



Luftbilanz 2020

**Resultate der
Flächendeckenden
Messkampagne**



Inhaltsverzeichnis

Impressum

Herausgeberin

Stadt Zürich
Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ)
Umwelt/Luftqualität
Messung Luftqualität
Eggbühlstrasse 23
8050 Zürich

stadt-zuerich.ch/luft

Redaktion

Markus Scheller, wissenschaftlicher Mitarbeiter
Barbara Siegfried, Analytische Chemikerin
Messung Luftqualität

Sachbearbeitung

Markus Scheller, wissenschaftlicher Mitarbeiter
Barbara Siegfried, analytische Chemikerin
Elodie Gillich, analytische Chemikerin
Thomas von Allmen, wissenschaftlicher Mitarbeiter
Noël Rederlechner, wissenschaftlicher Mitarbeiter

Titelfoto

© Yunus Harmanci – stock.adobe.com

Grafik

Züriblau, Geomatik und Vermessung, Stadt Zürich

Vorwort	4
1 Zusammenfassung	6
2 Glossar	10
3 Einleitung	12
4 Messprogramm	14
5 Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Luftqualität	18
6 Luftschadstoffe und Luftbelastung	22
6.1 Stickoxide	23
6.2 Ozon	27
6.3 Staub	30
6.4 Flüchtige organische Verbindungen	41
6.5 Kohlenmonoxid	44
6.6 Schwefeldioxid	45
7 Projektmessungen	48
7.1 Manessestrasse: Ein Hot-Spot der Luftbelastung in der Stadt Zürich	49
7.2 Autobahneinhausung Schwamendingen	50
8 Ausblick	54
9 Literatur	58
Anhang	62
A1 Immissions-Grenzwerte der LRV	63
A2 Messorte und Luftschadstoffparameter 2020	64
A3 Eingesetzte Messverfahren	68
A4 NO ₂ -Passivsammler-Messwerte 2020	69
A5 Schwermetallgehalte im Staubniederschlag	71
A6 Quantifizierte VOCs und deren Quellen	72
A7 Messunsicherheiten	73
A7.1 Ozon-Messungen	73
A7.3 Feinstaub PM10 und PM2.5	74
A7.4 Russ (TOT/EUSAAR und Reflexion)	74
A7.5 VOC	74
A7.6 Metallanalytik, Ionen (Salze), Ultrafeine Partikel	74

«Durchatmen», «frische Luft schnappen», endlich wieder «frei atmen» können! Saubere Luft ist eine der wichtigsten Grundlagen für Gesundheit und Wohlbefinden. Durch breit angelegte Massnahmen verbessert sich die Luft in der Stadt Zürich stetig. Diese Verbesserungen sind erfreulich – aber noch nicht ausreichend. Die Herausforderungen der Luftreinhaltung im urbanen Raum sind nach wie vor gross: Die Stadt wächst ebenso wie das Bedürfnis nach Mobilität. Der fortschreitende Klimawandel begünstigt die Entstehung von sommerlichen Smogphasen, in denen die Schadstoffkonzentration ansteigt. Nicht zuletzt sind wir mit neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen konfrontiert. Sie zeigen auf, dass Schadstoffe den Körper noch stärker belasten als bisher angenommen. Für die Stadt Zürich bleibt die Luftreinhaltung deshalb ein zentrales Thema. Mit einem dichten Netz von Messstationen überwacht und beurteilt der gleichnamige Fachbereich die Luftqualität im Dauerbetrieb. Für eine noch differenziertere Beurteilung führen die Experten alle vier Jahre flächendeckende Untersuchungen mit einem verdichteten Messnetz durch. Der vorliegende Bericht bildet die Daten ab und erklärt die daraus gewonnenen Erkenntnisse. Diese dienen als Grundlage für die Weiterentwicklung der Massnahmen zur Luftreinhaltung in der Stadt Zürich.

Rainer Zah

Leiter Geschäftsbereich Umwelt
Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich

Amewu Antoinette Mensah

Leiterin Fachbereich Luftqualität
Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich

1

Zusammenfassung

Der Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ) führt seit Anfang der 80er Jahre alle vier Jahre flächendeckende Messkampagnen zur Erfassung der Luftqualität in der Stadt Zürich durch. Gemessen wird die Immission, also die Schadstoffkonzentration in der Luft, die auf Mensch, Tier und Umwelt einwirkt. Der vorliegende Bericht präsentiert die Ergebnisse der Messkampagne 2020. Diese Ergebnisse ermöglichen einen umfassenden Überblick über die aktuelle Belastung und zeigen die Wirkung von Massnahmen zur Emissionsminderung auf. Die Resultate verdeutlichen aber auch, dass weiterhin Handlungsbedarf besteht.

Luftschadstoffe haben negative Auswirkungen auf die Gesundheit und verursachen hohe Kosten. Im urbanen Umfeld werden Luftschadstoffe in unmittelbarer Nähe der zu schützenden Wohnbevölkerung emittiert. Ein hohes Verkehrsaufkommen trifft in den Städten auf dicht bebaute Gebiete und eine grosse Anzahl an Einwohnenden. Die Städte sind somit besonders von den Folgen der Luftverschmutzung betroffen. Allein in der Stadt Zürich belaufen sich die Gesundheitskosten pro Jahr, gemäss einer aktuellen Studie, auf ca. 1.4 Mia. Franken [1]. Die Städte sind wichtige Akteure, wenn es um die Festlegung und Umsetzung von Massnahmen geht. Ausserdem zeigen in Städten aktuelle Entwicklungen, wie etwa die Coronapandemie, ihre Auswirkungen besonders deutlich auf.

Pandemie schafft «Reallabor»: Ein Drittel weniger Verkehr

Das Jahr 2020 war geprägt durch die Coronamassnahmen. Dadurch entstand eine Art Reallabor, das Einblicke in eine Situation mit massiv reduziertem Verkehr ermöglichte. Das Verkehrsaufkommen an den Messstationen nahm aufgrund von Lockdown und Home-Office-Pflicht zeitweise um fast ein Drittel ab. Dies hatte einen deutlichen Einfluss auf die Belastung mit Stickoxiden an verkehrsexponierten Standorten: So fiel die Stickoxid-Konzentration an der Rosengartenstrasse während des Lockdowns durchschnittlich um 43 % und war über das ganze Jahr um 26 % tiefer als im Vergleichszeitraum. Beim giftigen Stickstoffdioxid lagen die Jahresmittelwerte an den verkehrsexponierten Standorten der Stadt Zürich zudem wesentlich tiefer, als dies aus dem langjährigen Trend und den meteorologischen Schwankungen erwartet werden konnte. Die erhobenen Daten zeigen eindrücklich den Einfluss, den eine Verkehrsreduktion auf die Luftbelastung mit Stickoxiden an verkehrsbelasteten Standorten haben kann.

