	693.725	5.578.114

Abkürzungen:

BA: Ballungsraum, LfU: Landesamt für Umwelt

UTM32: Koordinatensystem ETRS89 / UTM Zone 32, Ostwert (E) und Nordwert (N)

Stationstyp/-klassifizierung:

LA-R: ländlich regional, LA-ST: ländlich stadtnah, ST: städtisch, STV: vorstädtisch, HG: Hintergrund, VK: Verkehr

BA/Gebiet:

BA M: Ballungsraum München

OB: Regierungsbezirk Oberbayern

NB: Regierungsbezirk Niederbayern

OP: Regierungsbezirk Oberpfalz

OF: Regierungsbezirk Oberfranken

Tab. 1 (Forts.): Übersicht der bayerischen Luftmessstationen (Sortierung nach Gebiet, Stationstyp und Stationsname)

BA/Gebiet	Messstation	Stationscode	Stationstyp	Höhe ü. NN (m)	Messbeginn	UTM 32 E	UTM 32 N
BA N/F/E	Fürth / Theresienstraße	L5.5	ST VK	293	1975	643.785	5.481.844
BA N/F/E	Nürnberg / Bahnhof	L5.1	ST VK	307	1975	651.380	5.479.124
BA N/F/E	Nürnberg / Von-der-Tann-Straße	L14.7	ST VK	308	2006	647.602	5.478.416
BA N/F/E	Nürnberg / Muggenhof	L5.10	ST HG	300	1978	646.725	5.480.860
BA N/F/E	Erlangen / Kraepelinstraße	L5.14	STV HG	284	2004	641.863	5.496.667
MF	Ansbach / Residenzstraße	L5.12	ST VK	400	1989	614.296	5.462.539
MF	Schwabach / Angerstraße	L5.16	ST HG	344	2012	647.362	5.465.312
MF	Burgbernheim / Grüne Au	L5.15	LA-R HG	362	2012	596.045	5.477.665
UF	Würzburg / Stadtring Süd	L14.5	ST VK	198	2005	568.209	5.515.772
UF	Schweinfurt / Obertor	L6.3	ST HG	231	1976	588.209	5.544.739
UF	Aschaffenburg / Bussardweg	L6.6	STV HG	134	1978	508.456	5.537.695
UF	Kleinwallstadt / Hofstetter Straße	L6.7	STV HG	124	1978	512.327	5.524.126
UF	Würzburg / Kopfklinik	L6.5	STV HG	226	1975	568.821	5.517.355
BA A	Augsburg / Karlstraße	L14.1	ST VK	485	2003	640.436	5.359.192
BA A	Augsburg / Königsplatz	L7.1	ST VK	492	1975	640.359	5.358.559
BA A	Augsburg / Bourges-Platz	L7.6	ST HG	477	1986	639.833	5.359.879
BA A	Augsburg / LfU	L7.8	STV HG	495	2000	641.059	5.354.286
S	Lindau (Bodensee) / Friedrichshafener Str.	L7.4	ST VK	403	1978	551.824	5.267.347
S	Neu-Ulm / Gabelsbergerstraße	L7.5	ST HG	470	1978	574.635	5.360.927
S	Kempten (Allgäu) / Westendstraße	L7.3	STV HG	678	1976	597.979	5.286.578
S	Oettingen / Goethestraße	L7.10	STV HG	417	2012	616.971	5.423.370
S	Bad Hindelang / Oberjoch	L7.9	LA-R HG	1169	2010	605.721	5.263.687

Abkürzungen:

BA: Ballungsraum, LfU: Landesamt für Umwelt

UTM32: Koordinatensystem ETRS89 / UTM Zone 32, Ostwert (E) und Nordwert (N)

Stationstyp/-klassifizierung:

LA-R: ländlich regional, ST: städtisch, STV: vorstädtisch, HG: Hintergrund, VK: Verkehr

BA/Gebiet:

BA N/F/E: Ballungsraum Nürnberg/Fürth/Erlangen

BA A: Ballungsraum Augsburg

MF: Regierungsbezirk Mittelfranken

UF: Regierungsbezirk Unterfranken

S: Regierungsbezirk Schwaben

Tab. 2: Bestückungsliste der Luftmessstationen

BA/Gebiet	Messstation	Stationstyp	Feinstaub (PM ₁₀)	Feinstaub (PM _{2.5})	NOx (NO und NO ₂)	O ₃	CO	BTX	Staubniederschlag	Wind	Lufttemperatur	Luftfeuchte	Strahlung	Luftdruck
BA M	München / Landshuter Allee	ST VK	X	X	X		X	P	B		M	M		
BA M	München / Stachus	ST VK	X	X	X	X	X		B		M	M		
BA M	München / Lothstraße	ST HG	X	X	X	X				üD	M	M		M
BA M	München / Allach	STV HG			X	X								
BA M	München / Johanneskirchen	STV HG	X	X	X	X			B					
OB	Ingolstadt / Rechbergstraße	ST VK	X	X	X		X			üD	M	M	M	M
OB	Oberaudorf / Intal-Autobahn	LA-ST VK	X	X	X									
OB	Bad Reichenhall / Kirchholzstraße	ST HG			X	X				S	M	M		M
OB	Burghausen / Marktlr Straße	STV HG	X	X	X	X			B		M	M		
OB	Trostberg / Schwimmbadstraße	STV HG	X	X	X	X								
OB	Vohburg a.d.Donau / Alter Wöhrer Weg	STV HG				X								
OB	Garmisch-Partenkirchen / Wasserwerk	LA-ST HG			X	X								
OB	Andechs / Rothenfeld	LA-R HG	X	X	X	X		P	B	S	M	M	M	M
OB	Mehring / Sportplatz	LA-R HG		X	X	X				S	M	M		
NB	Kelheim / Regensburger Straße	ST VK	X	X	X		X		B	S	M	M	M	M
NB	Landshut / Podewilsstraße	ST VK	X		X				B	üD	M	M		M
NB	Passau / Angerstraße	ST VK	X		X		X							
NB	Passau / Stelzhamerstraße	ST HG	X	X	X						M	M	M	
NB	Regen / Bodenmaier Straße	STV HG				X					M	M		M
NB	Saal a.d.Donau / Regensburger Str.	STV HG			X	X			B					
NB	Neustadt a.d.Donau / Eining	LA-R HG		X	X	X				S	M	M	M	M
OP	Regensburg / Rathaus	ST VK	X		X		X		B	üD	M	M	M	M
OP	Weiden i.d.OPf. / Nikolaistraße	ST HG		X	X	X				üD	M	M		M
OP	Schwandorf / Wackersdorfer Straße	STV HG		X	X	X			B	1	M	M		
OP	Sulzbach-Rosenberg / Lohe	STV HG	X			X								
OP	Tiefenbach / Altenschneeberg	LA-R HG	X	X	X	X			B	S	M	M	M	
OF	Bayreuth / Hohenzollernring	ST VK	X		X				B					
OF	Coburg / Lossaustraße	ST VK		X			X							
OF	Bamberg / Löwenbrücke	ST HG	X	X	X					S	M	M		
OF	Kulmbach / Konrad-Adenauer-Straße	ST HG	X		X					S	M	M	M	M
OF	Arzberg / Egerstraße	STV HG		X		X					M	M		
OF	Hof / LfU	STV HG			X	X			B		M	M		
OF	Naila / Selbitzer Berg	LA-ST HG				X			B	S	M	M	M	M

Abkürzungen:

BA: Ballungsraum, LfU: Landesamt für Umwelt;

Stationstyp/-klassifizierung:

LA-R: ländlich regional, LA-ST: ländlich stadtnah, ST: städtisch, STV: vorstädtisch, HG: Hintergrund, VK: Verkehr

BA/Gebiet:

BA M: Ballungsraum München, OB: Regierungsbezirk Oberbayern, NB: Regierungsbezirk Niederbayern,

OP: Regierungsbezirk Oberpfalz, OF: Regierungsbezirk Oberfranken

Bestückung Luftschadstoffe:

X: kontinuierliche Messung, P: Messung mit Passivsammlern, B: Depositionsmessung (Bergerhoff-Verfahren [10])

Bestückung Meteorologie: siehe Folgeseite

Tab. 2 (Forts.): Bestückungsliste der Luftmessstationen

BA/Gebiet	Messstation	Stationstyp	Feinstaub (PM ₁₀)	Feinstaub (PM _{2,5})	NOx (NO und NO ₂)	O ₃	CO	BTX	Staubniederschlag	Wind	Lufttemperatur	Luftfeuchte	Strahlung	Luftdruck
BA N/F/E	Fürth / Theresienstraße	ST VK	X											
BA N/F/E	Nürnberg / Bahnhof	ST VK		X	X				B	2	M	M		
BA N/F/E	Nürnberg / Von-der-Tann-Straße	ST VK	X		X		X	P						
BA N/F/E	Nürnberg / Muggenhof	ST HG		X	X	X								
BA N/F/E	Erlangen / Kraepelinstraße	STV HG			X	X								
MF	Ansbach / Residenzstraße	ST VK	X	X	X		X				M	M		
MF	Schwabach / Angerstraße	ST HG	X		X	X					M	M	M	M
MF	Burgbernheim / Grüne Au	LA-R HG		X	X	X								
UF	Würzburg / Stadtring Süd	ST VK	X		X		X				M	M		
UF	Schweinfurt / Obertor	ST HG	X		X	X			B	3	M	M		
UF	Aschaffenburg / Bussardweg	STV HG		X	X	X				üD	M	M	M	M
UF	Kleinwallstadt / Hofstetter Straße	STV HG		X	X	X								
UF	Würzburg / Kopfklinik	STV HG	X	X		X			B	üD	M	M	M	M
BA A	Augsburg / Karlstraße	ST VK	X		X		X				M	M		
BA A	Augsburg / Königsplatz	ST VK	X		X		X	K	B					
BA A	Augsburg / Bourges-Platz	ST HG	X	X	X	X								
BA A	Augsburg / LfU	STV HG	X	X	X	X	X	P	B	üD	M	M	M	M
S	Lindau (Bodensee) / Friedrichshafener Str.	ST VK	X	X	X		X		B	S	M	M		
S	Neu-Ulm / Gabelsbergerstraße	ST HG	X	X	X	X				üD				
S	Kempten (Allgäu) / Westendstraße	STV HG		X	X	X				üD	M	M		
S	Oettingen / Goethestraße	STV HG		X	X	X								
S	Bad Hindelang / Oberjoch	LA-R HG	X		X	X				S	M	M		M

Abkürzungen:

BA: Ballungsraum, LfU: Landesamt für Umwelt;

Stationstyp/-klassifizierung:

LA-R: ländlich regional, ST: städtisch, STV: vorstädtisch, HG: Hintergrund, VK: Verkehr

BA/Gebiet:

BA N/F/E: Ballungsraum Nürnberg/Fürth/Erlangen, BA A: Ballungsraum Augsburg, MF: Regierungsbezirk Mittelfranken, UF: Regierungsbezirk Unterfranken, S: Regierungsbezirk Schwaben

Bestückung Luftschadstoffe:

X: kontinuierliche Messung; P: Messung mit Passivsammlern, K: neben Passivsammlermessung auch kontinuierlich; B: Depositionsmessung (Bergerhoff-Verfahren [10])

Bestückung Meteorologie:

M: meteorologische Messung außer Wind

üD: Messung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung mit Windmast auf Gebäudedach

S: Messung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung mit Windmast an Messstation

1: Windmessung erfolgt nahe des früheren Stationsstandorts (UTM32: 725.911 / 5.468.450) auf Gebäudedach

2: Windmessung erfolgt nahe des Standorts der ehemaligen LÜB-Messstation Nürnberg/Ziegelsteinstraße

3: Windmessung erfolgt nahe des Standorts der ehemaligen LÜB-Messstation Aschaffenburg/Schweinheimer Straße
(für weitere Informationen zu den Windmessungen siehe [11])

Tab. 3: Eingesetzte Messverfahren und -geräte im Luftmessnetz

Messkomponente	Messprinzip	Messbereich	NWG	Hersteller	Typ
Kohlenmonoxid	IR-Absorption	0 ... 58 mg/m ³	0,1 mg/m ³	HORIBA	APMA-360
Stickstoffmonoxid	Chemilumineszenz	0 ... 1200 µg/m ³	0,7 µg/m ³	HORIBA	APNA-370
Stickstoffdioxid	Chemilumineszenz	0 ... 500 µg/m ³	1 µg/m ³	HORIBA	APNA-370
Ozon	UV-Absorption	0 ... 500 µg/m ³	1 µg/m ³	HORIBA	APOA-370
BTX	Thermodesorption mit Kapillar-GC	0 ... 100 µg/m ³ ¹⁾	0,1 µg/m ³	Siemens	U 102 BTX
Feinstaub PM ₁₀ /PM _{2,5}	Gravimetrie: Low Volume Sampler	0 ... 200 µg/m ³	1 µg/m ³	Leckel	SEQ47/50
Feinstaub PM ₁₀	β-Absorption	0 ... 1000 µg/m ³	0,02 µg/m ³	ESM-Andersen	FH 62 I-R
Feinstaub PM ₁₀ /PM _{2,5}	β-Absorption kombiniert mit Nephelometer	0 ... 1000 µg/m ³	0,5 µg/m ³	Thermo Scientific	Sharp Modell 5030
Windrichtung	Ultraschall ²⁾	0 ... 360 Grad		Thies	4.3820.33.000
Windrichtung	Windfahne	0 ... 360 Grad		Thies	4.3324.21.000
Windgeschwindigkeit	Ultraschall ²⁾	0 ... 85 m/s		Thies	4.3820.33.000
Windgeschwindigkeit	Schalenkreuz	0,5 ... 35 m/s		Thies	4.3324.21.000
Lufttemperatur	Platinwiderstand	-30 ... +50 °C		Thies	1.1005.51.015
Relative Luftfeuchte	Haarhygrometer	10 ... 100 %		Thies	1.1005.51.015
Luftdruck	Dosenbarometer	950 ... 1050 hPa		Thies	3.1150.10.015
Globalstrahlung	Thermospannung	0 ... 2000 W/m ²		Kipp & Zonen	UM 5

Abkürzungen und Erläuterungen:

NWG: Nachweisgrenze

BTX: Benzol, Toluol und o-Xylol

GC: Gaschromatographie

¹⁾ Messbereich bei Toluol bis 300 µg/m³²⁾ Mitte des Jahres 2019 wurde schrittweise mit der Umrüstung auf 2D-Ultraschallanemometer begonnen. Bis zum Frühjahr 2022 wurde die Maßnahme abgeschlossen.

Die Bestimmung von Blei, Arsen, Cadmium und Nickel als Bestandteil in der PM₁₀-Fraktion erfolgt gemäß DIN EN 14902 [12, 13] mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) nach Mikrowellendruckaufschluss mit einem oxidierenden Säuregemisch. Benzo[a]pyren im Feinstaub PM₁₀ wird gemäß DIN EN 15549 [14] bestimmt.

2.3 Veröffentlichung der Immissionsdaten

Die bei der kontinuierlichen lufthygienischen Überwachung ermittelten Messdaten werden nach Auswertung gemäß den Vorgaben der 39. BImSchV [3] in lufthygienischen Jahres- und Jahreskurzberichten veröffentlicht. Darüber hinaus sind von sämtlichen LÜB-Messstationen die wesentlichen Daten im Internet [9] zugänglich.

Die aktuellen Messergebnisse [15] werden stündlich aktualisiert. Der angezeigte Mittelungszeitraum der Messergebnisse (abhängig vom Luftschadstoff von Stundenmittelwerten bis hin zu Tagesmittelwerten) orientiert sich an den kurzzeitigen Mittelungszeiträumen beurteilungsrelevanter Kenngrößen. Für Feinstaub PM_{2,5} werden keine tagesaktuellen Messergebnisse veröffentlicht, da die 39. BImSchV [3]

nur den Jahresmittelwert als Bewertungsmaßstab kennt. Nähere Informationen zur Veröffentlichung der Immissionsdaten gibt das LfU-Informationsblatt zur Messwertbekanntgabe [16].

Die kontinuierlichen erfassten Messergebnisse werden zudem dem Umweltbundesamt stündlich bereitgestellt, das eine eigene Plattform zur Veröffentlichung der Messergebnisse aller Bundesländer betreibt und die aktuellen Werte zudem an die Europäische Umweltagentur (EUA bzw. EEA (European Environment Agency)) übermittelt.

Zusammenfassend heißt das, dass die aktuellen Messwerte primär vom Bayerischen Landesamt für Umwelt, darüber hinaus auch vom Umweltbundesamt und der Europäischen Umweltagentur veröffentlicht werden. Art und Weise der Veröffentlichung verantwortet jede Institution selbstständig.

2.4 Immissions-, Grenz-, Richt-, Leit-, Schwellen- und Zielwerte für Luftverunreinigungen

Die Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV) [3] legt Luftqualitätswerte in Form von Grenzwerten für Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$), Stickstoffoxide, Stickstoffdioxid, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, Blei und Benzol und zum Teil Alarmschwellen fest. Der Grenzwert für Feinstaub $PM_{2,5}$ ist seit dem Jahr 2015 einzuhalten. Darüber hinaus sind in der 39. BImSchV [3] Zielwerte für Arsen, Cadmium, Nickel und Benzo[a]pyren als Gesamtgehalt in der PM_{10} -Fraktion angegeben, die seit 01.01.2013 nach Möglichkeit einzuhalten sind. Für Ozon sind Zielwerte sowie Informations- und Alarmschwellen festgelegt. Die Zielwerte sind soweit wie möglich seit 2010 einzuhalten. Die Tab. 4 zeigt eine Übersicht der in der 39. BImSchV [3] enthaltenen Grenz- und Zielwerte und Alarmschwellen sowie den Zeitpunkt, ab dem diese Werte einzuhalten sind. Die hier aufgeführten Werte bilden die Grundlage für die Luftqualitätsbeurteilung in der Europäischen Union.

Weitere Immissionswerte sowohl für gasförmige Schadstoffe als auch für Staubbiederschlag inklusive verschiedener Inhaltsstoffe im Staubbiederschlag enthält die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [17]. Diese Werte sind im Rahmen von immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren von Bedeutung.

Darüber hinaus gibt die Richtlinienreihe VDI 2310 [18, 19] maximale Immissions-Konzentrationen (MIK) zum Schutz des Menschen vor verschiedenen Schadstoffkomponenten über verschiedene Einwirkungszeiträume (in der Regel 0,5 bzw. 24 Stunden) an. Weitere Leitwerte finden sich in der im Jahr 2021 aktualisierten Luftgüteleitlinie für Europa der Weltgesundheitsorganisation (WHO) [20, S. 73f].

Eine Zusammenstellung der einzelnen Immissions-, Grenz-, Richt-, Leit-, Schwellen- und Zielwerte für die im vorliegenden Bericht aufgeführten Schadstoffkomponenten geben die Tab. 4 bis Tab. 15 auf den Folgeseiten an.