Überschreitungen trotz starker Verbesserungen

Seit rund 40 Jahren bemüht sich die Schweiz intensiv um die Luftreinhaltung. In der Stadt Zürich hat sich die Luftqualität seither stark verbessert (Tabelle 1). Bei verschiedenen Luftschadstoffen, wie z. B. Kohlenmonoxid oder Schwefeldioxid können die Grenzwerte dank einer Vielzahl von realisierten Massnahmen seit drei Jahrzehnten deutlich eingehalten werden. Für andere Schadstoffe werden die Grenzwerte der Luftreinhalteverordnung (LRV) teilweise auch heute noch überschritten. Dies ist insbesondere für Stickstoffdioxid, Ozon und Feinstaub PM2.5 der Fall.

Die Belastung durch Stickstoffdioxid ist stark geprägt von den lokalen Emissionen und nimmt mit steigender Distanz zu den Quellen rasch ab. Dementsprechend treten Grenzwertüberschreitungen in der Stadt Zürich hauptsächlich an stark befahrenen Verkehrsachsen auf. Trifft hohes Verkehrsaufkommen auf weitere, für die Luftqualität ungünstige Faktoren wie Stausituationen oder Beschleunigungsstrecken, können Überschreitungen bis zum Doppelten des Grenzwertes festgestellt werden. Die hohen Belastungen treten zwar relativ lokal auf, doch handelt es sich bei den betroffenen Gebieten häufig um dicht bebaute Quartiere. Somit ist ein wesentlicher Anteil der Wohnbevölkerung übermässigen Immissionen ausgesetzt.

Die Feinstaubgrenzwerte werden bei PM10 nur noch selten überschritten. Anders sieht es bei PM2.5 aus: An stark verkehrsbelasteten Standorten liegt die Konzentration über dem Grenzwert. Die Belastung mit dem krebserregenden Feinstaub-Bestandteil Russ liegt praktisch auf dem ganzen Stadtgebiet oberhalb der von des Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene empfohlenen Richtwerts.

Auch die Ozonbelastung im Sommer ist weiterhin wesentlich zu hoch. Trotz Abnahme der Maximalbelastung und sinkendem Trend kam es im Sommer 2020 an der Messstation Stampfenbachstrasse zu 124 Grenzwertüberschreitungen. Dies, obwohl der

Sommer 2020 mit 14 Hitzetagen nicht aussergewöhnlich heiss war – 13 Hitzetage beträgt der Durchschnitt der letzten 20 Jahre.

Sowohl beim Feinstaub, als auch beim Ozon spielen Belastungen, die von ausserhalb in die Stadt gelangen, eine wesentliche Rolle. Soll die Schadstoffbelastung in der Stadt effektiv reduziert werden, müssen somit neben der wichtigen lokalen Emissionsminderung auch die nationalen und internationalen Schadstoffausstösse reduziert werden.

WHO empfiehlt neu deutlich tiefere Grenzwerte

Basierend auf neuen Erkenntnissen zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen hat die World Health Organization (WHO) im Jahr 2021 neue Empfehlungen zur Luftqualität publiziert. Für die meisten Schadstoffe wurden die Richtwerte stark gesenkt, da nun mit Sicherheit feststeht, dass Schadstoffkonzentrationen unter den bisherigen Grenzwerten negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Beurteilt man die aktuelle Situation in der Stadt Zürich gemäss dieser Leitlinie, ist praktisch die gesamte Bevölkerung von wesentlich zu hohen Konzentrationen an Stickstoffdioxid und PM2.5 betroffen.

Die WHO Richtlinien sind nicht Teil der Schweizer Gesetzgebung, bilden aber eine wichtige Grundlage für nationale Gremien und politische Entscheidungsträger. Bisher standen die schweizerischen Immissionsgrenzwerte im Einklang mit den Empfehlungen der WHO. In der Vergangenheit flossen deshalb die WHO-Empfehlungen grösstenteils in die LRV ein.

Die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) befasst sich aktuell mit den neuen WHO Richtlinien und wird dem Bundesrat in einem Evaluationsbericht ihre Schlussfolgerungen und Vorschläge unterbreiten. Es ist davon auszugehen, dass diese neuen Richtlinien einen starken Einfluss auf die schweizerischen Immissionsgrenzwerte haben werden.

Luftreinhaltung und Klimaschutz

Der fortschreitende Klimawandel ist eine der grossen Herausforderungen unserer Gesellschaft. Luftschadstoffe und Klima beeinflussen sich gegenseitig in vielfältiger Weise. Schadstoffe können sowohl wärmende (z. B. Ozon, Russ) als auch kühlende Wirkungen (Schwefeldioxid) auf das Klima haben. Luftschadstoffe und Klimagase stammen oft aus denselben Quellen. Viele Massnahmen, wie z. B. eine Reduktion des motorisierten Strassenverkehrs oder die Senkung des Heizbedarfs von Gebäuden, sind somit gut für Luftqualität und Klima. Nicht immer aber gehen Luftqualität und Klima automatisch Hand in Hand: So emittieren beispielsweise Holzheizungen als erneuerbare Energiequelle mehr Feinstaub als Öl- und Gasheizungen. Die Herausforderung für die Zukunft besteht darin, bei der Umsetzung von Massnahmen die Synergien zwischen Luftqualität und Klimaneutralität bestmöglich zu nutzen.

Tabelle 1: Vergleich der LRV-Grenzwert-Überschreitungen zwischen 1986 und 2020. Grün: Grenzwerte flächendeckend eingehalten, Gelb: Grenzwert selten oder an wenigen Orten überschritten, Rot: Grenzwerte häufiger überschritten.

	Parameter	Grenzwert	1986	2020
Schwefeldioxid (SO₂)	Jahresmittelwert	30 µg/m ³	☹	☺
	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres	100 µg/m ³	☹	☺
	Anz. Tagesmittelwerte > 100 µg/m ³	1	☹	☺
Stickstoffdioxid (NO₂)	Jahresmittelwert	30 µg/m ³	☹	☹
	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres	100 µg/m ³	☹	☺
	Anz. Tagesmittelwerte > 80 µg/m ³	1	☹	☺
Kohlenmonoxid (CO)	Tagesmittelwert, max. 1 Überschreit. im Jahr	8 mg/m ³	☺	☺
Ozon (O₃)	98 % der ½-h-Mittelwerte eines Monats	100 µg/m ³	☹	☹
	Anz. Stundenmittelwerte > 120 µg/m ³	1	☹	☹
Feinstaub PM10	Jahresmittelwert	20 µg/m ³	☹	☹
	Anz. Tagesmittelwerte > 50 µg/m ³	3	☹	☺
Blei (Pb) im Feinstaub PM10	Jahresmittelwert	500 ng/m ³	☹	☺
Cadmium (Cd) im Feinstaub PM10	Jahresmittelwert	1.5 ng/m ³	☹	☺
Feinstaub PM2.5	Jahresmittel	10 µg/m ³	-	☹
Staubniederschlag	Jahresmittelwert	200 mg/m ² /d	☹	☺
Blei (Pb) im Staubniederschlag	Jahresmittelwert	100 µg/m ² /d	☹	☺
Cadmium (Cd) im Staubniederschlag	Jahresmittelwert	2 µg/m ² /d	☹	☺
Zink (Zn) im Staubniederschlag	Jahresmittelwert	400 µg/m ² /d	☹	☺