Tab. 4: Grenzwerte (GW), Informationsschwelle, Alarmschwellen, Zielwerte (ZW) und kritische Werte (KW) der 39. BImSchV [3]

Komponente	Art des Werts	Mittelungszeit- raum	Wert	Einheit	Zul. ÜS pro Jahr	Einzuhalten ab
Schwefeldioxid (SO ₂)	GW z. Sch. d. m. G.	1 Stunde	350	µg/m ³	24	01. Jan 2005
Schwefeldioxid (SO ₂)	GW z. Sch. d. m. G.	24 Stunden	125	µg/m ³	3	01. Jan 2005
Schwefeldioxid (SO ₂)	KW z. Sch. d. V.	Kalenderjahr und Winter ¹⁾	20	µg/m ³	—	18. Sep 2002
Schwefeldioxid (SO ₂)	Alarmschwelle	1 Stunde ²⁾	500	µg/m ³	—	18. Sep 2002
Stickstoffdioxid (NO ₂)	GW z. Sch. d. m. G.	1 Stunde	200	µg/m ³	18	01. Jan 2010
Stickstoffdioxid (NO ₂)	GW z. Sch. d. m. G.	Kalenderjahr	40	µg/m ³	—	01. Jan 2010
Stickstoffdioxid (NO ₂)	Alarmschwelle	1 Stunde ²⁾	400	µg/m ³	—	18. Sep 2002
Stickstoffoxide (NO _x)	KW z. Sch. d. V.	Kalenderjahr	30	µg/m ³	—	18. Sep 2002
Feinstaub PM ₁₀	GW z. Sch. d. m. G.	24 Stunden	50	µg/m ³	35	01. Jan 2005
Feinstaub PM ₁₀	GW z. Sch. d. m. G.	Kalenderjahr	40	µg/m ³	—	01. Jan 2005
Feinstaub PM _{2,5}	GW z. Sch. d. m. G.	Kalenderjahr	25	µg/m ³	—	01. Jan 2015
Benzol	GW z. Sch. d. m. G.	Kalenderjahr	5	µg/m ³	—	01. Jan 2010
Kohlenmonoxid (CO)	GW z. Sch. d. m. G.	8 Stunden ³⁾	10	mg/m ³	—	01. Jan 2005
Blei (Pb)	GW z. Sch. d. m. G.	Kalenderjahr	0,5	µg/m ³	—	01. Jan 2005
Arsen (As)	ZW z. Sch. d. m. G. u. U.	Kalenderjahr	6	ng/m ³	—	01. Jan 2013
Cadmium (Cd)	ZW z. Sch. d. m. G. u. U.	Kalenderjahr	5	ng/m ³	—	01. Jan 2013
Nickel (Ni)	ZW z. Sch. d. m. G. u. U.	Kalenderjahr	20	ng/m ³	—	01. Jan 2013
Benzo[a]pyren (B[a]P)	ZW z. Sch. d. m. G. u. U.	Kalenderjahr	1	ng/m ³	—	01. Jan 2013
Ozon (O ₃)	ZW z. Sch. d. m. G.	8 Stunden ³⁾	120	µg/m ³	25 ⁴⁾	01. Jan 2010
Ozon (O ₃)	ZW z. Sch. d. V.	AOT40 ^{5) 6)}	18.000	µg/m ³ × h	—	01. Jan 2010
Ozon (O ₃)	Lf. ZW z. Sch. d. m. G.	8 Stunden ³⁾	120	µg/m ³	—	nicht festgelegt
Ozon (O ₃)	Lf. ZW z. Sch. d. V.	AOT40 ⁵⁾	6.000	µg/m ³ × h	—	nicht festgelegt
Ozon (O ₃)	Informationsschwelle	1 Stunde	180	µg/m ³	—	21. Jul 2004
Ozon (O ₃)	Alarmschwelle	1 Stunde	240	µg/m ³	—	21. Jul 2004

Abkürzungen und Erläuterung:

Zul. ÜS: zulässige Überschreitungen (des angegebenen Werts pro Kalenderjahr)

z. Sch. d: zum Schutz der

- m. G.: menschliche(n) Gesundheit
- u. U.: und Umwelt insgesamt
- V.: Vegetation

Lf.: langfristig(er)

¹⁾ Winterzeitraum: 01.10. – 31.03.²⁾ gemessen an drei aufeinander folgenden Stunden³⁾ höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages⁴⁾ pro Tag und gemittelt über drei Jahre⁵⁾ „Accumulation over a Threshold of 40 ppb“ (AOT40) wird gebildet aus der Summe von Ozonstundenmittelwerten über 80 µg/m³ abzüglich 80 µg/m³ zwischen 8 Uhr und 20 Uhr MEZ im Zeitraum von Mai bis Juli⁶⁾ gemittelt über fünf Jahre

Tab. 5: Immissions-, Leit-, Schwellen-, Grenzwerte und kritischer Wert für **Schwefeldioxid**

Quelle	Wert	Zeitbezug	Kategorie	Schutzobjekt
39. BImSchV [3]	350 µg/m ³ (24 Überschreitungen zulässig ¹⁾)	1-h-Mittelwert	Grenzwert	Menschliche Gesundheit
39. BImSchV [3]	125 µg/m ³ (3 Überschreitungen zulässig ¹⁾)	24-h-Mittelwert	Grenzwert	Menschliche Gesundheit
39. BImSchV [3]	20 µg/m ^{3 2)}	Kalenderjahr und Winter ³⁾	kritischer Wert	Vegetation
39. BImSchV [3]	500 µg/m ^{3 4)}	1-h-Mittelwert	Alarmschwelle	Menschliche Gesundheit
TA Luft [17]	350 µg/m ³ (24 Überschreitungen zulässig ¹⁾)	1-h-Mittelwert	Immissionswert	Menschliche Gesundheit
TA Luft [17]	125 µg/m ³ (3 Überschreitungen zulässig ¹⁾)	24-h-Mittelwert	Immissionswert	Menschliche Gesundheit
TA Luft [17]	50 µg/m ³	Jahresmittelwert	Immissionswert	Menschliche Gesundheit
TA Luft [17]	20 µg/m ^{3 2)}	Kalenderjahr und Winter ³⁾	Immissionswert	Ökosystem
WHO [20]	40 µg/m ^{3 5)}	24-h-Mittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	500 µg/m ³	10-min-Mittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit

¹⁾ im Kalenderjahr²⁾ für Beurteilungspunkte, die mehr als 20 km von Ballungsräumen oder 5 km von anderen bebauten Gebieten, Industrieanlagen oder Straßen entfernt sind (Nr. 4.6.2.6 Absatz 6 TA Luft [17]), bzw.
für Probenahmestellen, die mehr als 20 km von Ballungsräumen bzw. mehr als 5 km von anderen bebauten Flächen, Industrieanlagen oder Autobahnen oder Hauptstraßen mit einem täglichen Verkehrsaufkommen von mehr als 50.000 Fahrzeugen entfernt gelegen sein sollten (Anlage 3 B.2. 39. BImSchV [3]).³⁾ Winterzeitraum: 01.10. – 31.03.⁴⁾ gemessen an drei aufeinander folgenden Stunden⁵⁾ 99. Perzentil (d.h. 3 – 4 Überschreitungen pro Jahr zulässig)Tab. 6: Immissions-, Richt-, Leit-, Schwellen- und Grenzwerte für **Stickstoffdioxid**

Quelle	Wert	Zeitbezug	Kategorie	Schutzobjekt
39. BImSchV [3]	40 µg/m ³	Kalenderjahr	Grenzwert	Menschliche Gesundheit
39. BImSchV [3]	200 µg/m ³ (18 Überschreitungen zulässig ¹⁾)	1-h-Mittelwert	Grenzwert	Menschliche Gesundheit
39. BImSchV [3]	400 µg/m ^{3 2)}	1-h-Mittelwert	Alarmschwelle	Menschliche Gesundheit
TA Luft [17]	40 µg/m ³	Jahresmittelwert	Immissionswert	Menschliche Gesundheit
TA Luft [17]	200 µg/m ³ (18 Überschreitungen zulässig ¹⁾)	1-h-Mittelwert	Immissionswert	Menschliche Gesundheit
VDI 2310 Blatt 12 [18]	50 µg/m ^{3 3)}	24-h-Mittelwert	Richtwert	Menschliche Gesundheit
VDI 2310 Blatt 12 [18]	100 µg/m ³	0,5-h-Mittelwert	Richtwert	Menschliche Gesundheit
VDI 2310 Blatt 12 [18]	20 µg/m ³	Jahresmittelwert	Richtwert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	10 µg/m ³	Jahresmittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	25 µg/m ^{3 4)}	24-h-Mittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	200 µg/m ³	1-h-Mittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit

¹⁾ im Kalenderjahr²⁾ gemessen an drei aufeinander folgenden Stunden³⁾ für Wohngebiete⁴⁾ 99. Perzentil (d.h. 3 – 4 Überschreitungen pro Jahr zulässig)

Tab. 7: Immissionswert und kritischer Wert für **Stickstoffoxide**

Quelle	Wert	Zeitbezug	Kategorie	Schutzobjekt
39. BImSchV [3]	30 µg/m ³ ¹⁾	Jahresmittelwert	kritischer Wert	Vegetation
TA Luft [17]	30 µg/m ³ ¹⁾	Jahresmittelwert	Immissionswert	Vegetation

¹⁾ für Beurteilungspunkte, die mehr als 20 km von Ballungsräumen oder 5 km von anderen bebauten Gebieten, Industrieanlagen oder Straßen entfernt sind (Nr. 4.6.2.6 Absatz 6 TA Luft [17]), bzw. für Probenahmestellen, die mehr als 20 km von Ballungsräumen bzw. mehr als 5 km von anderen bebauten Flächen, Industrieanlagen oder Autobahnen oder Hauptstraßen mit einem täglichen Verkehrsaufkommen von mehr als 50.000 Fahrzeugen entfernt gelegen sein sollten (Anlage 3 B.2. 39. BImSchV [3]).

Tab. 8: Grenzwert und Leitwerte für **Kohlenmonoxid**

Quelle	Wert	Zeitbezug	Kategorie	Schutzobjekt
39. BImSchV [3]	10 mg/m ³	8-h-Mittelwert ¹⁾	Grenzwert seit 01.01.2005	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	4 mg/m ³	24-h-Mittelwert ²⁾	Leitwert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	10 mg/m ³	8-h-Mittelwert ¹⁾	Leitwert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	35 mg/m ³	1-h-Mittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	100 mg/m ³	0,25-h-Mittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit

¹⁾ höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages

²⁾ 99. Perzentil (d.h. 3 – 4 Überschreitungen pro Jahr zulässig)

Tab. 9: Grenz- und Immissionswert für **Benzol**

Quelle	Wert	Zeitbezug	Kategorie	Schutzobjekt
39. BImSchV [3]	5 µg/m ³	Jahresmittelwert	Grenzwert seit 01.01.2010	Menschliche Gesundheit
TA Luft [17]	5 µg/m ³	Jahresmittelwert	Immissionswert	Menschliche Gesundheit

Tab. 10: Leitwert für **Toluol**

Quelle	Wert	Zeitbezug	Kategorie	Schutzobjekt
WHO 2000 [21]	0,26 mg/m ³	1-Wochen-Mittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit

Tab. 11: Grenz-, Ziel- und Leitwert(e) für **Feinstaub PM_{2,5}**

Quelle	Wert	Zeitbezug	Kategorie	Schutzobjekt
39. BImSchV [3]	25 µg/m ³	Jahresmittelwert	Zielwert bis 31.12.2014	Menschliche Gesundheit
39. BImSchV [3]	25 µg/m ³ ¹⁾	Jahresmittelwert	Grenzwert seit 01.01.2015	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	5 µg/m ³	Jahresmittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	15 µg/m ³ ²⁾	24-h-Mittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit

¹⁾ Toleranzmarge für den Grenzwert 5 µg/m³; sie hat sich seit dem 01.01.2009 jährlich um ein Siebentel vermindert bis auf den Wert 0 zum 01.01.2015

²⁾ 99. Perzentil (d.h. 3 – 4 Überschreitungen pro Jahr zulässig)

Tab. 12: Immissions-, Grenz- und Leitwerte für **Feinstaub PM₁₀**

Quelle	Wert	Zeitbezug	Kategorie	Schutzobjekt
39. BImSchV [3]	50 µg/m ³ (35 Überschreitungen zulässig)	24-h-Mittelwert	Grenzwert	Menschliche Gesundheit
39. BImSchV [3]	40 µg/m ³	Kalenderjahr	Grenzwert	Menschliche Gesundheit
TA Luft [17]	50 µg/m ³ (35 Überschreitungen zulässig)	24-h-Mittelwert	Immissionswert	Menschliche Gesundheit
TA Luft [17]	40 µg/m ³	Jahresmittelwert	Immissionswert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	45 µg/m ³ ¹⁾	24-h-Mittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	15 µg/m ³	Jahresmittelwert	Leitwert	Menschliche Gesundheit

¹⁾ 99. Perzentil (d.h. 3 – 4 Überschreitungen pro Jahr zulässig)

Tab. 13: Ziel-, Richt-, Leit-, und Schwellenwerte für **Ozon**

Quelle	Wert	Zeitbezug	Kategorie	Schutzobjekt
39. BImSchV [3]	120 µg/m ³ (25 Überschreitungen zulässig ¹⁾)	8-h-Mittelwert ²⁾	Zielwert	Menschliche Gesundheit
39. BImSchV [3]	18.000 µg/m ³ × h	AOT40 ^{3) 4)}	Zielwert	Vegetation
39. BImSchV [3]	120 µg/m ³	8-h-Mittelwert ²⁾	langfristiger Zielwert ab 01.01.2020	Menschliche Gesundheit
39. BImSchV [3]	6.000 µg/m ³ × h	AOT40 ³⁾	langfristiger Zielwert ab 01.01.2020	Vegetation
39. BImSchV [3]	180 µg/m ³	1-h-Mittelwert	Informationsschwelle	Menschliche Gesundheit
39. BImSchV [3]	240 µg/m ³	1-h-Mittelwert	Alarmschwelle	Menschliche Gesundheit
VDI 2310 Blatt 15 [19]	120 µg/m ³	½-h-Mittelwert	Richtwert	Menschliche Gesundheit
VDI 2310 Blatt 15 [19]	100 µg/m ³	8-h-Mittelwert ²⁾	Richtwert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	60 µg/m ³	Peak season ⁵⁾	Leitwert	Menschliche Gesundheit
WHO [20]	100 µg/m ³	8-h-Mittelwert ⁶⁾	Leitwert	Menschliche Gesundheit

¹⁾ Tage im Kalenderjahr, gemittelt über drei Jahre

²⁾ höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages

³⁾ „Accumulation over a Threshold of 40 ppb“ (AOT40) wird gebildet aus der Summe von Ozonstundenmittelwerten über 80 µg/m³ abzüglich 80 µg/m³ zwischen 8 Uhr und 20 Uhr MEZ im Zeitraum von Mai bis Juli

⁴⁾ gemittelt über 5 Jahre

⁵⁾ Mittelwert der täglichen maximalen 8h-Mittelwerte über sechs aufeinanderfolgende Monate mit dem höchsten Mittelwert

⁶⁾ 99. Perzentil (d.h. 3 – 4 Überschreitungen pro Jahr zulässig)

Tab. 14: Ziel- und Leitwerte (bezogen auf ein Kalenderjahr) für **Stoffe als Gesamtgehalt in der PM₁₀-Fraktion** nach 39. BImSchV [3]

Stoff	Wert	Einheit	Kategorie	Schutzobjekt
Arsen	6	ng/m ³	Zielwert seit 01.01.2013	Menschliche Gesundheit
Benzo[a]pyren	1	ng/m ³	Zielwert seit 01.01.2013	Menschliche Gesundheit
Blei ¹⁾	0,5	µg/m ³	Grenzwert	Menschliche Gesundheit
Cadmium	5	ng/m ³	Zielwert seit 01.01.2013	Menschliche Gesundheit
Nickel	20	ng/m ³	Zielwert seit 01.01.2013	Menschliche Gesundheit

¹⁾ Zusätzlich zur 39. BImSchV [3] nennt die TA Luft [17] einen Immissionswert von 0,5 µg/m³.

Tab. 15: Immissionswerte (bezogen auf ein Kalenderjahr) für **Staubniederschlag und Inhaltsstoffe** nach TA Luft [17]. Anmerkung: Es sind nur Werte von Inhaltsstoffen aufgeführt, für die auch Analysen erfolgen.

Stoff	Wert	Einheit	Schutzobjekt
Gesamtstaubniederschlag	0,35	g/(m ² × d)	Schutz vor erheblichen Belästigungen und Nachteilen
Arsen	4	µg/(m ² × d)	Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen
Blei	100	µg/(m ² × d)	Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen
Cadmium	2	µg/(m ² × d)	Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen
Nickel ¹⁾	15	µg/(m ² × d)	Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen
Thallium	2	µg/(m ² × d)	Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen

¹⁾ Für Nickel ist zusätzlich in der Richtlinie VDI 3956 Blatt 3 [22] ein Richtwert von 10 µg/(m² × d) zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen angegeben.

2.5 Allgemeine Informationen zur Messwertbekanntgabe und Ergebnisdarstellung

Die Messwertangabe für die gasförmigen und partikelförmigen Luftverunreinigungen erfolgt intern auf der Basis von Halbstundenmittelwerten. Aus diesen werden zur Ermittlung der Immissionskenngrößen Stundenmittelwerte gebildet. Hierfür ist eine Datenverfügbarkeit von mindestens 75 % erforderlich (45 min). Es müssen also beide Halbstundenwerte der vollen Stunde vorliegen. Bei Feinstaub PM₁₀ erfolgte die Messwertangabe vor dem Jahr 2005 auf Basis von Dreistundenmittelwerten.

Sofern Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) gravimetrisch erfasst wird, liegen zur weiteren Aggregation als kleinste zeitlich verfügbare Auflösung Tagesmittelwerte vor.

Die Werte der gasförmigen Komponenten beziehen sich entsprechend den Vorgaben der EU-Richtlinien [5, 6] bzw. der 39. BImSchV [3] auf eine Temperatur von 20 °C und einen Druck von 1013 hPa.

Die Angaben für Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) gelten für Umgebungsbedingungen.

3 Ergebnisse der Immissionsmessungen 2021

Im Folgenden werden die Ergebnisse der kontinuierlichen Immissionsmessungen des Jahres 2021 für die Komponenten Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}), Ozon, Kohlenmonoxid und Benzol sowie für den Gesamtgehalt an Blei, Arsen, Cadmium, Nickel und Benzo[a]pyren in der PM₁₀-Fraktion dargestellt. Für Schwefeldioxid besteht mittlerweile aufgrund des anhaltend sehr geringen Belastungsniveaus nach der 39. BImSchV [3] keine Messverpflichtung mehr. Deshalb wurden ab Beginn des Jahres 2018 die Messungen für Schwefeldioxid an den LÜB-Messstationen eingestellt. Wenn die Emissionen nicht mehr ansteigen, ist davon auszugehen, dass auf der Immissionsseite keine Zunahme erfolgt. Die nach den Kriterien der 39. BImSchV [3] ausgewerteten Messergebnisse sind in tabellarischer Form zusammengestellt. Bei Überschreitungen des jeweils gültigen Grenzwerts sind in Bayern von den Regierungen in Zusammenarbeit mit den Kommunen – bei kreisfreien Gemeinden mit mehr als 100.000 Einwohnern seit 01.06.2021 von der Gemeinde [7] – Luftreinhalte-/Aktionspläne zu erstellen. Auf Grund der Belastungssituation in den vergangenen Jahren wurden entsprechende Pläne für die Ballungsräume Augsburg, München, Nürnberg/Fürth/Erlangen sowie für die Städte Ansbach, Arzberg, Bayreuth, Burghausen, Ingolstadt, Landshut, Lindau, Neu-Ulm, Passau, Regensburg, Schwandorf, Weiden und Würzburg sowie für die Inntal-Autobahn – Bereich Oberaudorf – aufgestellt und wenn notwendig fortgeschrieben.

3.1 Tabellarische Gesamtübersichten

Auf den beiden Folgeseiten wird in einer umfangreichen tabellarischen Gesamtschau (siehe Tab. 17) über die Ergebnisse der Auswertungen für Stickstoffdioxid, Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}), Benzol, Kohlenmonoxid und Ozon informiert. Die Bewertung erfolgt nach den Vorgaben der 39. BImSchV [3] (vergleiche Kurzübersicht in Tab. 16).

In Tab. 18 sind die Jahresmittelwerte für die Stoffe Blei (Pb), Arsen (As), Cadmium (Cd), Nickel (Ni) und Benzo[a]pyren (B[a]P) als Gesamtgehalt in der PM₁₀-Fraktion zusammengestellt.

Tab. 16: Kurzübersicht der Beurteilungskenngrößen mit Bezugszeiträumen, Einheiten und Paragraphen der 39. BImSchV [3] für Stickstoffdioxid (NO₂), Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}), Benzol (BZL), Kohlenmonoxid (CO) und Ozon (O₃) zur Bewertung der Ergebnisse in Tab. 17

Kategorie	NO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM ₁₀	PM _{2,5}	BZL	CO	O ₃	O ₃	O ₃	O ₃
Einheit	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	mg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	[µg/m ³] × h
Schwellenwert	40	200	40	50	25	5	10	120 ¹⁾	180 ²⁾	240 ³⁾	18.000 ⁴⁾
Bezugszeitraum	Jahr	1 h	Jahr	24 h	Jahr	Jahr	8 h _{max}	8 h _{max}	1 h	1 h	AOT40
Zul. ÜS pro Jahr	–	18	–	35	–	–	–	25	–	–	–
39. BImSchV [3]	§ 3	§ 3	§ 4	§ 4	§ 5	§ 7	§ 8	§ 9	§ 9	§ 9	§ 9

Erläuterungen:

Zul. ÜS: zulässige Überschreitungen des jeweiligen Schwellenwerts

Bei den Schwellenwerten handelt es sich für alle Stoffe bis auf Ozon um Grenzwerte.

Für Ozon sind Zielwerte (bei 8 h > 120 µg/m³ und AOT40), eine Informationsschwelle (bei 1 h > 180 µg/m³) und eine Alarmschwelle (bei 1 h > 240 µg/m³) festgelegt.

^{1) 2) 3) 4)} siehe Erläuterungen unterhalb Tab. 17 (Forts.)

Für eine ausführliche Zusammenstellung der Vorgaben der 39. BImSchV [3] siehe Tab. 4 und Tab. 5 bis Tab. 14

Tab. 17: Immissionskenngrößen für das Jahr 2021 sortiert nach BA/Gebiet und Stationstyp – bei Jahresmittelwerten (JMW) Einheit in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bei AOT40 Einheit in $(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{h}$, bei Überschreitungshäufigkeiten (ÜS) Anzahl und bei CO Einheit in mg/m^3

BA/Gebiet	Messstation	Typ	NO ₂ JMW	NO ₂ ÜS	PM ₁₀ JMW	PM ₁₀ ÜS	PM _{2,5} JMW	C ₆ H ₆ JMW	CO 8hmax	O ₃ ÜS 120 ¹⁾	O ₃ ÜS 180 ²⁾	O ₃ ÜS 240 ³⁾	O ₃ AOT40 ⁴⁾
BA M	München / Landshuter Allee	ST VK	51	0	22	8	11	1,1	1,2				
BA M	München / Stachus	ST VK	30	0	18	4	9		0,8				
BA M	München / Lothstraße	ST HG	21	0	13	4	7			23	0	0	
BA M	München / Allach	STV HG	18	0						25	0	0	18835
BA M	München / Johanneskirchen	STV HG	15	0	13	3	7			15	0	0	17568
OB	Ingolstadt / Rechbergstraße	ST VK	18	0	15	2	10		1,0				
OB	Oberaudorf / Inntal-Autobahn	LA-ST VK	20	0	14	1	10						
OB	Bad Reichenhall / Kirchholzstraße	ST HG	10	0						10	0	0	
OB	Burghausen / Marktler Straße	STV HG	18	0	14	2	10			12	0	0	14714
OB	Trostberg / Schwimmbadstraße	STV HG	14	0	14	2	8			17	0	0	17497
OB	Vohburg a.d.Donau / A.W.W.	STV HG								16	0	0	16958
OB	Garmisch-Partenk. / Wasserwerk	LA-ST HG	10	0						10	0	0	12082
OB	Andechs / Rothenfeld	LA-R HG	5	0	11	3	6	0,3		20	0	0	18604
OB	Mehring / Sportplatz	LA-R HG	12	0			8			20	0	0	19661
NB	Kelheim / Regensburger Straße	ST VK	15	0	16	1	10		1,1				
NB	Landshut / Podewilsstraße	ST VK	20	0	14	3							
NB	Passau / Angerstraße	ST VK	29	0	20	8			0,9				
NB	Passau / Stelzhamerstraße	ST HG	23	0	17	1	11						
NB	Regen / Bodenmaier Straße	STV HG								10	0	0	15287
NB	Saal a.d.Donau / Regensburger Str.	STV HG	14	0						8	0	0	13733
NB	Neustadt a.d.Donau / Eining	LA-R HG	9	0			8			21	0	0	19310
OP	Regensburg / Rathaus	ST VK	28	0	17	6			1,0				
OP	Weiden i.d.OPf. / Nikolaistraße	ST HG	20	0			8			8	0	0	
OP	Schwandorf / Wackersdorfer Str.	STV HG	15	0			8			10	0	0	14239
OP	Sulzbach-Rosenberg / Lohe	STV HG			13	1				11	0	0	16524
OP	Tiefenbach / Altenschneeberg	LA-R HG	5	0	9	1	5			14	0	0	17458
OF	Bayreuth / Hohenzollernring	ST VK	21	0	15	2							
OF	Coburg / Lossaustraße	ST VK					11		1,0				
OF	Bamberg / Löwenbrücke	ST HG	17	0	15	3	11						
OF	Kulmbach / Konrad-Adenauer-Str.	ST HG	16	0	13	1							
OF	Arzberg / Egerstraße	STV HG					11			8	0	0	13222
OF	Hof / LfU	STV HG	13	0						14	0	0	14020
OF	Naila / Selbitzer Berg	LA-ST HG								14	0	0	14030

Abkürzungen (Erläuterungen siehe Folgeseite):

BA – Ballungsraum; LfU – Landesamt für Umwelt; BZL – Benzol; A.W.W.: Alter Wöhrer Weg; Fr.h.: Friedrichshafener

BA/Gebiet:

BA M – München; BA N/F/E – Nürnberg/Fürth/Erlangen; BA A – Augsburg; OB – Oberbayern; NB – Niederbayern; OP – Oberpfalz; OF – Oberfranken; MF – Mittelfranken; U – Unterfranken; S – Schwaben

Stationstyp/-klassifizierung:

LA-R – ländlich regional, LA-ST – ländlich stadtnah, ST – städtisch, STV – vorstädtisch, HG – Hintergrund, VK – Verkehr

Tab. 17 (Forts.): Immissionskenngrößen für das Jahr 2021 sortiert nach BA/Gebiet und Stationstyp – bei Jahresmittelwerten (JMW) Einheit $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bei AOT40 Einheit $(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{h}$, bei Überschreitungshäufigkeiten (ÜS) Anzahl und bei CO Einheit mg/m^3 .

BA/Gebiet	Messstation	Typ	NO ₂ JMW	NO ₂ ÜS	PM ₁₀ JMW	PM ₁₀ ÜS	PM _{2,5} JMW	C ₆ H ₆ JMW	CO 8hmax	O ₃ ÜS 120 ¹⁾	O ₃ ÜS 180 ²⁾	O ₃ ÜS 240 ³⁾	O ₃ AOT40 ⁴⁾
BA N/F/E	Fürth / Theresienstraße	ST VK			15	3							
BA N/F/E	Nürnberg / Bahnhof	ST VK	26	0			11						
BA N/F/E	Nürnberg / Von-der-Tann-Straße	ST VK	33	0	21	10		0,9	1,1				
BA N/F/E	Nürnberg / Muggenhof	ST HG	23	0			12			9	0	0	
BA N/F/E	Erlangen / Kraepelinstraße	STV HG	13	0						19	0	0	17554
MF	Ansbach / Residenzstraße	ST VK	22	0	16	6	9		0,9				
MF	Schwabach / Angerstraße	ST HG	17	0	14	2				12	0	0	
MF	Burgbernheim / Grüne Au	LA-R HG	9	0			8			21	0	0	18933
UF	Würzburg / Stadtring Süd	ST VK	26	0	18	6			0,9				
UF	Schweinfurt / Obertor	ST HG	18	0	13	2				8	0	0	
UF	Aschaffenburg / Bussardweg	STV HG	21	0			8			16	0	0	13887
UF	Kleinwallstadt / Hofstetter Straße	STV HG	12	0			8			18	0	0	15914
UF	Würzburg / Kopfklinik	STV HG			14	3	8			13	0	0	13627
BA A	Augsburg / Karlstraße	ST VK	31	0	19	4			1,1				
BA A	Augsburg / Königsplatz	ST VK	22	0	16	3		0,6 ^K	1,0				
BA A	Augsburg / Bourges-Platz	ST HG	20	0	13	3	8			17	0	0	
BA A	Augsburg / LfU	STV HG	14	0	12	4	8	0,6	1,0	24	0	0	18761
S	Lindau (Bodensee) / Fr.h. Str.	ST VK	17	0	14	3	10		0,8				
S	Neu-Ulm / Gabelsbergerstraße	ST HG	21	0	15	3	9			20	0	0	
S	Kempten (Allgäu) / Westendstraße	STV HG	17	0			7			18	0	0	17201
S	Oettingen / Goethestraße	STV HG	12	0			8			19	0	0	17266
S	Bad Hindelang / Oberjoch	LA-R HG	6	0	7	3				10	0	0	14013

Erläuterungen:

- ¹⁾ Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit, Mittelwert aus den Jahren 2019 – 2021 (Mittelung über drei Jahre, Mindestdatenverfügbarkeit ein Jahr)
- ²⁾ Informationsschwelle (angegeben ist die Anzahl an Tagen mit Überschreitungen)
- ³⁾ Alarmschwelle
- ⁴⁾ Zielwert für den Schutz der Vegetation, Mittelwert aus den Jahren 2017 – 2021 (Mittelung über fünf Jahre, Mindestdatenverfügbarkeit drei Jahre)
- ^K Benzol kontinuierlich gemessen mit Gaschromatograph-Flammenionisationsdetektor (GC-FID), ansonsten diskontinuierlich beprobt mit Passivsammler [23]; angegeben ist der Wert der kontinuierlichen Messung

Bedeutung der Einfärbung von Ergebniszellen:

- Grün:** Grenzwert eingehalten, bei Ozon: Zielwert, Informations-/Alarmschwelle eingehalten
- Gelb-orange:** Zielwert, Informations- oder Alarmschwelle überschritten (nur bei Ozon)
- Orange-rot:** Grenzwert überschritten

Tab. 18: Immissionskenngrößen für das Jahr 2021 sortiert nach BA/Gebiet und Stationstyp – Jahresmittelwerte der Inhaltsstoffe Blei (Pb), Arsen (As), Cadmium (Cd), Nickel (Ni) und Benzo[a]pyren (B[a]P) in der PM₁₀-Fraktion. In der Klammer nach dem Stoffkürzel ist für Blei der Grenzwert (Einheit µg/m³) ansonsten der Zielwert (Einheit ng/m³) angegeben.

BA/Gebiet	Messstation	Typ	Pb (0,5)	As (6)	Cd (5)	Ni (20)	B[a]P (1)
BA M	München / Landshuter Allee	ST VK	0,0019	0,39	0,07	2	0,14
BA M	München / Johanneskirchen	STV HG					0,14
OB	Andechs / Rothenfeld	LA-R HG	0,0013	0,18	0,05	< 1	0,05
NB	Landshut / Podewilsstraße	ST VK					0,225
OP	Regensburg / Rathaus	ST VK					0,251
BA N/F/E	Nürnberg / Von-der-Tann-Straße	ST VK	0,0032	0,43	0,12	1	0,244
UF	Würzburg / Stadtring Süd	ST VK	0,0027	0,39	0,09	2	0,248
BA A	Augsburg / Königsplatz	ST VK	0,0021	0,32	0,08	2	0,15
BA A	Augsburg / LfU	STV HG	0,0020	0,26	0,08	< 1	0,15
S	Kempten (Allgäu) / Westendstraße	STV HG					0,233

Abkürzungen und Erläuterung (weitere siehe Tab. 17 unten):

„ < “: Wert liegt unterhalb der angegebenen Bestimmungsgrenze

3.2 Einzelergebnisse nach Luftschadstoff

Nachfolgend werden die Ergebnisse für jeden Luftschadstoff kurz zusammengefasst. Um einen besseren Überblick über die unterschiedliche Belastungssituation der LÜB-Messstationen zu erhalten, werden die Messergebnisse grafisch durch Balkendiagramme veranschaulicht (Abb. 2 bis Abb. 9). Weitergehende Jahreskenngrößen, wie der höchste Tagesmittelwert bei Feinstaub PM₁₀ oder der höchste Stundenmittelwert bei Stickstoffdioxid, die nicht in Tab. 17 aufgeführt sind, sind im Lufthygienischen Jahreskurzbericht 2021 [24] enthalten.

3.2.1 Stickstoffmonoxid

Für Stickstoffmonoxid ist kein Grenzwert festgelegt. Die Jahresmittelwerte bewegen sich in einem großen Bereich von 1 µg/m³ abseits des direkten Verkehrseinflusses im ländlichen Hintergrund bis 54 µg/m³ an der stark verkehrsbelasteten Messstation München/Landshuter Allee.

An den Messstationen der Kategorie verkehrsnah (vergleiche Tab. 1) wurden aufgrund der erforderlichen Positionierung von höchstens 10 m Abstand zum Fahrbahnrand hauptverkehrsbelasteter Straßen die höchsten Stickstoffmonoxidkonzentrationen gemessen (siehe Abb. 2). Neben den sehr hohen Verkehrszahlen führt ein straßenschluchtartiger Charakter, unterstützt durch Ausrichtung quer zu den Hauptwindrichtungen, überwiegend zu einer schlechten Durchmischung mit Frischluft und daher zu den höchsten Konzentrationen im LÜB-Messnetz.

Neben Messstationen im ländlichen Hintergrund mit Konzentrationen nahe Null wurden auch in den weniger verkehrlich belasteten Bereichen der Ballungsräume relativ geringe Konzentrationen gemessen, wie z. B. an den Jahresmittelwerten der LÜB-Messstationen Erlangen/Kraepelinstraße oder Augsburg/LfU mit jeweils 3 µg/m³ abzulesen ist.

Im Vergleich zum Vorjahr ist an 30 von 46 Messstationen der Jahresmittelwert rückläufig (Abnahmen bis zu 6 µg/m³), an zwölf Messstationen unverändert und an vier Messstationen leicht zunehmend (bis 2 µg/m³).

3.2.2 Stickstoffdioxid

Für Stickstoffdioxid liegen zum Schutz der menschlichen Gesundheit zwei Grenzwerte bzw. eine Alarmschwelle mit unterschiedlichem Zeitbezug vor. Der Immissionsgrenzwert für das Jahresmittel beträgt $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Immissionsgrenzwert für das Stundenmittel beträgt $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wobei 18 Überschreitungen im Kalenderjahr zulässig sind. Weiterhin gilt eine Alarmschwelle von $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bezogen auf den Stundenmittelwert an mindestens drei aufeinanderfolgenden Stunden, wobei die Probennamestelle zudem für einen Bereich von mindestens 100 km^2 oder für das gesamte Gebiet bzw. den Ballungsraum repräsentativ sein muss.

Der deutlich abnehmende Trend der vergangenen Jahre setzt sich weiter fort. An 46 von 47 mit NO_2 -Messgeräten bestückten und beurteilungsrelevanten LÜB-Messstationen wird der Jahresmittelgrenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ unterschritten. Trotzdem wird der Jahresmittelwert an der verkehrlich höchstbelasteten LÜB-Messstation München/Landshuter Allee mit einem Wert von $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ weiterhin überschritten (Vorjahr: $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$). An der weiteren verkehrsorientierten LÜB-Messstation in München am Stachus führt der anhaltende rückläufige Trend zu einem Jahresmittelwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Vorjahr: $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Der zweithöchste Jahresmittelwert wurde mit $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Nürnberg gemessen (Messstation in der Von-der-Tann-Straße). Die geringste Konzentration im Jahresmittel trat mit jeweils $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an den ländlichen LÜB-Messstationen Tiefenbach/Altenschneeberg und Andechs/Rothenfeld auf. Der NO_2 -Stundenmittelgrenzwert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird wie im Vorjahr an allen LÜB-Messstationen zu jeder Stunde unterschritten. Gesetzlich zulässig sind bis zu 18 Stundenmittelwerte mit mehr als $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Kalenderjahr.

An der Hälfte der Messstationen im Mittelfeld des Belastungsbereichs (ohne jeweils 25 % der Messstationen mit den höchsten und niedrigsten Konzentrationen) bewegt sich der Jahresmittelwert zwischen $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gemittelt über jeweils alle Messstationen in den Stationskategorien Verkehr (ST VK / LA-ST VK), städtischer (ST HG), vorstädtischer (STV HG) und ländlicher regionaler Hintergrund (LA-R HG) liegen Abnahmen zum Vorjahr vor (vgl. Abb. 11). Erwartungsgemäß tritt die größte Minderung im höchsten Belastungsniveau (verkehrsnahe) auf.

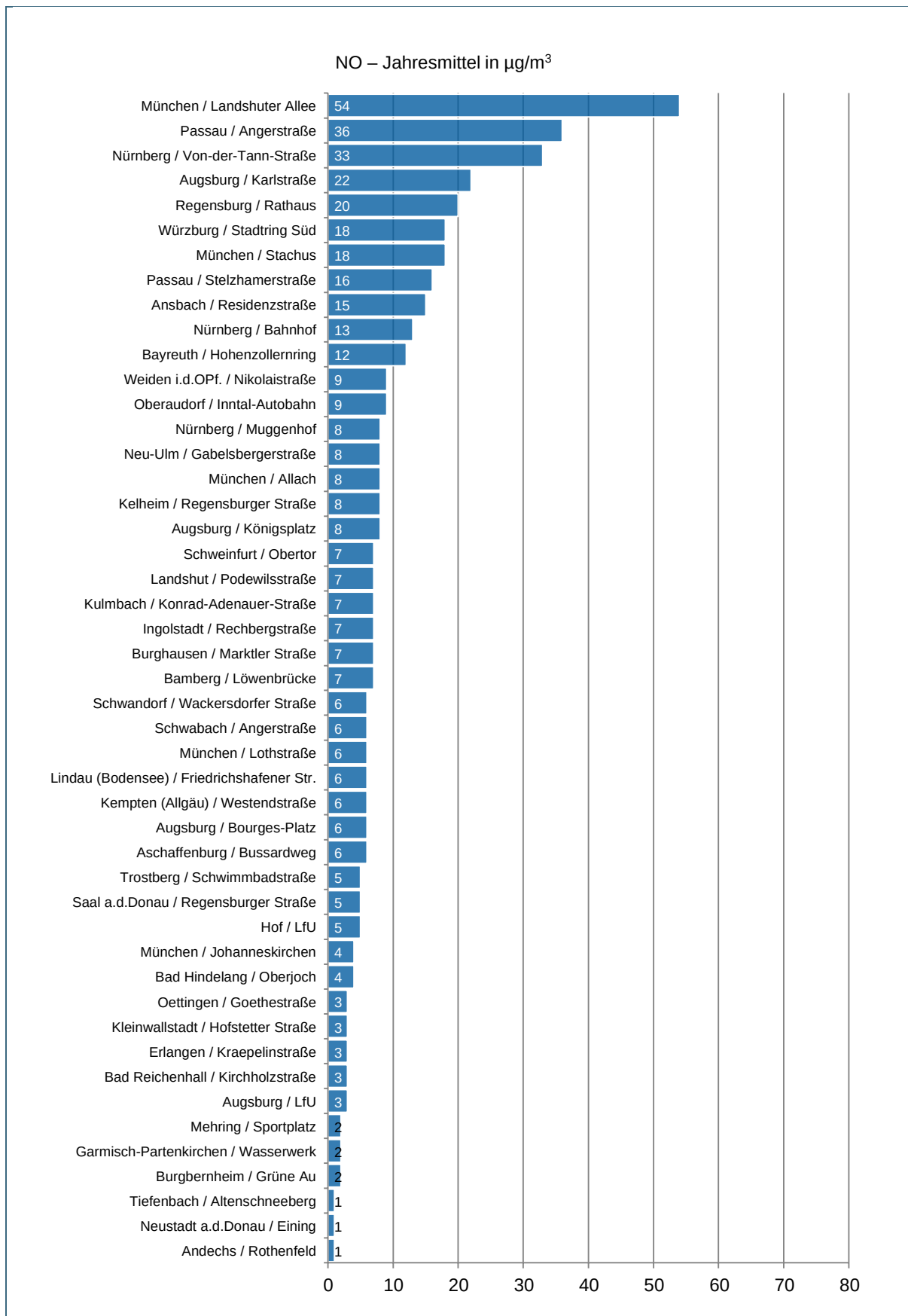


Abb. 2: Stickstoffmonoxid (NO) – Jahresmittelwerte (absteigend sortiert)