2

Glossar

Al	Aluminium	PAH	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (polycyclic aromatic hydrocarbons)
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung	Pb	Blei
Ca²⁺	Calcium	PM2.5	Particulate Matter, Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤ 2.5 µm
Cl⁻	Chlorid	PM10	Particulate Matter, Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤ 10 µm
Cd	Cadmium	PNC	Partikelanzahlkonzentration
CO	Kohlenmonoxid	Sb	Antimon
Co	Kobalt	Sn	Zinn
Cr	Chrom	SO₂	Schwefeldioxid
Cu	Kupfer	SO₄²⁻	Sulfat
Cd	Cadmium	Th	Thallium
d	Tag	TSP	Gesamtschwebstaub (Total suspended particulates)
DTVs	Durchschnittlicher täglicher Verkehr mit 10facher Gewichtung LKWs	UFP	Ultrafeine Partikel
EC	elementarer Kohlenstoff	UGZ	Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich
EKL	Eidgenössische Kommission für Lufthygiene	USG	Umweltschutzgesetz
Emission	Schadstoffausstoss	UV	ultraviolett
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Materials Science and Technology)	VOC	flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds)
Fe	Eisen	WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organisation)
Fz.	Fahrzeuge	Zn	Zink
G-AAS	Graphitrohr Atomabsorptionsspektrometrie		
Immission	Schadstoffeinwirkung		
K⁺	Kalium		
kanzerogen	krebserregend		
KVA	Kehrrichtverbrennungsanlage		
LRV	Luftreinhalte-Verordnung		
mg	Milligramm (1 tausendstel Gramm)		
m²	Quadratmeter		
m³	Kubikmeter		
µg	Mikrogramm (1 millionstel Gramm)		
µm	Mikrometer (1 millionstel Meter)		
Mn	Mangan		
Mo	Molybdän		
mutagen	erbgutverändernd		
N₂	Stickstoff		
Na⁺	Natriumion		
NH₃	Ammoniak		
NH₄⁺	Ammonium		
Ni	Nickel		
nm	Nanometer (1 milliardstel Meter)		
NO	Stickstoffmonoxid		
NO₂	Stickstoffdioxid		
NO₃⁻	Nitrat		
NO_x	Stickoxide		
O₂	Sauerstoff		
O₃	Ozon		
OC	organischer Kohlenstoff (organic carbon)		
OM	organisches Material (organic matter)		

3

Einleitung

Laut einer Studie des Bundesamts für Raumentwicklung (ARE) hat die Luftverschmutzung in der Schweiz jährlich rund 2300 frühzeitige Todesfälle zur Folge [2]. Allein in der Stadt Zürich belaufen sich die Gesundheitskosten pro Jahr, gemäss einer aktuellen Studie, auf ca. 1.4 Mia. Franken [1]. Neben direkten gesundheitlichen Auswirkungen haben Luftschadstoffe auch vielfältige Auswirkungen auf die Umwelt. Sie beeinflussen die Pflanzengemeinschaften empfindlicher Ökosysteme durch ungewollte Düngung oder führen zu Ernteaussfällen. Im Regenwasser gelöst, greifen sie Gebäudefassaden an und führen zu Veränderungen im Bodenhaushalt.

Der Schutz von Mensch und Umwelt vor negativen Auswirkungen von Luftschadstoffen ist im Artikel 14 des Umweltschutzgesetzes (USG) festgehalten [3]. Gemäss USG sind Immissionsgrenzwerte so festzulegen, dass ein umfassender und nachhaltiger Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist. Die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung [4] berücksichtigen daher die gesundheitlichen Auswirkungen mit Fokus auf besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen sowie die Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen und ganze Ökosysteme.

Trotz der seit den 80er Jahren erreichten Verbesserungen in Bezug auf Luftschadstoffe, wird auch heute noch ein Teil der Grenzwerte überschritten und die Stadt Zürich bleibt ein lufthygienisches Sanierungsgebiet. Eine hohe Verkehrsdichte mit übermässigen Luftbelastungen im Bereich der Hauptverkehrsachsen steht in Konflikt mit der in den letzten Jahren stark angestiegenen, zu schützenden Wohnbevölkerung.

In städtischen Gebieten gelangen gesundheitsgefährdende Stoffe in unmittelbarer Nähe von Menschen in die Aussenluft. Die Gesundheitsbehörden der Städte tragen aus diesem Grund eine grosse Verantwortung für den Schutz der Wohn- und Arbeitsbevölkerung. Als Hauptbetroffene übermässiger Luftbelastungen sind Städte zugleich wichtige Akteure bei der Festlegung und Umsetzung von Vorschriften und Massnahmen. Die Überwachung und Bewertung der Luftqualität gehört deshalb seit vier Jahrzehnten zu den zentralen Aufgaben des Umwelt- und Gesundheitsschutzes der Stadt Zürich.

Das Überwachungskonzept für Luftschadstoffe in der Stadt Zürich basiert auf den folgenden Komponenten:

- **Dauerbetrieb kontinuierlicher Messstationen** an charakteristischen Standorten, welche die Spannweite der Luftbelastung abdecken (gegenwärtig vier Messorte). Zum Einsatz kommen Referenzmessverfahren oder kontinuierliche Messverfahren, die auf ein Referenzmessverfahren abgestützt werden.
- Immissionsmessungen mit einer **mobilen Messstation** im Zusammenhang mit spezifischen Fragestellungen (2020: Überdachung Autobahnabschnitt Schwamendingen, Messstation bei der Sporthalle Aubrücke).
- **Stickstoffdioxid (NO₂)-Passivsammler-Netzwerk** als günstiges Messverfahren für eine bessere räumliche Abdeckung. NO₂-Passivsammler werden projektbasiert auch zur Beantwortung spezifischer Fragestellungen eingesetzt.
- An ausgewählten Messstandorten Probenahme und Analytik zur Erfassung **kanzerogener und mutagener Luftschadstoffe** (z. B. Analytik von Benzol, elementarem Kohlenstoff).
- Periodische Durchführung flächendeckender **Messkampagnen** für eine verbesserte räumliche Auflösung und für die Beobachtung der langjährigen Entwicklung an spezifischen Messorten. Erweiterung um Messgrössen, die nur im Rahmen der Messkampagnen abgedeckt werden, wie zum Beispiel die Erfassung von Staubbiederschlag.