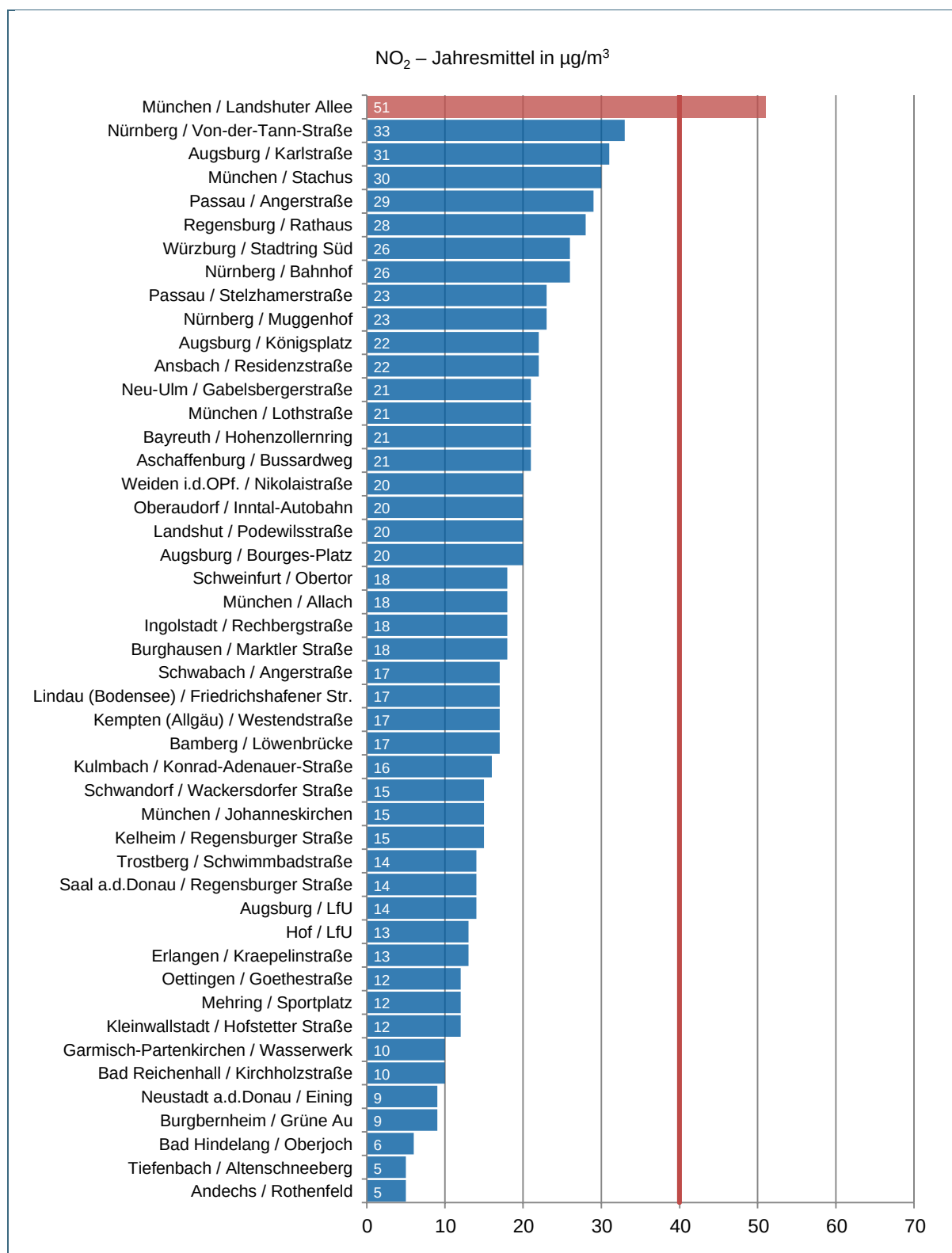


Abb. 3: Stickstoffdioxid (NO₂) – Jahresmittelwerte (absteigend sortiert); die rote Linie markiert den Grenzwert der 39. BImSchV [3] von 40 µg/m³.

3.2.3 Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5})

Für Feinstaub PM₁₀ beträgt der auf das Jahresmittel bezogene Grenzwert 40 µg/m³. Der höchste Jahresmittelwert tritt mit 22 µg/m³ an der verkehrsbelasteten LÜB-Messstation München/Landshuter Allee auf – gefolgt von der Station Nürnberg/Von-der-Tann-Straße mit 21 µg/m³ und der neu eingerichteten verkehrsnahen Messung Passau/ Angerstraße mit 20 µg/m³ (siehe Abb. 4). Damit wird selbst an den höchstbelastetsten LÜB-Messstationen der Jahresmittelgrenzwert deutlich unterschritten. Die Jahresmittelwerte an den restlichen Verkehrsmessstationen reichen von 14 µg/m³ bis 19 µg/m³. Im städtischen Hintergrund liegt die Belastung im Jahresmittel bei 13 µg/m³ bis 17 µg/m³, im vorstädtischen Hintergrund bei 12 µg/m³ bis 14 µg/m³. An den (drei) ländlich geprägten Messstationen wurden 7 µg/m³ bis 11 µg/m³ gemessen.

Neben dem Jahresmittelgrenzwert ist ein Tagesmittelgrenzwert von 50 µg/m³ festgelegt, der an bis zu 35 Tagen im Kalenderjahr überschritten werden darf. Die zulässige Überschreitungshäufigkeit wird im Jahr 2021 an allen Messstationen wie in den vorangegangenen Jahren deutlich unterschritten (siehe Abb. 5). Aufgrund des geringen Belastungsniveaus wurde die Analyse auf Streusalz (siehe § 25 der 39. BImSchV [3]) seit dem Auswertejahr 2020 eingestellt. Mit zehn Tagen wird der Tagesmittelgrenzwert an der Station Nürnberg/Von-der-Tann-Straße am häufigsten überschritten. An etwa drei Viertel aller Messstationen treten ein bis drei Überschreitungen auf.

Neben Feinstaub PM₁₀ sind auch Messungen der PM_{2,5}-Fraktion durchzuführen. Der Jahresmittelwert der PM_{2,5}-Belastung beträgt im Jahr 2021 maximal 12 µg/m³ (siehe Abb. 6). Der Grenzwert von 25 µg/m³ im Jahresmittel wird damit auch an höchstbelasteten Orten deutlich unterschritten. Im städtischen und vorstädtischen Hintergrund liegen die Belastungen bei 7 µg/m³ bis 12 µg/m³. Im ländlichen Hintergrund wurden 5 µg/m³ bis 8 µg/m³ gemessen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Stationskategorien sind vergleichsweise gering.

Seit Beginn des Jahres 2008 wird an drei Messstationen im städtischen Hintergrund die PM_{2,5}-Konzentration im Zusammenhang mit der Ermittlung des Indikators für die durchschnittliche PM_{2,5}-Exposition (AEI – Average Exposure Indicator) gemäß der EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG [5] gemessen. Der AEI-Wert bezieht sich auf ganz Deutschland und wird vom Umweltbundesamt ausgewertet.

In den zurückliegenden zehn Jahren ist in Bayern eine positive Entwicklung beim Feinstaub zu beobachten. Gemittelt über jede der drei Belastungskategorien (städtischer, vorstädtischer und ländlicher regionaler Hintergrund) zeigen sich erneute Rückgänge zum Vorjahr, die schließlich jeweils zum geringsten Konzentrationsniveau der letzten zehn Jahre führen (siehe Abb. 12). Bei Feinstaub PM_{2,5} fallen die Abnahmen zum Vorjahr in diesen drei Stationskategorien deutlicher aus als bei Feinstaub PM₁₀. An verkehrsnahen LÜB-Standorten liegen die mittleren Feinstaubbelastungen (PM₁₀ und PM_{2,5}) etwa auf dem Vorjahresniveau.

Der PM₁₀-Immissionsgrenzwert für das Kalenderjahr (40 µg/m³) wird in Bayern bereits seit 2007 nicht mehr überschritten. Die zulässige Anzahl von 35 Tagen mit Überschreitung des PM₁₀-Immissionsgrenzwerts für das Tagesmittel (50 µg/m³) wird bayernweit seit 2012 eingehalten.

Die meisten der im Jahresverlauf auftretenden Überschreitungen des Tagesmittelwerts bei Feinstaub PM₁₀ konzentrieren sich auf das Winterhalbjahr. Ausgeprägte Inversionswetterlagen können tagelang bzw. im Extremfall über mehrere Wochen dafür sorgen, dass die bodennahe, oft nur wenige 100 m hochreichende Luftschicht keinen Austausch mit höheren Frischluftschichten erfährt. Die Folge ist eine anhaltende Anreicherung des innerhalb dieser Schicht freigesetzten Feinstaubs, die zu einem flächendeckenden Anstieg der Feinstaubkonzentration führt. Erst ein markanter Witterungswechsel, der auch die bodennahe Luftschicht erneuert, kann derartige, sogenannte Feinstaubepisoden beenden.

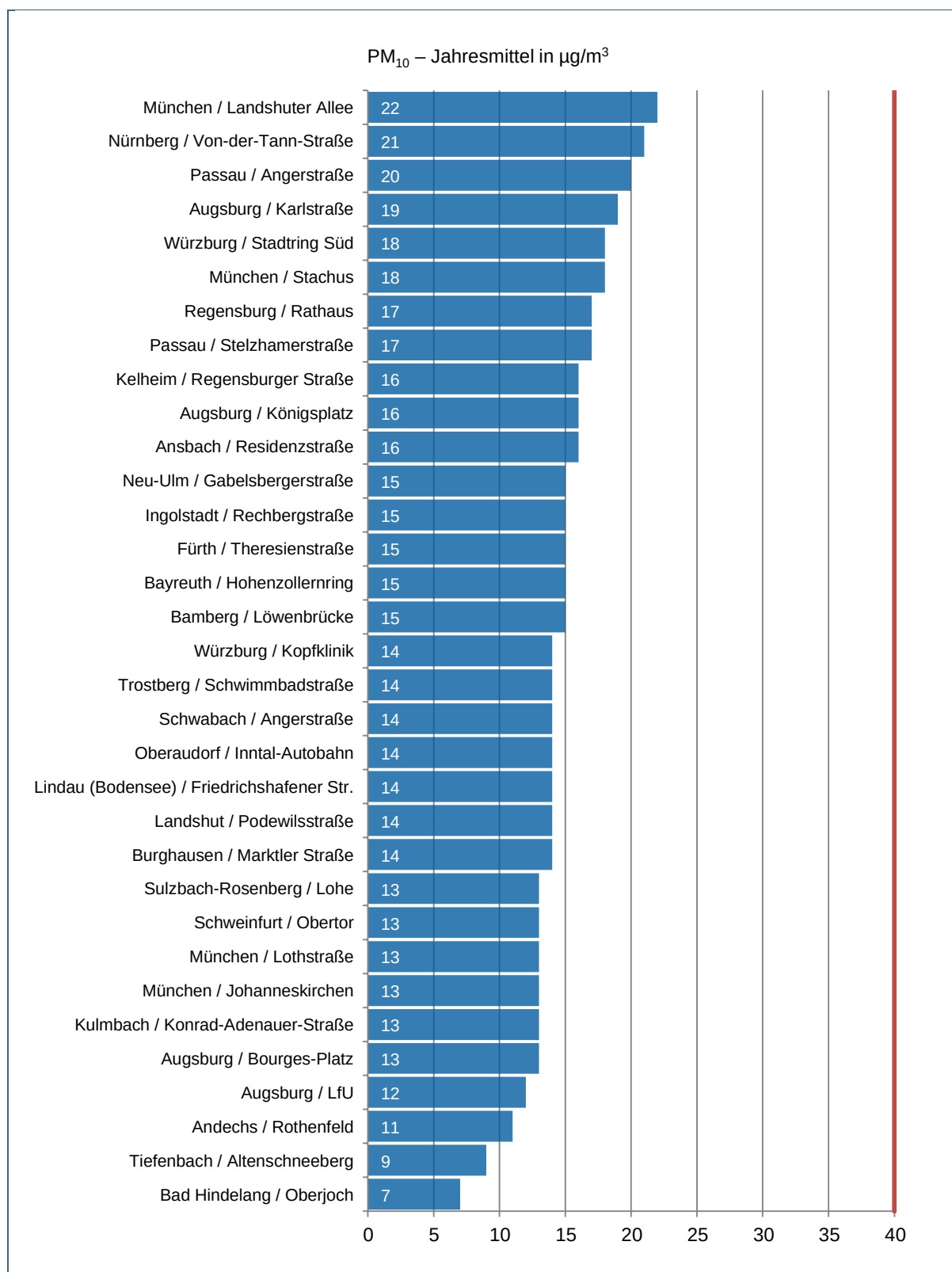


Abb. 4: Feinstaub PM₁₀ – Jahresmittelwerte (absteigend sortiert); die rote Linie markiert den Grenzwert der 39. BImSchV [3] von 40 µg/m³.

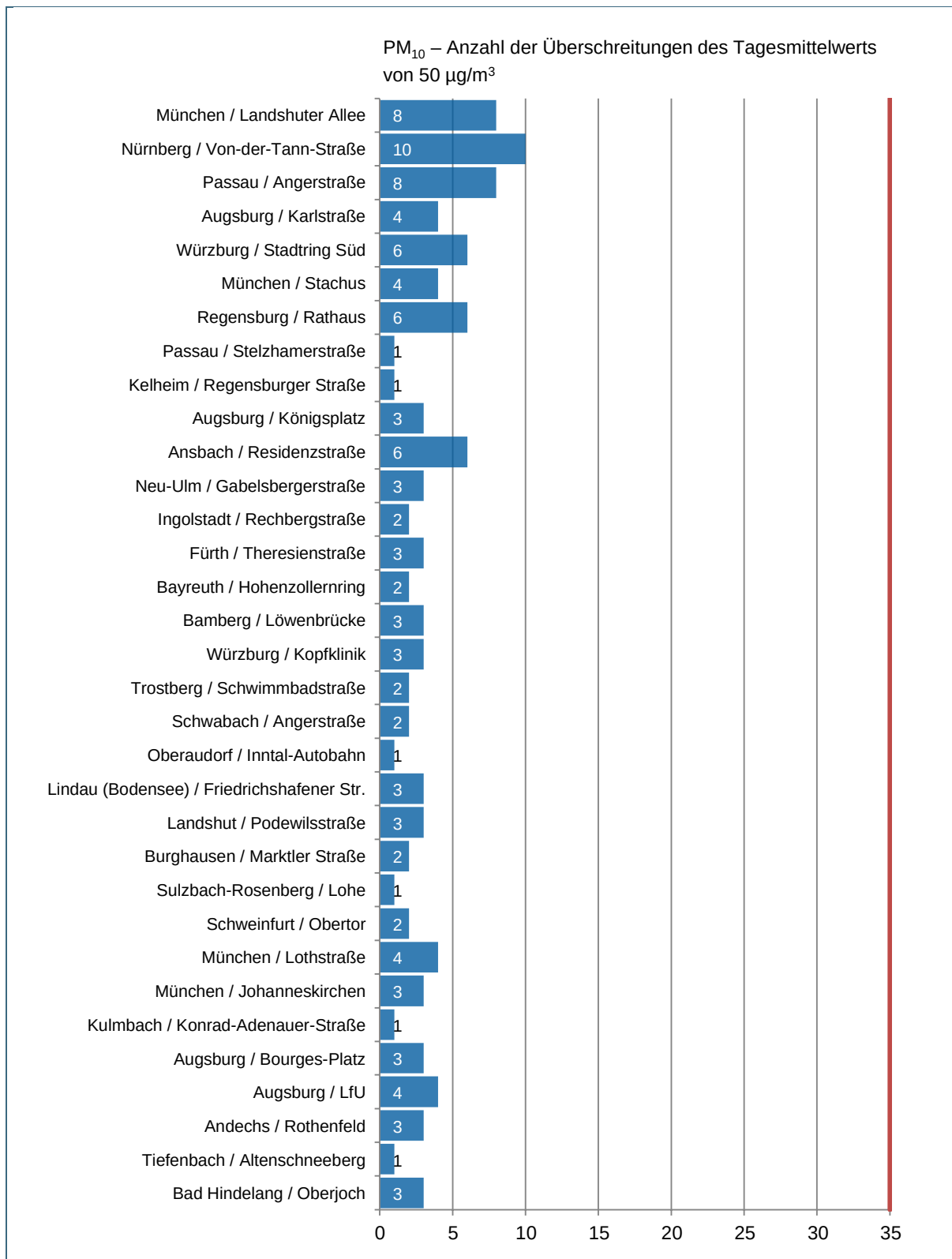


Abb. 5: Feinstaub PM₁₀ – Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwerts von 50 µg/m³ (absteigend sortiert nach dem Jahresmittelwert, vergleiche Abb. 4); die rote Linie markiert die maximal zulässige Überschreitungszahl von 35 Tagen.

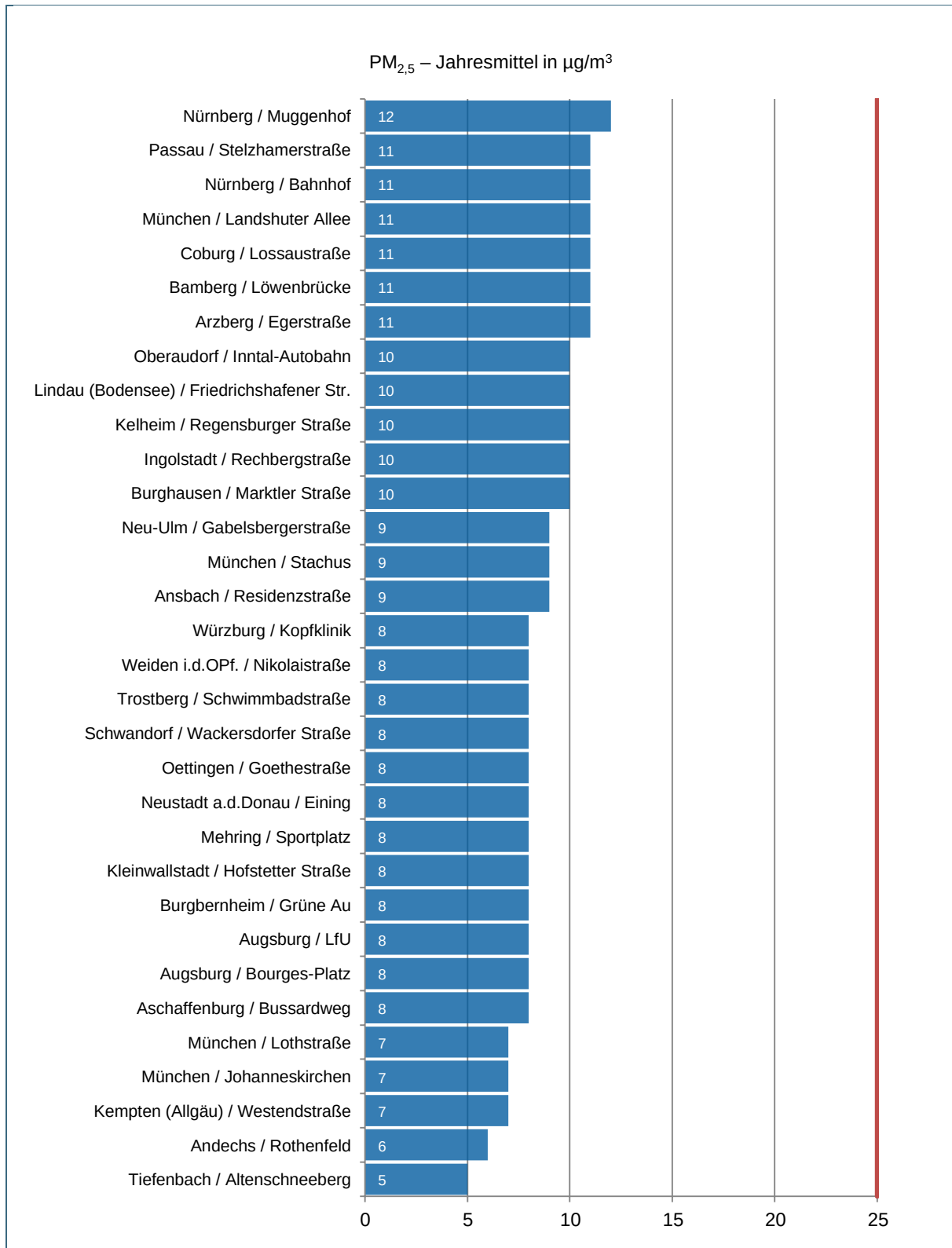


Abb. 6: Feinstaub PM_{2,5} – Jahresmittelwerte (absteigend sortiert); die rote Linie markiert den Grenzwert der 39. BImSchV [3] von 25 µg/m³.