Die kontinuierlichen Messstationen bilden die Basis der Luftqualitätsmessungen. Sie geben faktisch lückenlos Auskunft über die zeitliche Entwicklung. Die Ergebnisse werden unter anderem zur Bestimmung des Erfolgs von Massnahmenpaketen zur Reduktion der Luftbelastung herangezogen. Die periodischen Messkampagnen liefern räumlich dichtere Informationen zu den Belastungsunterschieden innerhalb der Stadt und stellen so einen Quartierbezug her.

4

Messprogramm

In der Stadt Zürich wurden 2020 an insgesamt 53 Standorten Messungen durchgeführt. (Abbildung 1). Dazu gehören die vier Dauer-Messstationen (35, 36, 37, 45), welche die Spannweite der städtischen Belastungssituationen abdecken, sowie die mobile Projekt-Messstation beim Schulhaus Aubrücke (3). Zusätzlich wurde im Rahmen der Messkampagne ein dichtes Netz an NO₂-Passivsammlern betrieben (Anhang A2).

An der Manessestrasse wurde ausserdem eine Gerätekombination zur Bestimmung von Feinstaub und NO₂ installiert. Als Standort wurde die Manessestrasse gewählt, weil sie als lufthygienischer Hot-Spot gilt. An diesem Standort ist unter anderem aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens mit einer hohen Luftbelastung zu rechnen.

Ein Überblick über die Standorte, die quantifizierten Messparameter und die eingesetzten Messverfahren befindet sich im Anhang A2 und A3.

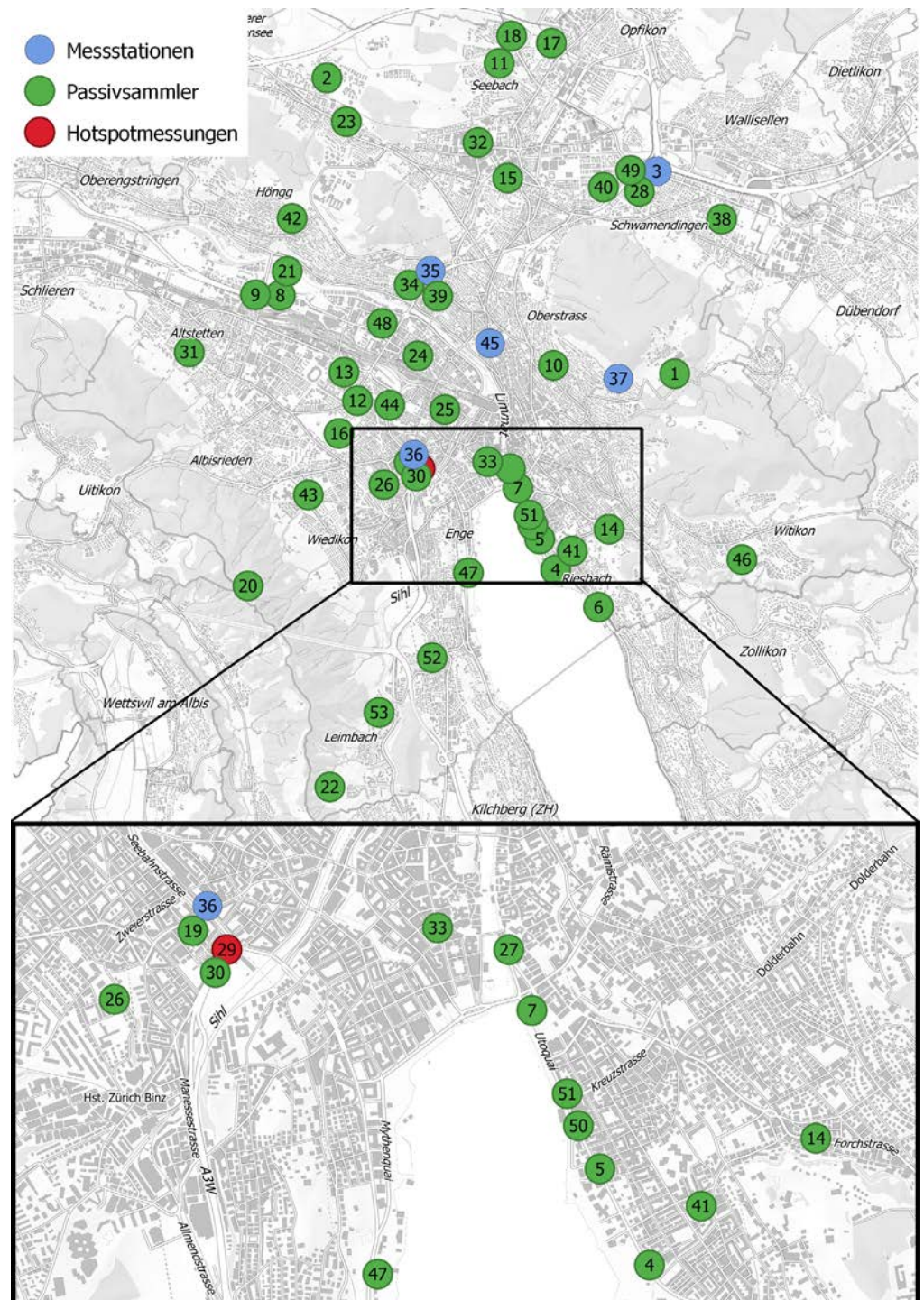


Abbildung 1: Übersicht Messorte 2020. Blau: Kontinuierliche Messstationen, Grün: Passivsammler, Rot: Hot-Spot Messung Manessestrasse (Tabelle 2).

Tabelle 2: Messstationen und Hot-Spot-Messung der Messkampagne 2020



Messort Nr. 3
Mobile Messstation Zürich – Schulhaus Aubrücke
Projektmessung Einhausung Schwamendingen



Messort Nr. 29
Messort Zürich – Manessestrasse 20
Projektmessung Hot-Spot



Messort Nr. 35
Messstation Zürich – Rosengartenstrasse
Starker Verkehrseinfluss



Messort Nr. 36
Messstation Zürich – Schimmelstrasse
Starker Verkehrseinfluss



Messort Nr. 37
Messstation Zürich – Schulhaus Heubeeribüel
Naherholungsgebiet, Hintergrundbelastung



Messort Nr. 45
Messstation Zürich – Stampfenbachstrasse
Mittlere städtische Belastung

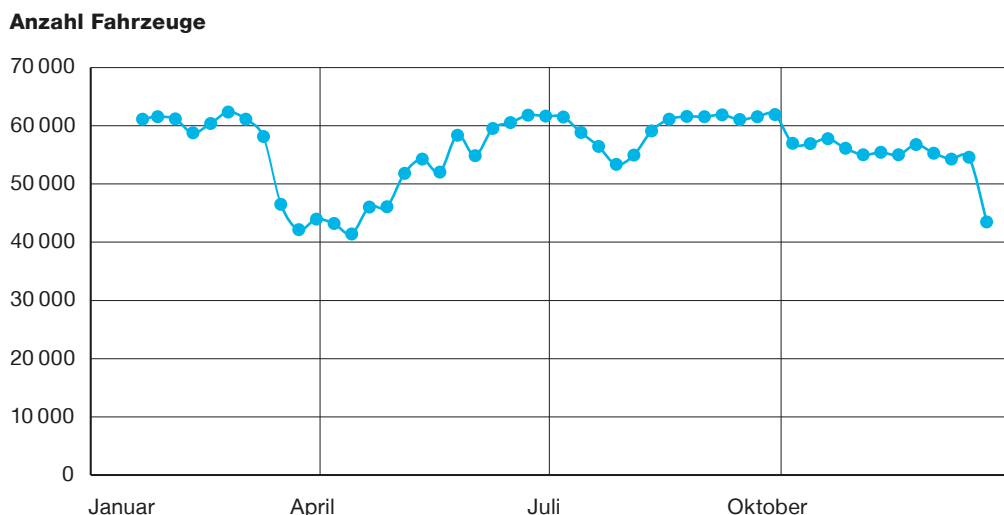
5

Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Luftqualität

Das Jahr 2020 war geprägt durch die globale Coronapandemie und deren Folgen. Die in diesem Zusammenhang veranlassten Massnahmen führten zeitweise zu einer starken Reduktion der Verkehrszahlen und beeinflussten dadurch auch die Luftqualität in der Stadt Zürich.

Der Verkehr an der Rosengartenstrasse nahm während des ersten Lockdowns im März 2020 fast um ein Drittel ab (Abbildung 2). Ende Mai stiegen die Verkehrszahlen jedoch bereits wieder auf ein Niveau wie vor der Coronakrise an. Die Sommerferien und die Weihnachtszeit führten, wie jedes Jahr, zu zwei weiteren Abnahmen der Verkehrszahlen. Möglicherweise sind die niedrigeren Fahrzeugzahlen im Herbst der vom Bundesrat ausgesprochenen Homeoffice-Empfehlung zuzurechnen.

Abbildung 2: Durchschnittlicher Tagesverkehr einer Woche an der Rosengartenstrasse im Verlaufe des Jahres 2020.



Weniger Stickoxide an verkehrsbelasteten Standorten

Der Einfluss dieser Verkehrsreduktion wird besonders anhand der Stickoxid-Belastung (NO_x) deutlich, zum Beispiel an hochfrequentierten Strassen wie der Rosengartenstrasse. NO_x bezeichnet die Summe aus Stickstoffmonoxid (NO) und dem giftigen Stickstoffdioxid (NO_2). An der Rosengartenstrasse wird NO_x in grossen Mengen durch den Strassenverkehr ausgestossen. Dabei wird primär NO ausgestossen, welches sich in der Atmosphäre rasch zu NO_2 umwandelt. Mit der Messung von NO_x kann die durch den lokalen Verkehr ausgestossene Menge an Abgasen daher sehr gut beurteilt werden.

An der Rosengartenstrasse zeigte sich, dass die NO_x -Belastung an Werktagen während der Lockdown-Phase durchschnittlich 43% und im Mittel über das ganze Jahr 26% niedriger war, als im Mittel des Vergleichszeitraums von 2015 bis 2019 (Abbildung 3). Bei genauer Betrachtung der Belastungssituation im Tagesverlauf wird deutlich, dass während des Lockdowns die stärkste prozentuale Differenz zum Vergleichszeitraum in den Abendstunden zu verzeichnen war. Dies entspricht dem Zeitraum, wenn sich der Feierabend- mit dem Freizeitverkehr überlappt.

NO_x-Konzentration (ppb)

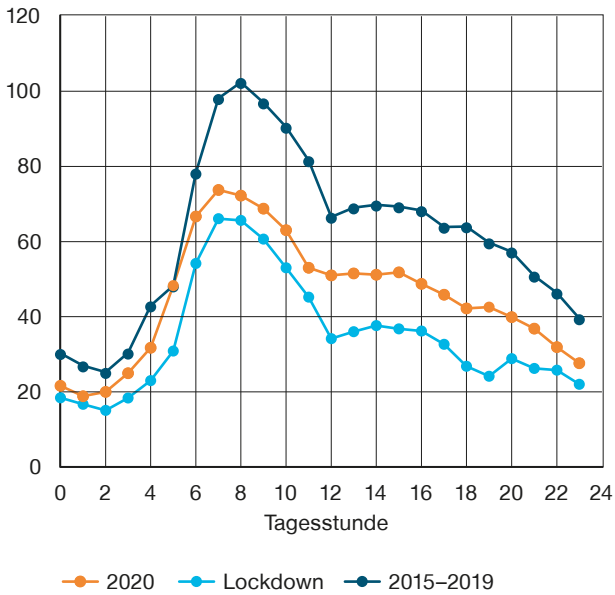
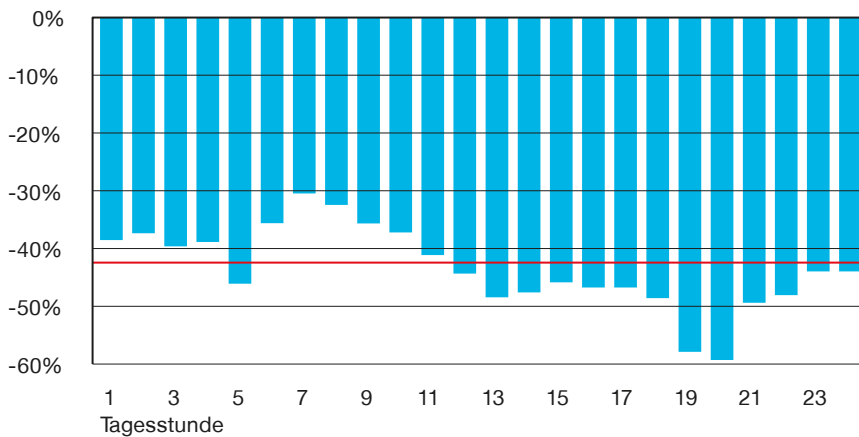


Abbildung 3

Mittlerer Tagesverlauf der Stickoxid-Belastung an der Rosengartenstrasse während des Lockdowns (blaue Kurve) im Vergleich zum ganzen Jahr 2020 (orange Kurve) und zu den Vorjahren (Mittelwert von 2015–2019, dunkelblau Kurve).

Abnahme NO_x-Konzentration



Die durchschnittliche Abnahme der NO_x-Belastung in der Lockdown-Phase prozentual dargestellt.

Gegenüber 2019 war 2020 auf dem Stadtgebiet eine generelle Abnahme der Stickstoffdioxid-Belastung zu beobachten (Abbildung 6). Die Stickstoffdioxidbelastung folgte auch in den Jahren davor bereits einem negativen Trend, unter anderem verursacht durch strengere Emissionsvorschriften beim Strassenverkehr. Auch das Ausbleiben von längeren Inversionslagen im Winter dürfte zu den tiefen NO₂-Werten von 2020 beigetragen haben.