3.2.4 Ozon

Im Unterschied zu den anderen Schadstoffen treten bei Ozon an den verkehrsbeeinflussten, innerstädtischen LÜB-Messstationen die geringsten Jahresmittelwerte auf. Abhängig von der Lage der LÜB-Messstation ist ausgehend von städtischen Kernbereichen über Stadtrandgebiete hin zu Regionen mit einer geringeren Emissionsdichte und insbesondere in höheren Lagen eine Zunahme der Jahresmittelwerte erkennbar (siehe Abb. 7). Dieser Sachverhalt ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass in urbanen Gebieten insbesondere in den Nachtstunden ein bodennaher Abbau des Ozons durch Reaktionen mit anderen Luftschadstoffen stattfindet. Daher ergeben sich dort insgesamt niedrigere Tages- und Jahresmittelwerte. Die Abhängigkeit der Ozonbildung von der Sonneneinstrahlung als treibender Faktor zeigt sich entsprechend im Jahresverlauf mit deutlich höheren Konzentrationen im Sommer als im Winter [25].

Die in der 39. BImSchV [3] festgelegte Informationsschwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als 1-Stundenmittelwert, bei der die Bevölkerung zu informieren ist, wird an keiner Messstation überschritten. Der höchste Stundenmittelwert wurde am 18.06. mit $174 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Station Augsburg/LfU gemessen. Die höchsten Stundenmittelwerte je Messstation sind im Lufthygienischen Jahreskurzbericht [24] dargestellt.

Der zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegte Zielwert beträgt $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als höchster 8-Stundenmittelwert während eines Tages bei 25 zugelassenen Überschreitungen pro Kalenderjahr, gemittelt über drei Jahre. In dem drei Jahre umfassenden Beurteilungszeitraum 2019 bis 2021 wird die zulässige Überschreitungshäufigkeit an allen der 34 beurteilungsrelevanten O_3 -Messstationen eingehalten (Tab. 19). Betrachtet man die Ergebnisse für die einzelnen Jahre, ist im Vergleich zum vorangegangenen Jahr 2020, in dem bereits an keiner Messstation eine Überschreitung vorlag, für 2021 ein weiterer Rückgang festzustellen.

Für den Schutz der Vegetation beträgt der Zielwert $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ als AOT40 für den Zeitraum Mai bis Juli. Der Wert ist seit dem 01.01.2010 so weit wie möglich einzuhalten. Maßgebend für die Beurteilung des Zielwerts ist der über fünf Jahre gemittelte AOT40. Der Zielwert zum Schutz der Vegetation wird im fünf Jahre umfassenden Beurteilungszeitraum 2017 bis 2021 an 6 von 26 beurteilungsrelevanten Messstationen überschritten (siehe Tab. 20). An der Station Mehring/Sportplatz wird mit $19.661 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ der höchste Wert ermittelt. Das durchschnittliche Belastungsniveau im Jahr 2021 liegt etwa auf dem des Jahres 2020, wo im Vergleich der zehn zurückliegenden Jahre das niedrigste Niveau erreicht wurde. In Abb. 9 sind die AOT40-Werte für das Kalenderjahr 2021 dargestellt. Städtische Hintergrundmessstationen sind nach der 39. BImSchV [3] keine Beurteilungspunkte zum Schutz der Vegetation und daher in Tabelle 20 nicht enthalten.

Die langfristig vorgegebenen Ziele zum Schutz der menschlichen Gesundheit und zum Schutz der Vegetation werden an keiner Messstation eingehalten. Der Zeitpunkt, ab dem die Ziele erreicht werden sollen, ist offen.

Die verkehrsnahe LÜB-Messstation München/Stachus ist aufgrund ihrer Standortcharakteristik nach der 39. BImSchV [3] nicht zur Beurteilung der Ozonbelastung vorgesehen. Ozon wird dort zu Zwecken der Qualitätssicherung und Ursachenforschung gemessen.

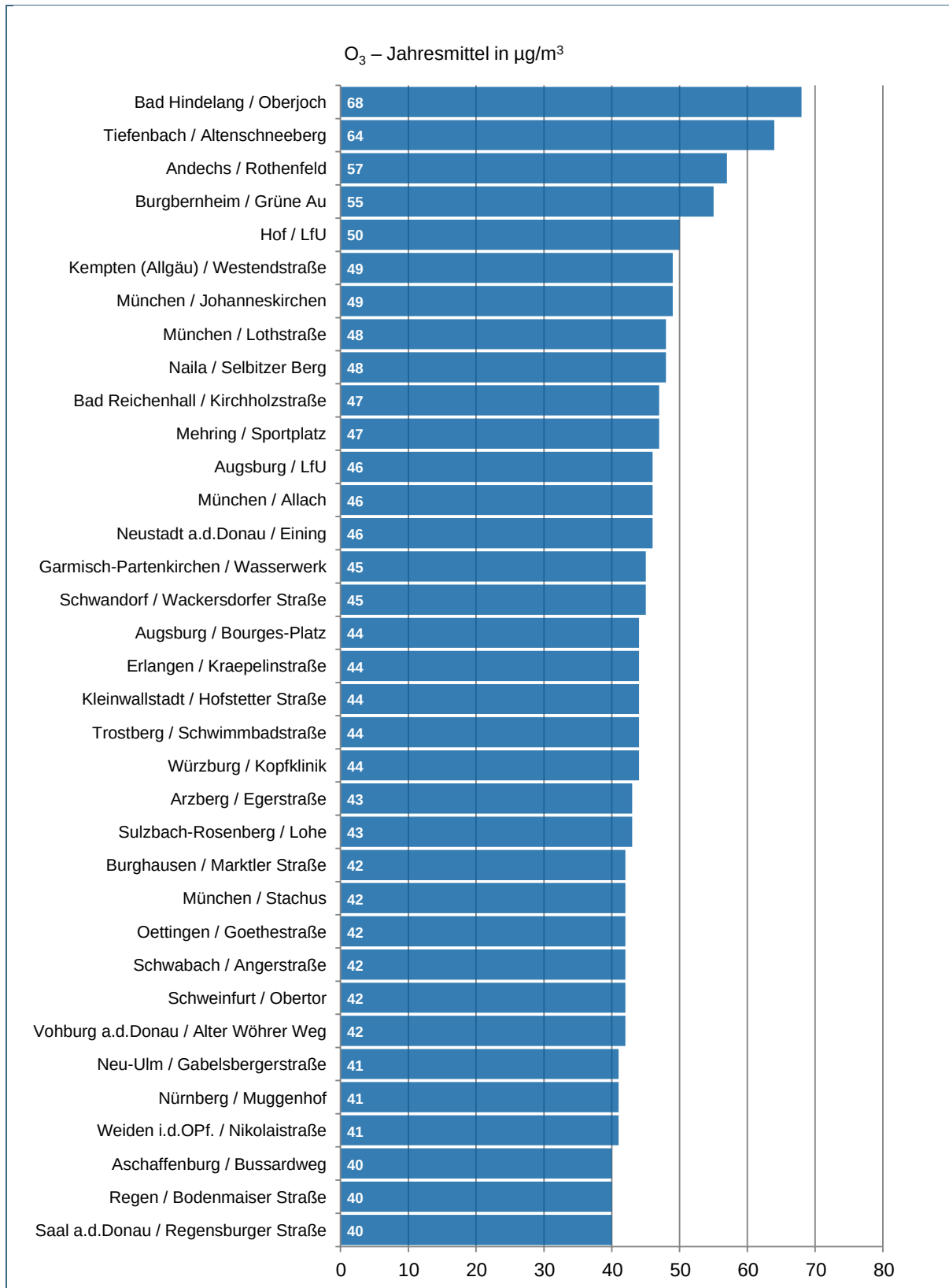


Abb. 7: Ozon (O₃) – Jahresmittelwerte (absteigend sortiert). Für den Jahresmittelwert liegt kein Beurteilungswert vor.

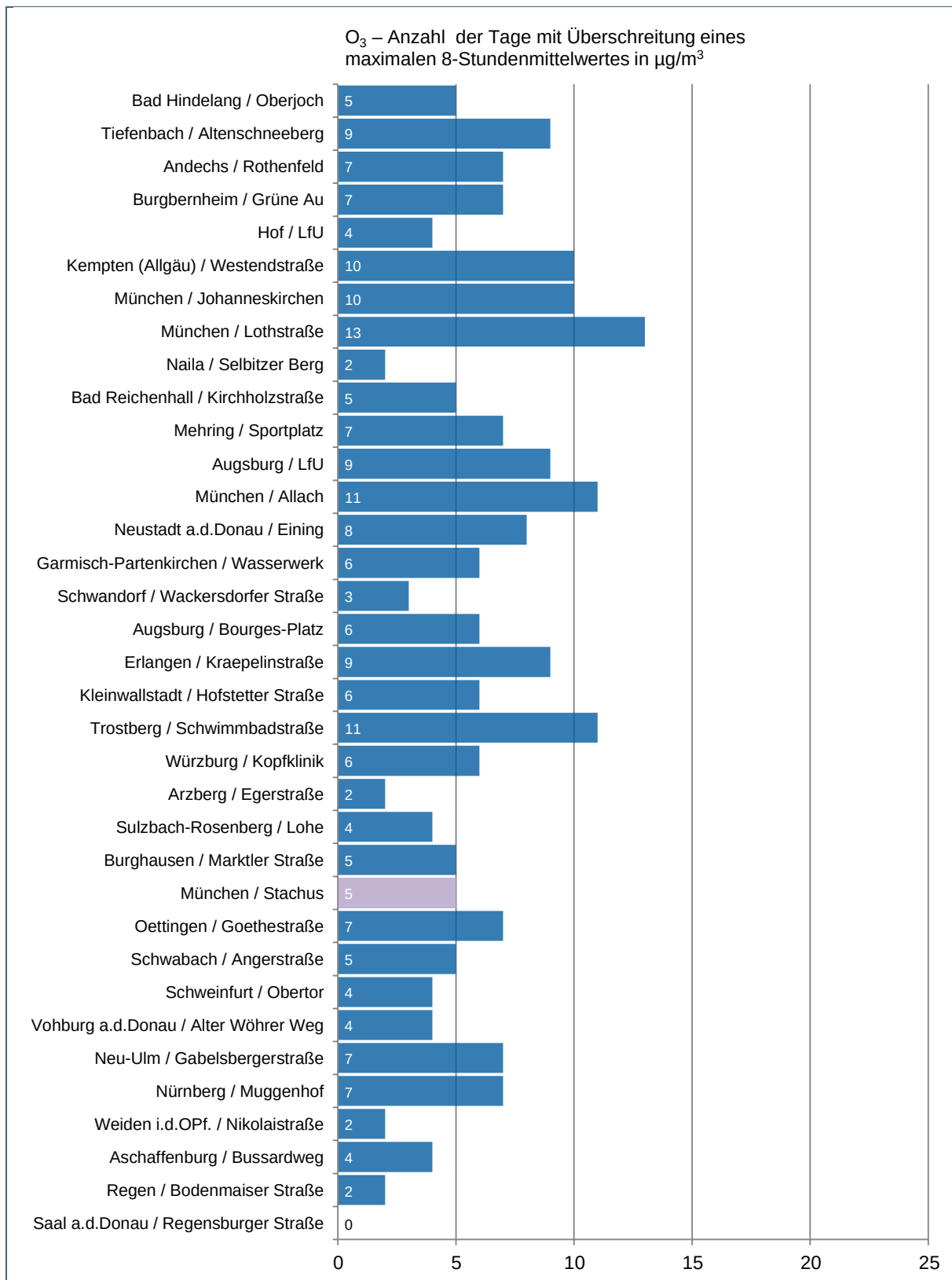


Abb. 8: Ozon (O₃) – Anzahl der Tage mit Überschreitung des maximalen 8-Stundenmittelwerts (im Kalenderjahr, absteigend sortiert nach dem Jahresmittelwert entsprechend Abb. 7). Die Ozonmessung an der verkehrsnahen Station München/Stachus (Balken lila eingefärbt) ist nicht für die Beurteilung vorgesehen und dient Zwecken der Qualitätssicherung und Ursachenforschung.

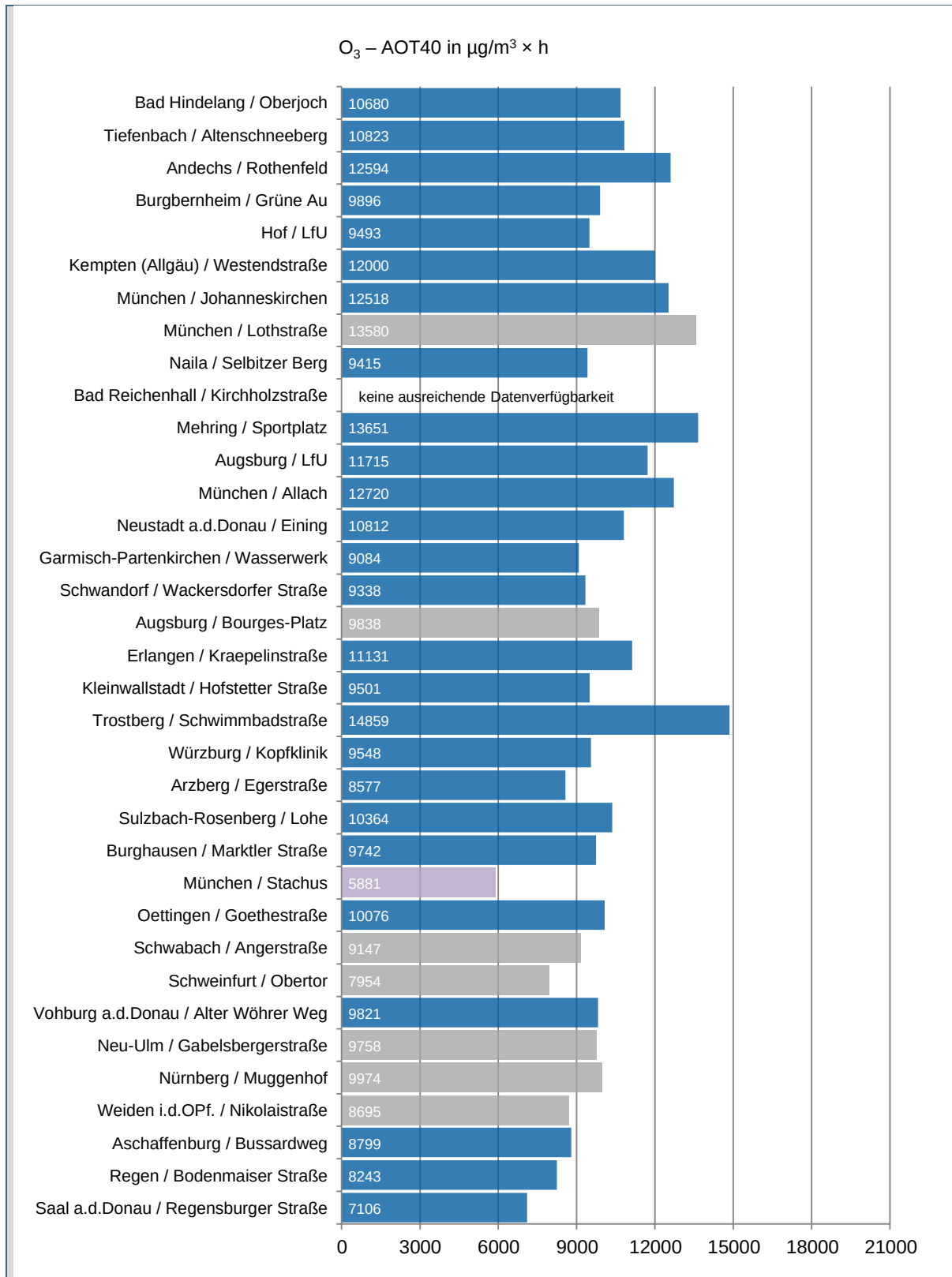


Abb. 9: Ozon (O₃) – AOT40 (im Kalenderjahr, absteigend sortiert nach dem Jahresmittelwert, vergleiche Abb. 7). Die Messstationen mit grau eingefärbten Wertebalken liegen im städtischen Hintergrund (Tab. 1) und sind nach der 39. BImSchV [3] nicht für die Beurteilung zum Schutz der Vegetation vorgesehen. Die Ozonmessung an der verkehrsnahen Station München/Stachus (Balken lila eingefärbt) ist nicht für die Beurteilung vorgesehen und dient Zwecken der Qualitätssicherung und Ursachenforschung.

Tab. 19: Zielwert für Ozon zum Schutz der menschlichen Gesundheit 2019 – 2021. Anzahl der Überschreitungen des höchsten 8-Stundenmittelwerts eines Tages von > 120 µg/m³, gemittelt über drei Kalenderjahre (sortiert nach Stationstyp)

Messstation	Typ	2019	2020	2021	Mittel
Andechs / Rothenfeld	LA-R HG	33	19	7	20
Bad Hindelang / Oberjoch	LA-R HG	15	10	5	10
Burgbernheim / Grüne Au	LA-R HG	32	24	7	21
Mehring / Sportplatz	LA-R HG	34	18	7	20
Neustadt a.d.Donau / Eining	LA-R HG	35	21	8	21
Tiefenbach / Altenschneeberg	LA-R HG	16	16	9	14
Garmisch-Partenkirchen / Wasserwerk	LA-ST HG	18	7	6	10
Naila / Selbiter Berg	LA-ST HG	28	12	2	14
Arzberg / Egerstraße	STV HG	17	6	2	8
Aschaffenburg / Bussardweg	STV HG	27	18	4	16
Augsburg / LfU	STV HG	39	23	9	24
Burghausen / Marktler Straße	STV HG	22	10	5	12
Erlangen / Kraepelinstraße	STV HG	31	16	9	19
Hof / LfU	STV HG	29	10	4	14
Kempten (Allgäu) / Westendstraße	STV HG	28	16	10	18
Kleinwallstadt / Hofstetter Straße	STV HG	24	24	6	18
München / Allach	STV HG	38	25	11	25
München / Johanneskirchen	STV HG	18	17	10	15
Oettingen / Goethestraße	STV HG	34	17	7	19
Regen / Bodenmaier Straße	STV HG	22	7	2	10
Saal a.d.Donau / Regensburger Straße	STV HG	14	9	0	8
Schwandorf / Wackersdorfer Straße	STV HG	18	10	3	10
Sulzbach-Rosenberg / Lohe	STV HG	22	8	4	11
Trostberg / Schwimmbadstraße	STV HG	30	11	11	17
Vohburg a.d.Donau / Alter Wöhrer Weg	STV HG	25	18	4	16
Würzburg / Kopfklinik	STV HG	21	13	6	13
Augsburg / Bourges-Platz	ST HG	28	16	6	17
Bad Reichenhall / Kirchholzstraße	ST HG	18	7	5	10
München / Lothstraße	ST HG	30	25	13	23
Neu-Ulm / Gabelsbergerstraße	ST HG	32	22	7	20
Nürnberg / Muggenhof	ST HG	13	7	7	9
Schwabach / Angerstraße	ST HG	21	9	5	12
Schweinfurt / Obertor	ST HG	12	9	4	8
Weiden i.d.OPf. / Nikolaistraße	ST HG	20	3	2	8

Abkürzungen/Erläuterungen:

LfU: Landesamt für Umwelt

Stationstyp/-klassifizierung:

LA-R: ländlich regional, LA-ST: ländlich stadtnah, ST: städtisch, STV: vorstädtisch, HG: Hintergrund

Fett hervorgehobene Werte liegen über den zugelassenen 25 Überschreitungstagen (gemittelt über drei Jahre). Im aktuellen Auswertzeitraum nicht der Fall.