Die Abnahme 2020 fiel jedoch an den verkehrsbelasteten Standorten wesentlich höher aus, als dies aus dem langjährigen Trend und den meteorologischen Schwankungen erwartet werden konnte (Abbildung 6). An der Rosengartenstrasse reduzierten sich die NO₂ Jahresmittelwerte um 8.6 µg/m³ bzw. knapp 20%. Bedenkt man, dass sich die Verkehrszahlen nach dem Lockdown im März bereits Ende Mai 2020 wieder auf dem üblichen Niveau befanden, zeigen die Jahresmittelwerte eindrücklich den starken Einfluss, den eine Reduktion des lokalen Verkehrsaufkommens auf die Stickoxidbelastung haben kann.

Geringer Rückgang bei der Feinstaubbelastung

Bei der Feinstaubbelastung durch PM10 war ebenfalls an allen Messorten der Stadt Zürich ein Rückgang zu verzeichnen (Abbildung 17). Im Vergleich mit den Stickoxiden fiel diese jedoch mit 5–8 % Abnahme geringer aus. Gegenüber dem langjährigen Trend sind anhand der Jahresmittelwerte keine eindeutigen Auswirkungen des Lockdowns erkennbar. Ein Grund dafür ist der relativ kleine städtische Beitrag zur Feinstaub-Gesamtbelastung. Die Feinstaubwerte werden nicht nur durch die lokalen Emissionen bestimmt, sondern durch den regionalen und internationalen Schadstoffausstoss stark mitgeprägt. Ausserdem stammt, im Vergleich zu den Stickoxiden, ein grösserer Anteil an der Gesamt-Feinstaubbelastung aus Quellen wie Heizungen, Industrie und Gewerbe oder der Landwirtschaft, welche weniger vom Lockdown betroffen waren.

6

Luftschadstoffe und Luftbelastung

Die zentrale Rolle beim Ausstoss von Luftverunreinigungen (Emissionen) spielt weltweit die Verbrennung von fossilen Brennstoffen zur Energieerzeugung, sei es als Heizenergie oder als Treibstoff zur Fortbewegung.

Bei den Luftschadstoffen lassen sich zwei Kategorien unterscheiden: Primärschadstoffe, wie Kohlenmonoxid, werden direkt in die Umwelt ausgestossen, währenddem Sekundärschadstoffe, wie Ozon oder Stickstoffdioxid, sich erst in der Atmosphäre durch chemische Reaktionen bilden.

In der Stadtluft können hunderte verschiedener Fremdstoffe nachgewiesen werden (Immissionen). Da eine lückenlose Messung dieser Vielzahl von Komponenten nicht möglich ist, beschränkt man sich allgemein auf die Erfassung der wichtigsten Leitschadstoffe. Ihnen kommt auf Grund ihrer Wirkungen auf Mensch und Umwelt eine besondere Bedeutung zu. Diese Leitschadstoffe werden im Folgenden einzeln betrachtet.

6.1 Stickoxide

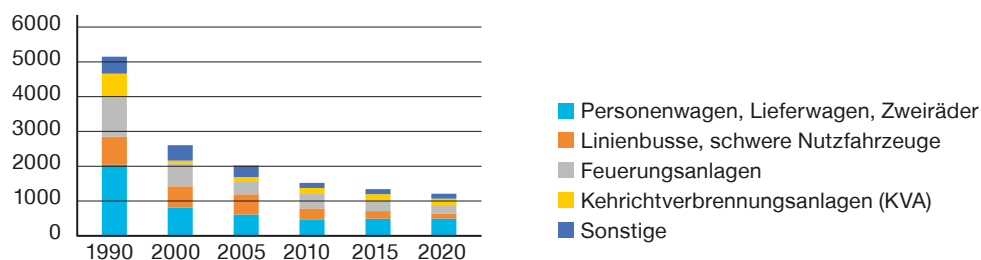
Entstehung

Stickoxide (NO_x) entstehen als unerwünschte Nebenprodukte bei den Verbrennungsvorgängen. Bei sehr hohen Temperaturen kann der in der Verbrennungsluft enthaltene Stickstoff (N_2) mit Sauerstoff (O_2) reagieren und Stickoxide bilden. Ein weiterer Teil der Stickoxide stammt aus dem in Brenn- und Treibstoffen enthaltenen Stickstoff. Bei beiden Prozessen entsteht vor allem Stickstoffmonoxid (NO), welches in der Atmosphäre rasch in das giftige Stickstoffdioxid (NO_2) umgewandelt wird. Die Summe von NO und NO_2 wird als NO_x bezeichnet. In der schweizerischen schweizerische Luftreinhalte-Verordnung sind für NO_2 Immissionsgrenzwerte festgelegt.

Abbildung 4 zeigt die Emissionen der Stickoxide basierend auf den Daten des Emissionskatasters der Stadt Zürich. Rund die Hälfte der Stickoxidemissionen in der Stadt Zürich ist auf den motorisierten Strassenverkehr zurückzuführen. Feuerungsanlagen und die Verbrennung von Siedlungsabfällen¹ in den Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) verursachen je weitere ca. 15–20 % der Stickoxidemissionen. Die Gesamtemissionen von NO_x sind auch im Jahr 2020 weiter gesunken. Die Abnahme flacht immer weiter ab, da bereits in vielen Quellgruppen die NO_x -Emissionen weitgehend optimiert worden sind.

Abbildung 4: Stickoxid-Emissionen in der Stadt Zürich nach Verursachergruppen. (Prozentuale Anteile 2020: 53% Personenwagen/Linienbusse/Nutzfahrzeuge, 20% Feuerungsanlagen, 15% KVA, 12% Sonstige) [5].

NO_x -Emissionen (Tonnen/Jahr)



Gesundheitliche Auswirkungen

Die Stickoxide, welche zusammen ein hoch reaktives Gemisch bilden, zählen zu den gefährlichsten Schadstoffen in der Luft. Besonders Stickstoffdioxid zeigt eine starke Reizwirkung, führt zu Schädigungen von Zellen des Atemtrakts und begünstigt in der Folge Atemwegserkrankungen. Eingeatmetes Stickstoffdioxid wird in der Lunge teilweise absorbiert und kann als giftiges Nitrit ins Blut gelangen und so den Sauerstofftransport behindern.

Weiterhin Grenzwertüberschreitungen an Hauptverkehrsachsen

Die Reduktion der Stickoxid-Emissionen hat in den letzten dreissig Jahren zu einer starken Verbesserung bei der Luftbelastung bezüglich Stickstoffdioxid geführt. Lag 1990 die Stickstoffdioxid-Konzentration beinahe auf dem gesamten Stadtgebiet oberhalb des LRV-Jahresgrenzwertes von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wird er heute in weiten Teilen der Stadt eingehalten (Abbildung 5). Entlang der Hauptverkehrsachsen und an stark befahrenen Strassen wird der Grenzwert jedoch auch heute noch überschritten. Die Konzentration von Stickstoffdioxid ist stark durch den lokalen Verkehr geprägt und nimmt mit zunehmender Distanz zur Emissionsquelle rasch ab. Bei den belasteten Gebieten handelt es sich oft um stark bebaute, zentrumsnahe Lagen mit hoher Anwohnerdichte und viel Publikumsverkehr. Deshalb besteht bezüglich einer Minderung der Stickstoffdioxid-Belastung weiterhin Handlungsbedarf.