Tab. 20: Zielwert für Ozon zum Schutz der Vegetation 2017 – 2021. AOT40 in $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$, gemittelt über fünf Kalenderjahre (sortiert nach Stationstyp)

Messstation	Typ	2017	2018	2019	2020	2021	Mittel
Andechs / Rothenfeld	LA-R HG	18535	27464	22093	12331	12594	18604
Bad Hindelang / Oberjoch	LA-R HG	15424	18247	16334	9377	10680	14013
Burgbernheim / Grüne Au	LA-R HG	19568	28599	23193	13409	9896	18933
Mehring / Sportplatz	LA-R HG	19301	28790	25142	11424	13651	19661
Neustadt a.d.Donau / Eining	LA-R HG	20378	26576	24900	13881	10812	19310
Tiefenbach / Altenschneeberg	LA-R HG	24672	26286	15855	9657	10823	17458
Garmisch-Partenkirchen / Wasserwerk	LA-ST HG	12189	14771	16799	7568	9084	12082
Naila / Selbitzer Berg	LA-ST HG	15526	19825	17160	8225	9415	14030
Arzberg / Egerstraße	STV HG	12314	18885	17897	8437	8577	13222
Aschaffenburg / Bussardweg	STV HG	12643	19713	17872	10406	8799	13887
Augsburg / LfU	STV HG	18372	25964	24353	13401	11715	18761
Burghausen / Marktler Straße	STV HG		21199	18348	9566	9742	14714
Erlangen / Kraepelinstraße	STV HG	16744	27515	21446	10932	11131	17554
Hof / LfU	STV HG	13043	20647	19693	7225	9493	14020
Kempten (Allgäu) / Westendstraße	STV HG	18072	22087	22203	11643	12000	17201
Kleinwallstadt / Hofstetter Straße	STV HG	15533	24243	18447	11847	9501	15914
München / Allach	STV HG	18665	25165	23190	14433	12720	18835
München / Johanneskirchen	STV HG	18329	25309	19341	12344	12518	17568
Oettingen / Goethestraße	STV HG	-	23811	22825	12351	10076	17266
Regen / Bodenmaier Straße	STV HG	19516	21211	19491	7971	8243	15287
Saal a.d.Donau / Regensburger Straße	STV HG	15766	19755	16349	9687	7106	13733
Schwandorf / Wackersdorfer Straße	STV HG	15385	21532	-	10699	9338	14239
Sulzbach-Rosenberg / Lohe	STV HG	16240	24964	20781	10270	10364	16524
Trostberg / Schwimmbadstraße	STV HG	17520	23437	21399	10269	14859	17497
Vohburg a.d.Donau / Alter Wöhrer Weg	STV HG	16910	24698	21105	12259	9821	16958
Würzburg / Kopfklinik	STV HG	11761	20848	15979	9998	9548	13627

Abkürzungen/Erläuterungen:

LfU: Landesamt für Umwelt

Stationstyp/-klassifizierung:

LA-R: ländlich regional, LA-ST: ländlich stadtnah, ST: städtisch, STV: vorstädtisch, HG: Hintergrund

Fett hervorgehobene Werte liegen über dem Zielwert von $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ (gemittelt über fünf Jahre)

„ – “: keine ausreichende Datenverfügbarkeit

3.2.5 Kohlenmonoxid

Die Konzentration von Kohlenmonoxid (CO) liegt im Vergleich zum Grenzwert von 10 mg/m³, gemittelt über 8 Stunden, auf einem niedrigen Niveau (siehe Abb. 10). An den verkehrsorientierten Messstationen liegen die maximalen 8-Stundenmittelwerte in einem Bereich von 0,8 mg/m³ bis 1,2 mg/m³, vergleichbar dem Wert von 1,0 mg/m³ an der vorstädtischen Hintergrundmessstation Augsburg/LfU. Der Jahresmittelwert liegt an 12 der 13 verkehrsorientierten Messstationen bei 0,3 mg/m³. An der Landshuter Allee in München wurden im Jahresmittel 0,4 mg/m³ gemessen, im vorstädtischen Hintergrund (Augsburg/LfU) 0,2 mg/m³.

Für Kohlenmonoxid sind aufgrund des geringen Belastungsniveaus ortsfeste Messungen nach der 39. BImSchV [3] nicht mehr vorgeschrieben. Der Großteil der Kohlenmonoxidmessungen wird hauptsächlich aus Gründen der Qualitätssicherung für andere Luftschadstoffe fortgeführt.

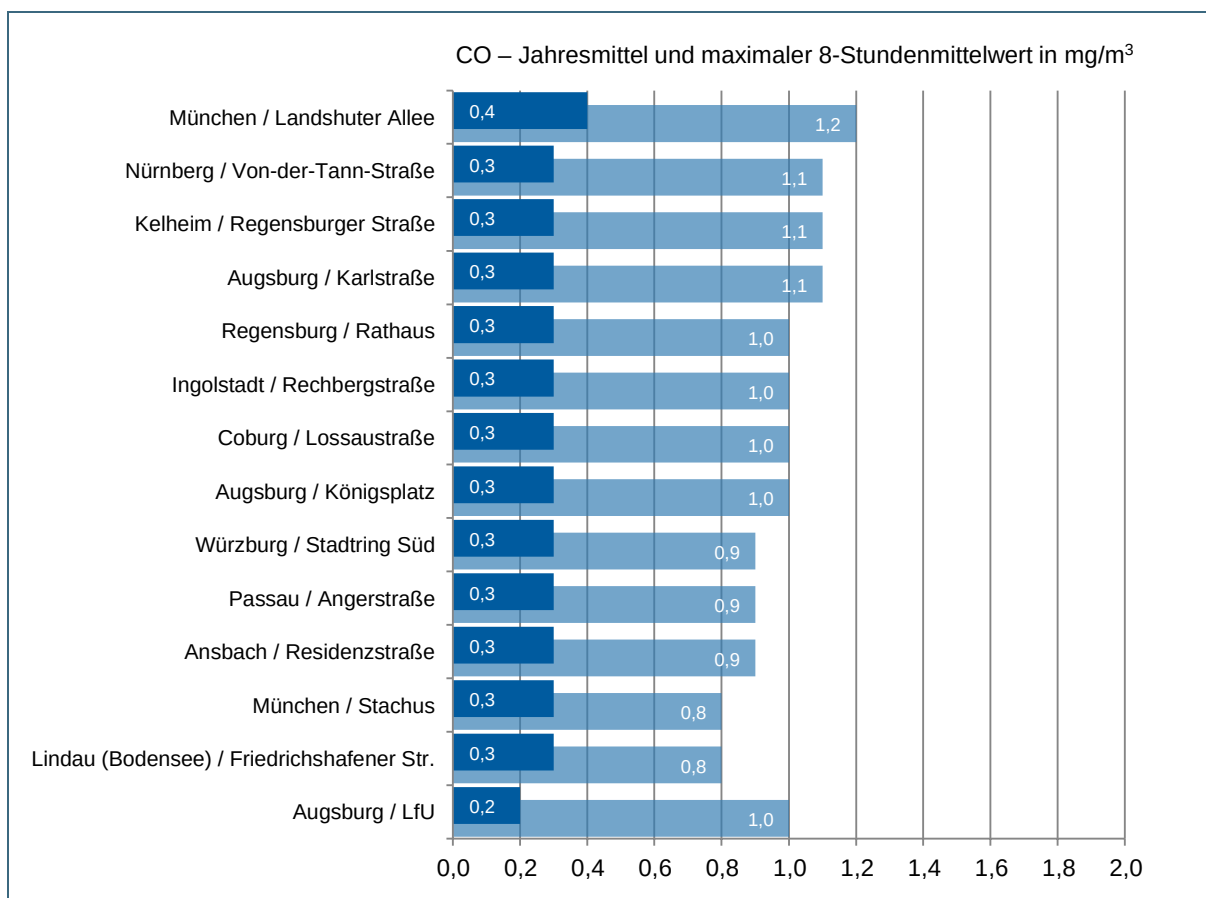


Abb. 10: Kohlenmonoxid (CO) – Jahresmittelwerte (dunkelblau) und maximaler 8-Stundenmittelwert (hellblau) absteigend sortiert nach dem Jahresmittelwert; nicht enthalten ist aus Darstellungsgründen eine Markierung für den Grenzwert des maximalen 8-Stundenmittelwerts von 10 mg/m³ nach der 39. BImSchV [3], der dem fünffachen der Länge der Abszisse entspricht.

3.2.6 Benzol

Benzol wird als typisch verkehrsspezifischer Schadstoff vorwiegend im Nahbereich verkehrsreicher Straßen gemessen.

Bei der kontinuierlichen Messung an der LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz (verkehrsnahe) wurde ein Jahresmittelwert von 0,6 µg/m³ ermittelt. Neben den kontinuierlichen Benzolmessungen werden Messungen mit Passivsammlern [23] durchgeführt. Aufgrund des seit vielen Jahren geringen Belastungsniveaus wurde zu Beginn des Jahres 2019 die Anzahl der Messungen von 16 auf 5 reduziert.

Die aus den Passivsammlermessungen gewonnenen Jahresmittelwerte bewegen sich zwischen $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die geringste Belastung wurde an der im ländlichen Hintergrund gelegenen LÜB-Messstation Andechs/Rothenfeld gemessen, die höchste Konzentration an der stark verkehrsbelasteten Station München/Landshuter Allee (siehe Tab. 17, S.20 oder Ergebnisse der BTX-Passivsammlermessungen im Internet [26]).

Der seit 2010 nach der 39. BImSchV [3] geltende Jahresmittelgrenzwert von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird deutlich unterschritten.

3.2.7 Blei, Arsen, Cadmium und Nickel im Feinstaub PM_{10}

Die Jahresmittelwerte für Blei, Arsen, Cadmium und Nickel in der PM_{10} -Fraktion liegen an allen LÜB-Messstationen deutlich unter den Grenz- bzw. Zielwerten der 39. BImSchV [3]. Die einzelnen Messergebnisse für das Jahresmittel sind in Tab. 18 zusammengestellt. Darüber hinaus sind im Internet [27] auch Monatsmittelwerte verfügbar.

3.2.8 Benzo[a]pyren im Feinstaub PM_{10}

Neben den im Feinstaub PM_{10} analysierten Metallen wird der Gehalt an Benzo[a]pyren als Marker für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe ermittelt, für den in der 39. BImSchV [3] ein Zielwert von $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ festgelegt ist. Die gemessenen Jahresmittelwerte bewegen sich zwischen $0,05 \text{ ng}/\text{m}^3$ und $0,251 \text{ ng}/\text{m}^3$ und liegen damit deutlich unter dem Zielwert. Die höchste Belastung tritt an der LÜB-Messstation Regensburg/Rathaus auf (siehe Tab. 18, S. 22 oder Internet [27]).

Hauptemittent von Benzo[a]pyren ist vor allem der Hausbrand. Der Jahresgang zeigt einen sehr ausgeprägten Verlauf. Im Winterhalbjahr werden bei kaltem Wetter mit vermehrtem Hausbrand im Zusammenhang mit Inversionswetterlagen Monatsmittelwerte um $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ oder mehr gemessen, jedoch mit deutlich abnehmendem Trend in den letzten zehn Jahren. In den Sommermonaten liegen die Konzentrationen meist unterhalb der Bestimmungsgrenze von $0,02 \text{ ng}/\text{m}^3$.

3.3 Weitere Auswertungen im Internet

Weitere Auswertungen in grafischer und tabellarischer Form sind im Internet unter dem Link <https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/auswertungen/index.htm> zu finden.

Nachfolgend sind die Verlinkungen zu den einzelnen Auswertungen aufgelistet:

[BTX-Passivsammler](#) [26]

[Inhaltsstoffe in der \$\text{PM}_{10}\$ -Fraktion \(Monatsmittelwerte\)](#) [27]

[Langzeitverläufe](#) [28]

[Staubniederschlag und Inhaltsstoffe](#) [29]

[Windrosen](#) [11]

4 Trendanalysen je Messstation und Entwicklung unterschiedlicher Belastungsniveaus

4.1 Trendanalysen je Messstation

Im Folgenden wird die langfristige Entwicklung der Schadstoffbelastung für die Komponenten Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}), Ozon, Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid anhand von zehnjährigen Trendanalysen betrachtet. Die Auswertung erfolgt für alle LÜB-Messstationen, bei denen Auswerteziträume über mindestens die letzten sechs zurückliegenden Jahre vorliegen. Der Trend wird mittels einer linearen Regression berechnet. Als Basis hierfür werden die monatlich gleitenden 12-Monatsmittelwerte herangezogen. Durch die Mittelung über zwölf Monate werden die jahreszeitlich bedingten Schwankungen der Schadstoffbelastung geglättet. Etwaige Änderungen der Schadstoffentwicklung innerhalb des Auswertezitraums, wie z. B. zunächst steigende und dann fallende Trends, werden im Trend nicht erfasst und können anhand der gleitenden 12-Monatsmittelwerte in den Grafiken abgelesen werden.

Zur Beurteilung der Signifikanz des Trends wird die zweifache Trendstandardabweichung herangezogen. Erst wenn der berechnete Trend betragsmäßig größer als die zweifache Trendstandardabweichung ist, wird dies als signifikante Änderung der Belastungssituation bewertet. Andernfalls wird von keiner relevanten Veränderung ausgegangen.

Generell ist bei der Bewertung der Verläufe zu berücksichtigen, dass neben der Emissionssituation auch die Meteorologie – insbesondere die Windsituation und vertikale Austauschbedingungen – die Immissionssituation deutlich beeinflussen. Kein Jahr gleicht dem anderen und einzelne Jahre können besonders stark von den mittleren Verhältnissen abweichen, was bei der Bewertung der Verläufe zu berücksichtigen ist.

Sämtliche Langzeitverläufe mit Grafiken und Trendtabellen sind im Internetauftritt des Bayerischen Landesamts für Umwelt [28] abrufbar¹.

4.1.1 Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid

Von den mit Messgeräten für Stickstoffoxide bestückten LÜB-Messstationen wurden für 45 Stationen Trendanalysen durchgeführt.

Für Stickstoffmonoxid zeigen 35 Standorte einen abnehmenden Trend über den betrachteten Zeitraum, 9 Standorte eine unveränderte Situation und an einer Messstation (Bad Hindelang/Oberjoch²) nehmen die gemessenen Konzentrationen langfristig zu.

An der verkehrsorientierten LÜB-Messstation München/Landshuter Allee ist der Rückgang mit 60 µg/m³ am stärksten ausgeprägt. Im Langzeitverlauf ist am gleitenden Mittelwert abzulesen, dass etwa seit dem Jahr 2017 ein deutlicher Rückgang erfolgt. In den fünf Jahren zuvor ist kein eindeutiger Trend erkennbar. Die jährlichen Abnahmen in den letzten Jahren fallen also deutlich stärker – etwa doppelt so groß – aus, als alleine aus dem zehnjährigen Trendwert ableitbar ist.

Auf dem zweiten Rang folgt die LÜB-Messstation Oberaudorf/Inntal-Autobahn mit einem Rückgang von 50 µg/m³ in zehn Jahren. An der Messstation bei Oberaudorf in nächster Nähe zur Autobahn zeigt

¹ Hinweis: Der Bericht zu Langzeitverläufen wird erst nach Veröffentlichung des Jahresberichts fertiggestellt und veröffentlicht.

² Die NOx-Messung an der ländlichen Hintergrundmessstation Bad Hindelang/Oberjoch wird von einem nahegelegenen – immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungspflichtigen – Blockheizkraftwerk mittlerweile deutlich beeinflusst. Ein Ersatzstandort ist bereits ausgewählt und immissionsseitig untersucht. Er soll die Messstation in Oberjoch spätestens ab 2023 ersetzen.

sich im Verlauf des gleitenden 12-Monatsmittelwerts deutlich der Einfluss durch die Errichtung einer Lärmschutzwand (Fertigstellung Herbst 2017) zwischen Messstation und Autobahn, die eine Abschirmung der direkten Verkehrsemissionen auch luftseitig bewirkt.

Auf dem dritten Rang liegt ebenfalls eine verkehrsbelastete Münchner Messstation mit sehr langer Historie (Inbetriebnahme im Jahr 1978): Die Station am Stachus ($-46 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Auf den weiteren Rängen folgen die verkehrsnahen Messstandorte Augsburg/Karlstraße, Würzburg/Stadtring Süd und Nürnberg/Von-der-Tann-Straße.

Für Stickstoffdioxid zeigen 44 der 45 ausgewerteten Zeitreihen eine Abnahme der Belastung über den betrachteten Zeitraum.

Mit einem Rückgang von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in den letzten zehn Jahren ist der Trend an der LÜB-Messstation München/Stachus am stärksten ausgeprägt. Auf dem zweiten Rang folgt ebenfalls in München mit $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ die verkehrsbelastete Messstation in der Landshuter Allee. Der jährliche Rückgang der letzten Jahre fiel deutlich stärker aus, als es der zehnjährige Trend zeigen kann. Die Verläufe der beiden Münchner Messstationen belegen die Wirksamkeit und die Erfolge von Maßnahmen und moderner Abgastechnologien zur Reduzierung der Stickstoffoxidemissionen.

Auf dem dritten Rang folgt die LÜB-Messstation Oberaudorf/Inntalautobahn. In dem Trend macht sich auch die Fertigstellung einer Lärmschutzwand im Jahr 2017 bemerkbar, die eine Abschirmung der direkten Verkehrsemissionen auch luftseitig bewirkt hat.

Mit größerem Abstand, aber immer noch deutlich fallendem Trend, folgen die verkehrsnahen Messstationen Würzburg/Stadtring Süd und Augsburg/Karlstraße.

Entgegen dem allgemein abnehmenden Trend zeigt die Messstation Bad Hindelang/Oberjoch gleichbleibende Verhältnisse (siehe Fußnote 2, S. 38).

In der Kategorie der verkehrsnahen Messstationen sind erwartungsgemäß aufgrund der Quellnähe zum Verkehr mit den höchsten Konzentrationen auch die stärksten Rückgänge zu verzeichnen. Doch auch im ländlich regionalen Hintergrund mit dem geringsten Belastungsniveau ergibt die Auswertung Konzentrationsabnahmen im zehnjährigen Auswertzeitraum von bis zu $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.1.2 Feinstaub (PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$)

Für Feinstaub PM_{10} zeigen 31 der 32 LÜB-Messstationen eine Abnahme der Konzentration über die letzten zehn Jahre bzw. den jeweiligen Auswertzeitraum. An der Messstation Andechs/Rothenfeld ist weder ein ab- noch zunehmender Trend abzulesen.

Am stärksten ist der rückläufige Trend an den verkehrsbelasteten Messstationen Regensburg/Rathaus und bei Oberaudorf an der Inntal-Autobahn mit jeweils $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgeprägt. Mit jeweils $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ folgen die Messstationen Würzburg/Stadtring Süd und Augsburg/Königsplatz.

Auffällig in den Verläufen ist an fast allen Messstationen ein deutlicher Peak Anfang 2017, der sich auch im gleitenden 12-Monatsmittelwert in einer sichtbaren Erhöhung widerspiegelt. Hierbei handelt es sich um eine bayernweit aufgetretene relativ hohe Feinstaubbelastung, insbesondere in der zweiten Januarhälfte. Ausschlaggebend dafür war eine sehr ausgeprägte Inversionswetterlage, die einen Luftaustausch der bodennahen Luftschicht mit höheren Luftschichten über längere Zeit verhinderte. Der rückläufige zehnjährige Trend wird hierdurch etwas gedämpft. An höhergelegenen Messstationen wie in Tiefenbach und Andechs ist der Peak nur schwach ausgeprägt. An der höchstgelegenen LÜB-

Messstation Bad Hindelang/Oberjoch auf 1169 m ist keine Erhöhung abzulesen. Das zeigt anschaulich, dass die Messstation oberhalb der Obergrenze der Bodeninversion lag.

Bei der Komponente Feinstaub PM_{2,5} wird an allen 30 auswertbaren Messstationen ein rückläufiger Trend festgestellt. Den stärksten Rückgang zeigt die verkehrsbelastete Messstation München/Lands-huter Allee mit 8,0 µg/m³, gefolgt von der Messstation München /Stachus mit 7,5 µg/m³ und der im städtischen Hintergrund gelegenen Messstation Augsburg/Bourges Platz mit 6,8 µg/m³

Im Januar 2017 ist an einigen Messstationen ähnlich wie bei Feinstaub PM₁₀ ein sehr starker Peak zu erkennen, der auf die oben genannte außergewöhnliche Inversionswetterlage zurückzuführen ist.