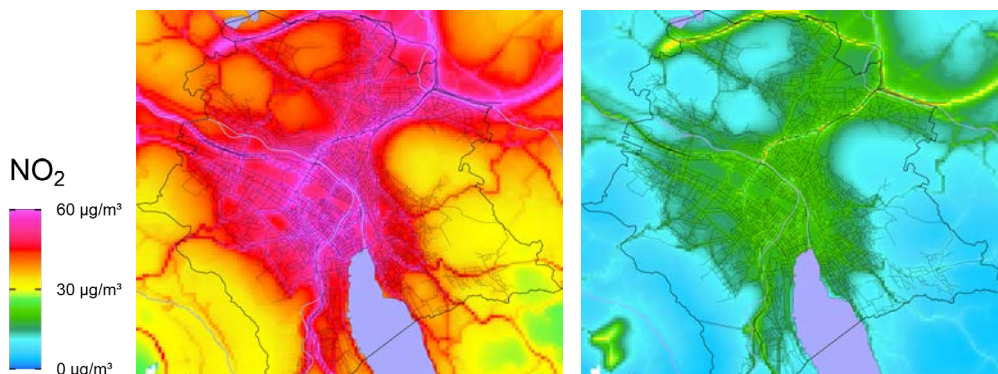


Abbildung 5: Stickstoffdioxid-Belastungen 1990 (links) und 2020 (rechts) anhand der Jahresmittelwerte. Gelb = Belastung in Höhe des Grenzwertes (Quelle: Immissionsmodellierung UGZ²).

Nach einer starken Reduktion der chronischen Luftschadstoffbelastung in den 1980er und 1990er Jahren verlangsamte sich die Abnahme der Stickstoffdioxidkonzentration seit den 2000er Jahren, was anhand der Messwerte der Stampfenbachstrasse ersichtlich wird (blaue Kurve in Abbildung 6). Die Anzahl Kurzzeitgrenzwert-Überschreitungen hat sich in den letzten 10 Jahren weiterhin kontinuierlich reduziert (Abbildung 7). Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen kann es aktuell allenfalls an stark belasteten Standorten noch vereinzelt zu Überschreitungen des Kurzzeitgrenzwertes für NO_2 kommen.

NO_2 Jahresmittelwerte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

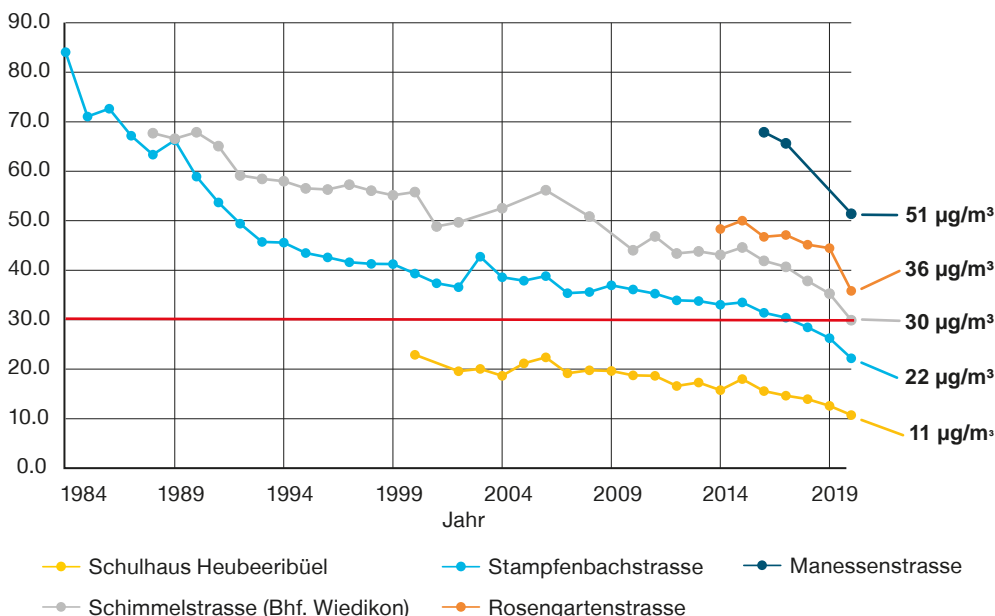
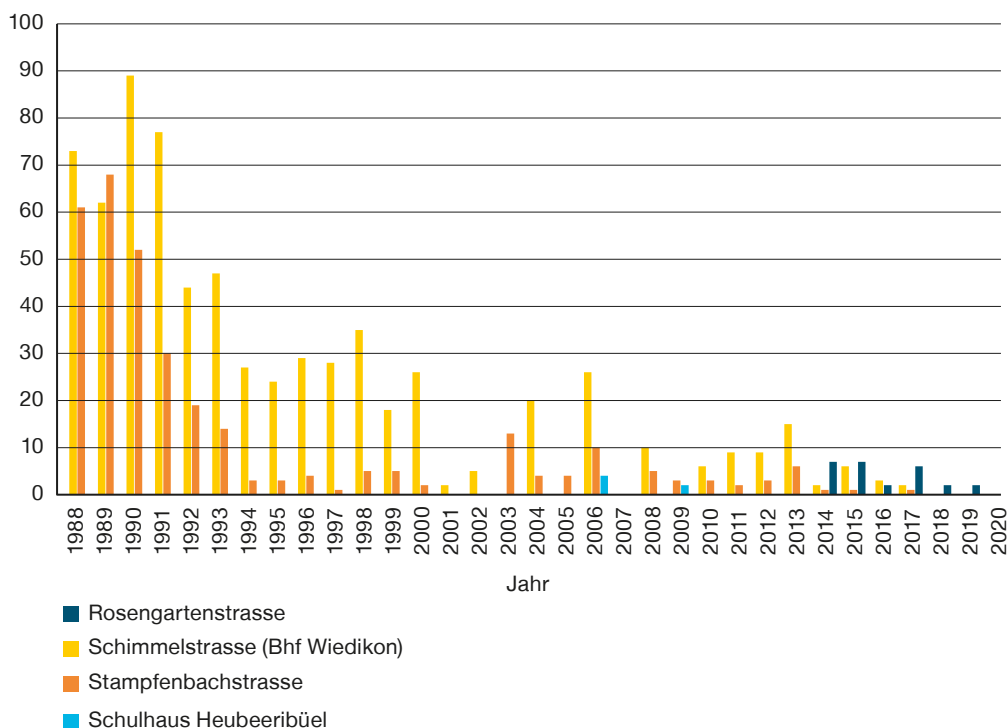


Abbildung 6: Entwicklung der Luftbelastung durch Stickstoffdioxid (Jahresmittelwerte von 1984–2020. Rote Linie: Grenzwert LRV

² Die Karte basiert auf Modellberechnungen. Die Auflösung der Karte beträgt $100\text{m} \times 100\text{m}$.