4.1.3 Ozon

Die Trendauswertung zeigt über die letzten zehn Jahre an 23 der 33 auswertbaren Messstationen einen zunehmenden Trend. An den restlichen zehn Messstationen ist keine signifikante Veränderung ablesbar.

Die größte Zunahme der beurteilungsrelevanten Messstationen zeigt die Messstation Saal a. d. Donau/Regensburger Straße mit 17 µg/m³ in zehn Jahren.

Die größte Zunahme insgesamt wird an der verkehrsorientierten Messstation München/Stachus mit 20 µg/m³ ermittelt. An dieser Messstation wird Ozon zu qualitätssichernden und wissenschaftlichen Zwecken erhoben. Beurteilungsrelevant sind die Ozonergebnisse aufgrund der Nähe zum Straßenverkehr am Stachus nicht. Daher sind sie auch nicht mit dem Rest der Messstationen vergleichbar. Der deutliche Rückgang der Stickstoffmonoxidemissionen der letzten Jahre im Verkehrssektor trägt hier maßgeblich zur Zunahme der Ozonkonzentrationen bei.

Bei Berücksichtigung der Stationskategorien fällt auf, dass an sechs von acht Messstationen im ländlichen Hintergrund, entgegen den vorangegangenen Jahren, ein zunehmender Trend nicht mehr ablesbar ist. Die Ergebnisse der ländlichen Messstationen haben gegenüber den anderen Stationskategorien mit verkehrsnahem oder städtischem Bezug flächenmäßig die größte Repräsentativität.

Weitere Zusatzinformationen rund um Ozon und insbesondere zur Entwicklung sind im Internet [25] verfügbar.

4.1.4 Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid

Die Kohlenmonoxidkonzentrationen nehmen an allen 13 verkehrsnahen LÜB-Messstationen in den letzten zehn Jahren weiterhin signifikant ab. Auch die Auswertung der Messung im vorstädtischen Hintergrund – Station Augsburg/LfU – ergibt eine Abnahme.

Der stärkste Rückgang ist mit 0,22 mg/m³ in den letzten zehn Jahren an der verkehrsbelasteten Messstation München/Stachus zu verzeichnen. Den geringsten Rückgang zeigt die Messstation Ingolstadt/Rechbergstraße.

Kohlenmonoxid entsteht überwiegend bei unvollständigen Verbrennungsprozessen in Motoren und kleineren Feuerungsanlagen. Dementsprechend gelten als Hauptverursacher der Kohlenmonoxidimmissionen der Kfz-Verkehr und der Hausbrand. Der Rückgang der Schadstoffbelastung ist trotz steigendem Verkehrsaufkommen insbesondere auf die Verminderung der Emissionen im Verkehrsbe-reich zurückzuführen. Die Konzentrationen bewegen sich heutzutage auf einem sehr niedrigen Niveau.

Für Schwefeldioxid besteht mittlerweile aufgrund des geringen Belastungsniveaus keine Messverpflichtung mehr. Deshalb wurden schließlich seit Beginn 2018 die Messungen für Schwefeldioxid an

den LÜB-Messstationen eingestellt. Der letzte Auswertezeitraum über zehn Jahre erstreckt sich daher von 2008 bis 2017.

Trotz des seit vielen Jahren sehr geringen Belastungsniveaus zeigen noch sieben der zwölf LÜB-Messstationen bei Schwefeldioxid Abnahmen über den letzten verfügbaren zehnjährigen Auswertezeitraum von 2008 bis 2017 (Messende). Am deutlichsten ist die Abnahme an der Station Augsburg/Königsplatz mit $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu beobachten, knapp gefolgt von der Station München/Stachus mit $2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An den restlichen fünf Stationen sind die Trendwerte zwar auch negativ, jedoch wird das Signifikanzkriterium nicht erfüllt, so dass der Trend als unverändert eingestuft wird.

Die Schwefeldioxidkonzentrationen liegen seit Ende der 1990er Jahre flächendeckend auf einem sehr niedrigen Niveau. Der deutliche Rückgang gegenüber den hohen Belastungen, die noch in den 1980er Jahren vorherrschten (siehe Internet [28], Langzeitverläufe seit Messbeginn), ist auf emissionsmindernde Maßnahmen in sämtlichen Sektoren, insbesondere im Bereich Kraft- und Heizwerke, sowie auf den Einsatz schwefelarmer Brennstoffe zurückzuführen.

4.2 Entwicklung unterschiedlicher Belastungsniveaus

Nachfolgend wird für Stickstoffdioxid (Abb. 11) und Feinstaub PM_{10} (Abb. 12) die Entwicklung des Konzentrationsniveaus der letzten zehn Jahre für die in der 39. BImSchV [3] genannten Stationskategorien verkehrsorientiert sowie städtischer, vorstädtischer und ländlich regionaler Hintergrund dargestellt.

Je Stationskategorie und Jahr wurde ein Mittelwert über alle Jahresmittelwerte der aktuell aktiven LÜB-Messstationen gebildet, deren Messzeitreihen im Regelfall alle auszuwertenden Jahre umfassen³. So wird vermieden, dass durch Änderungen der Stationszahlen oder Messlücken innerhalb einer Kategorie bzw. eines Kollektivs systematische Änderungen – insbesondere bei wenigen Stationen oder bei Stationen mit deutlich vom Mittelwert abweichenden Belastungen – einfließen können.

Für Stickstoffdioxid zeigt Abb. 11 in allen Belastungsniveaus eine anhaltende Abnahme der Konzentrationen. Besonders deutlich zeigt sich der Rückgang an verkehrsbelasteten Messstationen seit dem Jahr 2015. Der Verlauf belegt die Wirksamkeit und die Erfolge von Maßnahmen und moderner Abgas-technologien zur Reduzierung der Stickstoffdioxidemissionen. Von dem Jahr 2019 auf 2020 fällt insbesondere bei den verkehrsorientierten Messungen ein noch markanterer Rückgang auf. Der Einfluss emissionsmindernder Effekte im Zusammenhang mit Lockdown-Maßnahmen aufgrund des neuartigen Coronavirus ist hierin anteilig beteiligt (siehe [30], Kapitel 3.2.2, Abs. 3).

Für Feinstaub PM_{10} zeigen sich in den drei Belastungskategorien städtischer, vorstädtischer und ländlicher Hintergrund erneute Rückgänge zum Vorjahr, die schließlich jeweils zum geringsten Konzentrationsniveau der letzten zehn Jahre führen (siehe Abb. 12). Das Belastungsniveau an verkehrsorientierten Messstationen entspricht etwa dem des Vorjahres 2020, wo ebenfalls das geringste Niveau der letzten zehn Jahre erreicht wurde. Im Vergleich zu Stickstoffdioxid in Abb. 11 fällt auf, dass im Verlauf bei Feinstaub- PM_{10} die Jahresmittelwerte größeren Schwankungen unterliegen. Dabei wird – insbesondere in der zweiten Hälfte des Auswertezeitraums – der zum Teil deutliche Einfluss der Meteorologie auf die Feinstaubbelastung einzelner Jahre sichtbar. Im Jahr 2017 hat beispielsweise eine außergewöhnlich intensive Inversionswetterlage (langandauernd, geringe Mischungsschichthöhe, teils sehr niedrige Lufttemperaturen) deutlichen Einfluss auf den Jahresmittelwert. Winterliche Inversionswetter-

³ Für die Entwicklung von NO_2 wird trotz vollständiger zehnjähriger Zeitreihe die Messstation Bad Hindelang/Oberjoch nicht mehr im Kollektiv der ländlichen Station berücksichtigt (für weitere Erläuterung siehe Fußnote 2, S. 38).

lagen wirken verstärkt auf die Feinstaubbelastung, da zeitgleich zu schlechten Durchmischungseigenschaften der unteren Luftschicht verstärkt bodennahe Feinstaubemissionen aus der Holzfeuerung zur Wärmeerzeugung freigesetzt werden. Im Jahr 2018 beispielsweise wirkt sich das extrem trockene Sommerhalbjahr mit infolge vermehrter Staubaufwirbelung auf den Jahresmittelwert aus.

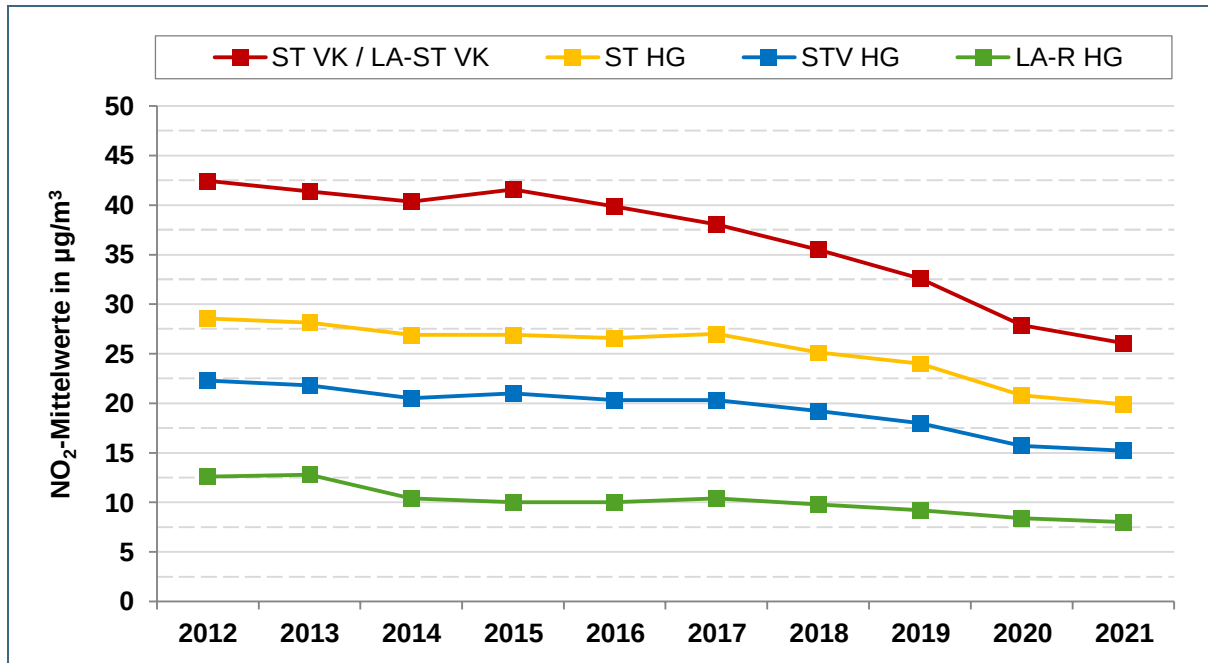


Abb. 11: Stickstoffdioxid (NO₂) – Entwicklung der Belastung in den Belastungsniveaus verkehrsorientierter (ST VK / LA-ST VK), städtischer (ST HG), vorstädtischer (STV HG) und ländlicher Messstationen (LA-R HG). Vergleiche Tab. 1, S. 8, zur Erläuterung der Abkürzungen.

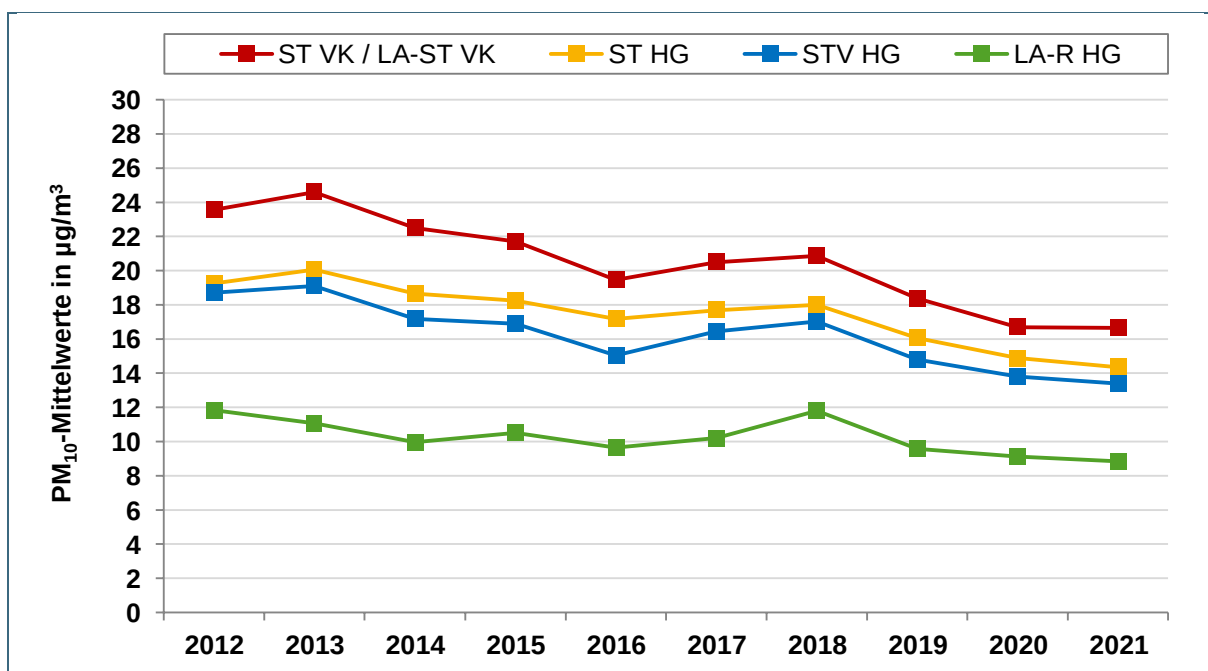


Abb. 12: Feinstaub PM₁₀ – Entwicklung der Belastung in den Belastungsniveaus verkehrsorientierter (ST VK / LA-ST VK), städtischer (ST HG), vorstädtischer (STV HG) und ländlicher Messstationen (LA-R HG). Vergleiche Tab. 1, S. 8, zur Erläuterung der Abkürzungen.

5 Ergebnisse der Staubbiederschlagsmessungen

Neben den kontinuierlichen Immissionsmessungen wurden vom LfU im Rahmen der lufthygienischen Überwachung in 2021 an 20 LÜB-Messstationen Staubbiederschlagsmessungen nach dem Bergerhoff-Verfahren [10] durchgeführt. Zusätzlich wird zur Bestimmung der Hintergrundbelastung der Staubbiederschlag an sieben Standorten der immissionsökologischen Dauerbeobachtung gemessen. Damit kann im Rahmen der Umweltbeobachtung bei Analyse von Langzeitbetrachtungen ein Belastungstrend oder der Erfolg von Minderungsmaßnahmen erkannt werden.

5.1 Erläuterung

5.1.1 Allgemeines

Bei der Staubbiedepositionsmessung werden genormte Becher mit einem definierten Öffnungsquerschnitt circa vier Wochen lang im Freien exponiert. Alle Partikel, die in Luft absinken („deponieren“) und innerhalb des Öffnungsquerschnitts in den Becher gelangen (auch Niederschlag wie Regen und Schnee), werden damit erfasst. Eine Kontrolle der Messstelle erfolgt in diesem Zeitraum nicht. Daher ist dieses Messverfahren zufälligen oder gewollten Verunreinigungen (Blätter, Vogelkot, Vandalismus) stärker ausgesetzt als z. B. die Messung der Feinstaubfraktion PM₁₀ in der Umgebungsluft. Am Ende des Expositionszeitraums werden erkennbare Verunreinigungen vor der Laboranalyse entfernt bzw. verunreinigte Proben nicht ausgewertet. Proben mit Verunreinigungen, die sich optisch nicht erkennen lassen, durchlaufen die übliche Laboranalyse und Auswertung.

Die Staubbiedepositionswerte (Staubbiederschlag) repräsentieren somit die Menge an Partikeln in der Umgebungsluft, die auf dem Boden bzw. auf waagrechten Oberflächen abgelagert wird. Sie geben nicht die Staubbiedelastung der Atemluft wieder, da die Deposition von Staub auch grobe und sehr grobe Partikel enthalten kann, die nicht einatembar sind. In der Atemluft sind grobe Partikel nicht enthalten; dafür können auch sehr feine Partikel (z. B. ultrafeine Partikel < 0,1 µm Durchmesser) eingeatmet werden, die bei der Staubbiedeposition praktisch keine Rolle spielen.

Depositionswerte werden angegeben in mg/(m² × d) bzw. µg/(m² × d) (Milligramm pro Quadratmeter und Tag bzw. Mikrogramm pro Quadratmeter und Tag). Dies bedeutet, dass auf einer Fläche von einem Quadratmeter jeden Tag durchschnittlich die angegebene Masse an Staub oder an Staubbiedehaltsstoffen abgelagert wird. Die Angaben sind als Mittelwert über einen Monat zu verstehen. Möchte man die über einen ganzen Monat abgelagerte Masse wissen, sind die Angaben mg/(m² × d) bzw. µg/(m² × d) mit der Anzahl der Tage des betreffenden Monats zu multiplizieren.

5.1.2 Analytik der Inhaltsstoffe

Die Staubbiederschlagsproben werden nach der Wägung auf ihren Gehalt an Metallen untersucht. Der Fokus liegt im Bereich der toxikologisch relevanten Spurenmetalle und umfasst die Elemente Aluminium, Antimon, Arsen, Barium, Blei, Cadmium, Cer, Chrom, Eisen, Kobalt, Kupfer, Lanthan, Mangan, Molybdän, Nickel, Niob, Thallium, Titan, Vanadium, Wismut, Zink und Zinn. In der TA Luft [17] sind Immissionswerte für Staubbiederschlag sowie für die untersuchten Elemente Arsen, Blei, Cadmium, Nickel und Thallium als Bestandteil des Staubbiederschlags festgelegt. Die 39. BImSchV [3] liefert keine Beurteilungskenngrößen für die Deposition von Gesamtstaub oder seiner Inhaltsstoffe.

5.1.3 Wiederfindungsraten

Meist liegen die interessierenden Stoffe in den Staubbiedeproben nicht in Reinform (Element), sondern als chemische Verbindung mit Sauerstoff (z. B. Oxide) oder anderen Elementen vor. Die Proben müssen für den möglichst quantitativen Nachweis der Inhaltsstoffe daher einem Säureaufschluss (DIN EN 15841 [31]) unterzogen werden. Trotz des Säureaufschlusses können bei einigen Metallen die Verbin-

dungen des Metalls nicht vollständig in Lösung gebracht werden. Der Anteil, der gelöst und dann analysiert werden kann, wird als Wiederfindungsrate bezeichnet. Die Wiederfindungsrate z. B. von Aluminium liegt mit dem seit dem Jahr 2011 eingesetzten Verfahren bei circa 70 %; das heißt, von dem als Metall oder als chemische Verbindung in der Probe vorhandenen Aluminium lassen sich ungefähr 70 % nachweisen. Das Verfahren, das vor dem Jahr 2011 angewandt wurde, lieferte deutlich geringere Wiederfindungsraten und damit niedrigere Analysenergebnisse. Daher ist bei den Werten für Aluminium und einigen anderen Inhaltsstoffen seit 2011 ein Anstieg zu beobachten, der größtenteils auf die verbesserte Wiederfindungsrate zurückzuführen ist. Die Wiederfindungsrate hängt von den in der Staubprobe enthaltenen Verbindungen des jeweiligen Metalls und von der Staubzusammensetzung ab und kann deshalb schwanken. Aus diesem Grund werden die Metallgehalte nicht von z. B. 70 % auf insgesamt 100 % hochgerechnet. Auch wenn bestimmte Metalle nicht vollständig erfasst werden, können die Gehalte doch Anhaltspunkte auf mögliche Verursacher liefern. Die Analysenergebnisse für Titan werden aufgrund der geringen Wiederfindungsraten nicht veröffentlicht. Bei der Betrachtung und Interpretation von langjährigen Zeitreihen muss die verbesserte Wiederfindungsrate seit dem Jahr 2011 berücksichtigt werden. Auf die Gesamtstaubmenge hat die verbesserte Aufschlussmethode keine Auswirkungen.

5.1.4 Quelle der Inhaltsstoffe, Ausreißer

Bei der angewandten Analysenmethode kann nicht unterschieden werden, ob ein Metall als Element oder als Verbindung in der Staubprobe vorliegt. Die Messmethode kann auch nicht zwischen natürlichen und anthropogenen Quellen unterscheiden. Von Bedeutung ist, dass die beiden Elemente Aluminium und Eisen nach Sauerstoff und Silizium die häufigsten Elemente der Erdkruste darstellen und relativ hohe Gehalte z. B. in Mineralstaub (Feldspat, Tonmineralien) aufweisen.

Bei bestimmten Metallen (z. B. Barium und Aluminium) ergeben sich regelmäßig deutlich erhöhte Gehalte bei Proben, die über Silvester/Neujahr exponiert waren und anteilig sowohl im Dezember- als auch im Januarmittelwert einfließen. Ursache ist das Silvesterfeuerwerk; in den Treib- und Explosivsätzen werden diese Metalle bevorzugt eingesetzt. Auch nahe gelegene Baustellen oder Straßenbahnlinien (Abrieb von Schienen und Stromabnehmern der Oberleitung) können die Messwerte deutlich ansteigen lassen. Erfahrungsgemäß treten im Herbst erhöhte Manganwerte auf, wenn die Proben durch Laub verunreinigt waren. Für weitere Informationen zur Kommentierung deutlich erhöhter Werte siehe Kapitel 5.2.

5.1.5 Bestimmungsgrenzen

Sowohl das Messverfahren nach Bergerhoff [10] als auch die Inhaltsstoffanalytik haben Bestimmungsgrenzen, unterhalb derer die Angabe eines sicheren Depositionswertes nicht mehr möglich ist. In diesem Fall wird als Messergebnis der Wert der jeweiligen Bestimmungsgrenze mit vorangestelltem „<“-Zeichen angegeben. Liegt ein Probenergebnis unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze, fließt der halbe Wert der Bestimmungsgrenze in die Berechnung der Monats- und Jahresmittelwerte ein.

5.2 Messergebnisse

Die aus praktischen Gründen meist vom exakten Monatsintervall abweichenden Expositionszeiträume werden aus Gründen der Vergleichbarkeit auf den Tag genau auf Monatsmittelwerte umgerechnet. Die Jahresmittelwerte werden aus den Einzelproben entsprechend ihrer Expositionszeiträume im Auswertejahr berechnet. Die Mindestdatenverfügbarkeit zur Angabe eines Monats- bzw. Jahresmittelwerts wird mit 75 % angesetzt.

Die in Tabellenform dargestellten Messergebnisse des Auswertejahrs werden vor der Veröffentlichung anhand geeigneter Grafiken auf Auffälligkeiten hin überprüft. Des Weiteren wird der Einfluss jedes einzelnen Probenwerts auf den Jahresmittelwert (Faktor aus $\frac{\text{Jahresmittelwert}}{\text{Mittelwert ohne Einzelprobe}}$) berechnet. Einzelwerte, die zu mindestens einer Verdopplung des Jahresmittelwerts führen,

werden als „extreme Erhöhung“ kommentiert. Ab etwa einem Faktor 1,5 wird – auch in Abhängigkeit des Jahresgangs und des Verlaufs anderer Stoffe am gleichen Standort – auf erhöhte Werte hingewiesen. Sollten darüber hinaus Informationen zu möglichen Quellen oder Ursachen vorliegen, werden diese bei der Kommentierung mit angegeben (z. B. Silvesterfeuerwerk, Laubeintrag, bekannte Baustelle usw.). Betroffene Werte werden nicht entfernt und fließen damit auch in den Jahresmittelwert ein. An einzelnen Standorten werden Referenzproben gesammelt, die auch zur Plausibilisierung des Messergebnisses herangezogen werden. Ergibt sich daraus ein Hinweis auf eine Verunreinigung der primären Probenahme, kann auf den Referenzwert zurückgegriffen werden. Eine weitere Plausibilitätsprüfung der Analysenergebnisse erfolgt nicht.

Verglichen mit der Gesamtzahl der Messergebnisse treten auffällige Werte sehr selten auf. Wenn einzelne Probenergebnisse fehlen, liegt der Grund bedingt durch das triviale Probenahmeverfahren meist in einer Verunreinigung der Probe oder einer Beschädigung des Sammelgefäßes/Bechers, wodurch eine aussagekräftige Ermittlung der Deposition anhand des verbliebenen Inhalts nicht mehr möglich ist. Im Winter kommt es beispielsweise häufig zu Frostbruch.

Für Gesamtstaubbiederschlag und seine Inhaltsstoffe mit Immissionswerten in der TA Luft [17] werden im Folgenden die höchsten Belastungen der Staubbiederschlagsmessungen im LÜB-Messnetz kurz zusammengefasst.

Eine ausführliche Auswertung und Dokumentation der Messergebnisse in Form von tabellarisch dargestellten Jahresmittel- und Monatsmittelwerten inklusive der Ergebnisse der Hintergrundmessstationen der immissionsökologischen Dauerbeobachtung wird nach Veröffentlichung des Lufthygienischen Jahresberichts 2021 fertiggestellt und anschließend im Internet unter der Rubrik Auswertungen -> Weitere Auswertungen -> Staubbiederschlag und Inhaltsstoffe -> 2021 [29] veröffentlicht.

5.2.1 Gesamtstaubbiederschlag

Die Staubbiederschlagsbelastung bleibt an den meisten Messstandorten deutlich unter dem Immissionswert der TA Luft [17] von $0,35 \text{ g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$. Die höchsten Werte wurden an den verkehrsbelasteten LÜB-Messstationen München/Stachus mit $0,212 \text{ g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$, München/Landshuter Allee mit $0,170 \text{ g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ und Augsburg/Königsplatz mit $0,131 \text{ g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ gemessen. Nach Stationskategorie klassifiziert bewegt sich die Deposition (jeweils ohne höchsten und niedrigsten Wert) in folgenden Bandbreiten: an Verkehrsmessstationen zwischen $68 \text{ mg}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ und $170 \text{ mg}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ und im städtischen/vorstädtischen Hintergrund zwischen $46 \text{ mg}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ und $76 \text{ mg}/(\text{m}^2 \times \text{d})$. Die Depositionen an den beiden LÜB-Messstationen im ländlichen Hintergrund liegen bei $36 \text{ mg}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ und $44 \text{ mg}/(\text{m}^2 \times \text{d})$.

5.2.2 Inhaltsstoffe im Staubbiederschlag

Für die analysierten Inhaltsstoffe im Staubbiederschlag liegen die Jahresmittelwerte der LÜB-Messstationen verglichen mit den in der TA Luft [17] angegebenen Werten (Arsen, Blei, Cadmium, Nickel, Thallium) in der Regel deutlich unter den Immissionswerten. An der LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz wird fortlaufend aufgrund der wenige Meter neben der Messstation vorbeiführenden Straßenbahnlinien der Stadt Augsburg die mit Abstand zu den anderen Messstellen höchste Nickeldeposition gemessen. Im Jahr 2021 liegt die ermittelte Deposition bei $11,5 \text{ } \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$. Der Immissionswert der TA Luft beträgt $15 \text{ } \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ [17]. Während des Umbaus des Königsplatzes vom Frühjahr 2012 bis Ende 2013 war der Straßenbahnverkehr eingestellt. Die Nickeldeposition nahm in dieser Zeit deutlich ab.

6 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Übersicht der bayerischen Luftmessstationen (Sortierung nach Gebiet, Stationstyp und Stationsname)	8
Tab. 2:	Bestückungsliste der Luftmessstationen	10
Tab. 3:	Eingesetzte Messverfahren und -geräte im Luftmessnetz	12
Tab. 4:	Grenzwerte (GW), Informationsschwelle, Alarmschwellen, Zielwerte (ZW) und kritische Werte (KW) der 39. BImSchV [3]	14
Tab. 5:	Immissions-, Leit-, Schwellen-, Grenzwerte und kritischer Wert für Schwefeldioxid	15
Tab. 6:	Immissions-, Richt-, Leit-, Schwellen- und Grenzwerte für Stickstoffdioxid	15
Tab. 7:	Immissionswert und kritischer Wert für Stickstoffoxide	16
Tab. 8:	Grenzwert und Leitwerte für Kohlenmonoxid	16
Tab. 9:	Grenz- und Immissionswert für Benzol	16
Tab. 10:	Leitwert für Toluol	16
Tab. 11:	Grenz-, Ziel- und Leitwert(e) für Feinstaub PM_{2,5}	16
Tab. 12:	Immissions-, Grenz- und Leitwerte für Feinstaub PM₁₀	17
Tab. 13:	Ziel-, Richt-, Leit-, und Schwellenwerte für Ozon	17
Tab. 14:	Ziel- und Leitwerte (bezogen auf ein Kalenderjahr) für Stoffe als Gesamtgehalt in der PM₁₀-Fraktion nach 39. BImSchV [3]	18
Tab. 15:	Immissionswerte (bezogen auf ein Kalenderjahr) für Staubniederschlag und Inhaltsstoffe nach TA Luft [17]. Anmerkung: Es sind nur Werte von Inhaltsstoffen aufgeführt, für die auch Analysen erfolgen.	18
Tab. 16:	Kurzübersicht der Beurteilungskenngrößen mit Bezugszeiträumen, Einheiten und Paragrafen der 39. BImSchV [3] für Stickstoffdioxid (NO ₂), Feinstaub (PM ₁₀ und PM _{2,5}), Benzol (BZL), Kohlenmonoxid (CO) und Ozon (O ₃) zur Bewertung der Ergebnisse in Tab. 17	19
Tab. 17:	Immissionskenngrößen für das Jahr 2021 sortiert nach BA/Gebiet und Stationstyp – bei Jahresmittelwerten (JMW) Einheit in µg/m ³ , bei AOT40 Einheit in (µg/m ³) × h, bei Überschreitungshäufigkeiten (ÜS) Anzahl und bei CO Einheit in mg/m ³	20
Tab. 18:	Immissionskenngrößen für das Jahr 2021 sortiert nach BA/Gebiet und Stationstyp – Jahresmittelwerte der Inhaltsstoffe Blei (Pb), Arsen (As), Cadmium (Cd), Nickel (Ni) und Benzo[a]pyren (B[a]P) in der PM ₁₀ -Fraktion. In der Klammer nach dem Stoffkürzel ist für Blei der Grenzwert (Einheit µg/m ³) ansonsten der Zielwert (Einheit ng/m ³) angegeben.	22
Tab. 19:	Zielwert für Ozon zum Schutz der menschlichen Gesundheit 2019 – 2021. Anzahl der Überschreitungen des höchsten 8-Stundenmittelwerts eines Tages von > 120 µg/m ³ , gemittelt über drei Kalenderjahre (sortiert nach Stationstyp)	34
Tab. 20:	Zielwert für Ozon zum Schutz der Vegetation 2017 – 2021. AOT40 in µg/m ³ × h, gemittelt über fünf Kalenderjahre (sortiert nach Stationstyp)	35

7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Karte mit den Messstationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB)	7
Abb. 2:	Stickstoffmonoxid (NO) – Jahresmittelwerte (absteigend sortiert)	24
Abb. 3:	Stickstoffdioxid (NO ₂) – Jahresmittelwerte (absteigend sortiert); die rote Linie markiert den Grenzwert der 39. BImSchV [3] von 40 µg/m ³ .	25
Abb. 4:	Feinstaub PM ₁₀ – Jahresmittelwerte (absteigend sortiert); die rote Linie markiert den Grenzwert der 39. BImSchV [3] von 40 µg/m ³ .	27
Abb. 5:	Feinstaub PM ₁₀ – Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwerts von 50 µg/m ³ (absteigend sortiert nach dem Jahresmittelwert, vergleiche Abb. 4); die rote Linie markiert die maximal zulässige Überschreitungsanzahl von 35 Tagen.	28
Abb. 6:	Feinstaub PM _{2,5} – Jahresmittelwerte (absteigend sortiert); die rote Linie markiert den Grenzwert der 39. BImSchV [3] von 25 µg/m ³ .	29
Abb. 7:	Ozon (O ₃) – Jahresmittelwerte (absteigend sortiert). Für den Jahresmittelwert liegt kein Beurteilungswert vor.	31
Abb. 8:	Ozon (O ₃) – Anzahl der Tage mit Überschreitung des maximalen 8-Stundenmittelwerts (im Kalenderjahr, absteigend sortiert nach dem Jahresmittelwert entsprechend Abb. 7). Die Ozonmessung an der verkehrsnahen Station München/Stachus (Balken lila eingefärbt) ist nicht für die Beurteilung vorgesehen und dient Zwecken der Qualitätssicherung und Ursachenforschung.	32
Abb. 9:	Ozon (O ₃) – AOT40 (im Kalenderjahr, absteigend sortiert nach dem Jahresmittelwert, vergleiche Abb. 7). Die Messstationen mit grau eingefärbten Wertebalken liegen im städtischen Hintergrund (Tab. 1) und sind nach der 39. BImSchV [3] nicht für die Beurteilung zum Schutz der Vegetation vorgesehen. Die Ozonmessung an der verkehrsnahen Station München/Stachus (Balken lila eingefärbt) ist nicht für die Beurteilung vorgesehen und dient Zwecken der Qualitätssicherung und Ursachenforschung.	33
Abb. 10:	Kohlenmonoxid (CO) – Jahresmittelwerte (dunkelblau) und maximaler 8-Stundenmittelwert (hellblau) absteigend sortiert nach dem Jahresmittelwert; nicht enthalten ist aus Darstellungsgründen eine Markierung für den Grenzwert des maximalen 8-Stundenmittelwerts von 10 mg/m ³ nach der 39. BImSchV [3], der dem fünffachen der Länge der Abszisse entspricht.	36
Abb. 11:	Stickstoffdioxid (NO ₂) – Entwicklung der Belastung in den Belastungsniveaus verkehrsorientierter (ST VK / LA-ST VK), städtischer (ST HG), vorstädtischer (STV HG) und ländlicher Messstationen (LA-R HG). Vergleiche Tab. 1, S. 8, zur Erläuterung der Abkürzungen.	42
Abb. 12:	Feinstaub PM ₁₀ – Entwicklung der Belastung in den Belastungsniveaus verkehrsorientierter (ST VK / LA-ST VK), städtischer (ST HG), vorstädtischer (STV HG) und ländlicher Messstationen (LA-R HG). Vergleiche Tab. 1, S. 8, zur Erläuterung der Abkürzungen.	42

8 Literaturverzeichnis

- [1] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Immissionsmessungen > Lufthygienische Berichte > Lufthygienische Jahreskurzberichte > 2021
https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/lufthygienische_berichte/doc/jahreskurzberichte/jk21.pdf
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Messwertarchiv
<https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/messwertarchiv/index.htm>
- [3] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) vom 2. August 2010.
BGBl. I (2010) 40, S. 1065–1104.
Zuletzt geändert durch Artikel 122 der Elften Zuständigkeitsanpassungsverordnung vom 19. Juni 2020.
BGBl. I (2020) 29, S. 1328–1370
- [4] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013.
BGBl. I (2013) 25, S. 1274–1311.
Zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes zur Anpassung des Produktsicherheitsgesetzes und zur Neuordnung des Rechts der überwachungsbedürftigen Anlagen vom 27. Juli 2021.
BGBl. I (2021) 49, S. 3146–3175
- [5] 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.
ABl. L 23 vom 26.01.2005, S. 3–16
- [6] RICHTLINIE 2001/81/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe.
ABl. L 309 vom 27.11.2001, S. 22–30
- [7] Bayerisches Immissionsschutzgesetz (BayImSchG) vom 10. Dezember 2019.
GVBl. (2019) 22, S. 686–690.
Zuletzt geändert durch § 1 des Gesetzes zur Änderung des Bayerischen Immissionsschutzgesetzes und weiterer Rechtsvorschriften vom 25. Mai 2021.
GVBl. (2021) 10, S. 286–287
- [8] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB
<https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/index.htm>
- [9] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Immissionsmessungen LÜB – Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – Weiterführende Informationen > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB) – PDF <https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/doc/lueb.pdf>
- [10] VDI 4320 Blatt 2. Messung atmosphärischer Depositionen – Bestimmung des Staubniederschlags nach der Bergerhoff-Methode.
Beuth-Verlag, Januar 2012, 23 S.

- [11] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Auswertungen > Weitere Auswertungen > Windrosen > 2021.
https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/auswertungen/weitere/doc/windrosen_2021.pdf
- [12] DIN EN 14902. Außenluftbeschaffenheit – Standardisierte Verfahren zur Bestimmung von Pb/Cd/As/Ni als Bestandteil der PM₁₀-Fraktion des Schwebstaubes.
Beuth-Verlag, Berlin, Oktober 2005, 56 S.
- [13] DIN EN 14902. Berichtigung 1: Außenluftbeschaffenheit – Standardisierte Verfahren zur Bestimmung von Pb/Cd/As/Ni als Bestandteil der PM₁₀-Fraktion des Schwebstaubes.
Beuth-Verlag, Berlin, Januar 2007, 2 S.
- [14] DIN EN 15549. Luftbeschaffenheit – Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Benzo[a]pyren in Luft.
Beuth-Verlag, Berlin, Januar 2008, 53 S.
- [15] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Aktuelle Messwerte
<https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/messwerte/index.htm>
- [16] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Immissionsmessungen LÜB – Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – Weiterführende Informationen > Bekanntgabe von Luftmesswerten – PDF
<https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/doc/messwertbekanntgabe.pdf>
- [17] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft 2021 – TA Luft 2021) vom 18. August 2021.
GMBI. (2021) 48–54, S. 1050
- [18] VDI 2310 Blatt 12. Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen – Maximale Immissions-Konzentrationen für Stickstoffdioxid.
Beuth-Verlag, Berlin, Dezember 2004, 44 S.
- [19] VDI 2310 Blatt 15. Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen – Maximale Immissions-Konzentrationen für Ozon.
Beuth-Verlag, Berlin, Dezember 2001, 72 S.
- [20] World Health Organization, WHO European Centre for Environment & Health
WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide., 2021, 290 S.
- [21] World Health Organization (2000), Air Quality Guidelines - Second Edition. In: 14 Toluene. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Kapitel 5
- [22] VDI 3956 Blatt 3. Ermittlung von Maximalen Immissions-Werten für Böden – Maximale Immissions-Raten (MIR) – Ableitung niederschlagsbegrenzender Werte für Nickel.
Beuth-Verlag, Berlin, August 2005, 18 S.
- [23] DIN EN 14662-4: Luftbeschaffenheit – Standardverfahren zur Bestimmung von Benzolkonzentrationen – Teil 4: Diffusionsprobenahme mit anschließender Thermodesorption und Gaschromatographie.
Beuth-Verlag, Berlin, August 2005, 33 S.
- [24] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Lufthygienische Berichte > Lufthygienische Jahreskurzberichte > 2021.
https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/lufthygienische_berichte/doc/jahreskurzberichte/jk21.pdf

- [25] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Immissionsmessungen LÜB – Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – Weiterführende Informationen > Faktenblatt Ozon – PDF.
<https://www.lfu.bayern.de/luft/doc/ozoninfo.pdf>
- [26] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Auswertungen > Weitere Auswertungen > BTX-Passivsammler > 2021.
https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/auswertungen/weitere/doc/btx_passiv-sammlerergebnisse_2021.pdf
- [27] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Auswertungen > Weitere Auswertungen > PM₁₀-Inhaltsstoffe > 2021.
https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/auswertungen/weitere/doc/pm10_inhaltsstoffe_2021.pdf
- [28] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Auswertungen > Langzeitverläufe
<https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/auswertungen/langzeitverlaeufe/index.htm>
- [29] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Auswertungen > Staubniederschlag und Inhaltsstoffe > 2021.
- [30] Bayerisches Landesamt für Umwelt:
Startseite > Themen > Luft > Luftreinhaltung > Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern – LÜB > Lufthygienische Berichte > Lufthygienische Jahresberichte > 2020
https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_luft_00211.htm
- [31] DIN EN 15841, Luftbeschaffenheit – Messverfahren zur Bestimmung von Arsen, Cadmium, Blei und Nickel in atmosphärischer Deposition.
Beuth-Verlag, Berlin, April 2010, 32 S.



Eine Behörde im Geschäftsbereich
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