Abbildung 7: Entwicklung der Stickstoffdioxid-Kurzzeitbelastung (Anzahl Überschreitungen des Tagesgrenzwertes 1988–2020).

NO₂: Anzahl Überschreitungen Tagesgrenzwert



NO₂ Belastung 2020

Das Jahr 2020 war aus lufthygienischer Sicht aussergewöhnlich (siehe auch Abschnitt 5): Durch die Corona-Pandemie und die damit verbundenen Veränderungen im Mobilitätsverhalten verringerte sich das Verkehrsaufkommen an den Messstationen zeitweise um rund 30 %.

Dies führte gegenüber dem langjährigen Trend zur einer überdurchschnittlichen Abnahme der NO₂-Belastung an den verkehrsbelasteten Standorten (Abbildung 6). An der Station Schimmelstrasse lag der Messwert das erste Mal seit Messbeginn nicht mehr über dem LRV-Jahresgrenzwert von 30µg/m³. Überschreitungen des Kurzzeitgrenzwertes wurden 2020 an keiner Messstation festgestellt (Abbildung 7).

NO₂-Passivsammler

Die Messwerte des Passivsammlernetzwerkes liefern ein räumlich differenzierteres Bild von der Belastungssituation in der Stadt Zürich. Während bei den Messorten mit schwachem bis mässigem Verkehrseinfluss der Grenzwert in fast allen Fällen deutlich eingehalten wird, traten 2020 bei Messorten mit starkem Verkehrsaufkommen weiterhin häufig Überschreitungen auf (Abbildung 8). Neben der Verkehrsbelastung tragen auch die Zentrumslage – wie zum Beispiel am Bellevue – oder ungünstige Umgebungsbedingungen zur Höhe der Luftbelastung bei. An der Manessestrasse führt etwa ein Lichtsignal und eine ansteigende Fahrbahn mit starker Beschleunigung zu hohen Emissionen. Die lokal grossen Unterschiede in der NO₂-Belastung sind auch an den Passivsammlerresultaten der Messkampagnen- und Dauermessorte 2020 ersichtlich. Diese sind in Abbildung 9 nach Stadtkreisen gruppiert dargestellt.

NO₂-Jahreswert Passivsammler 2020 (µg/m³)

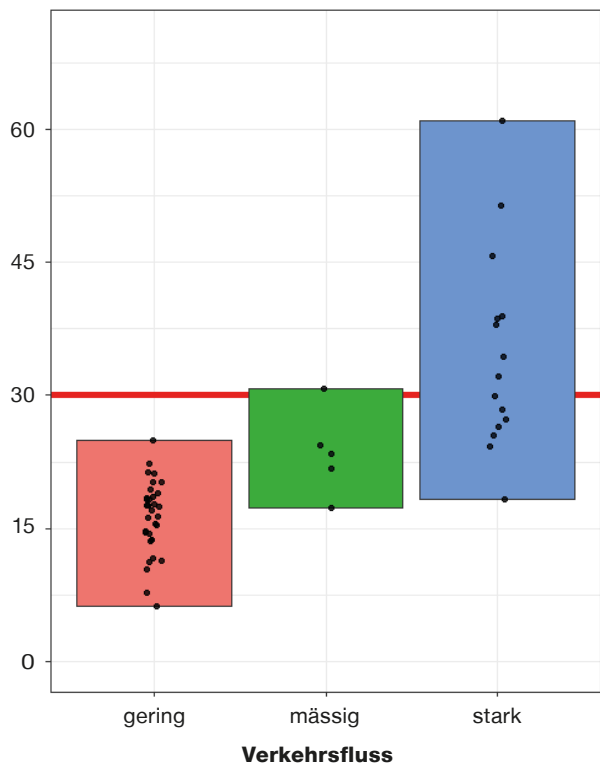


Abbildung 8: Verteilung der Stickstoffdioxid-Belastung aller Passivsammler Messorte 2020 in der Stadt Zürich in Abhängigkeit vom Verkehrseinfluss. (Klassierung anhand des durchschnittlichen täglichen Verkehrs mit 10-facher Gewichtung der LKW (DTVS) gemäss [6]; ≤ 1000: gering, 1000–10 000: mässig, ≥ 10 000: stark). Die Balken zeigen die Spannweite, die Punkte die einzelnen Messorte an (Rote Linie: Grenzwert LRV).

NO₂ Jahresmittelwert (µg/m³)

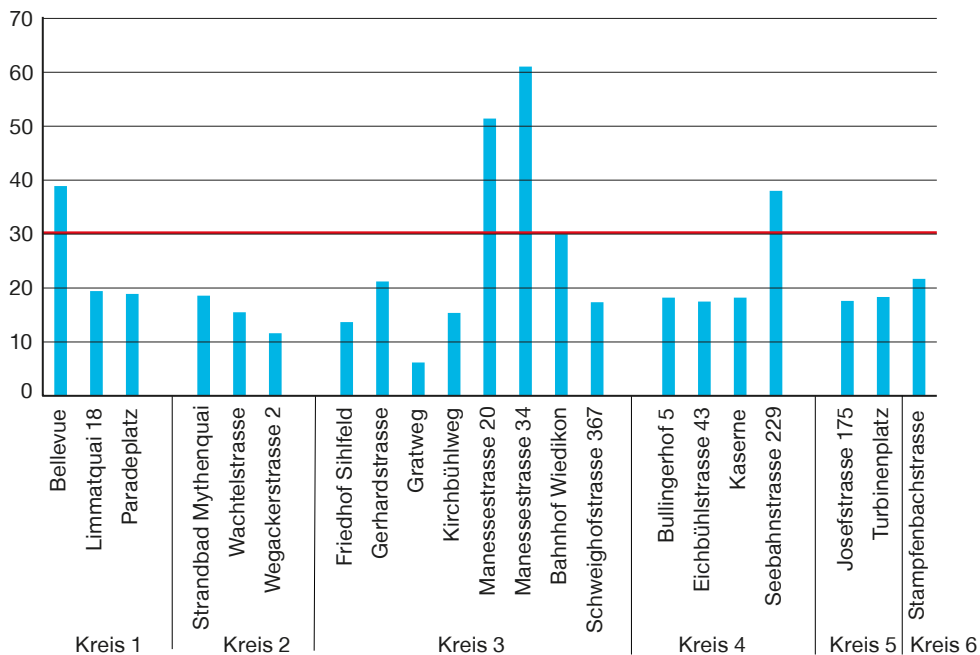
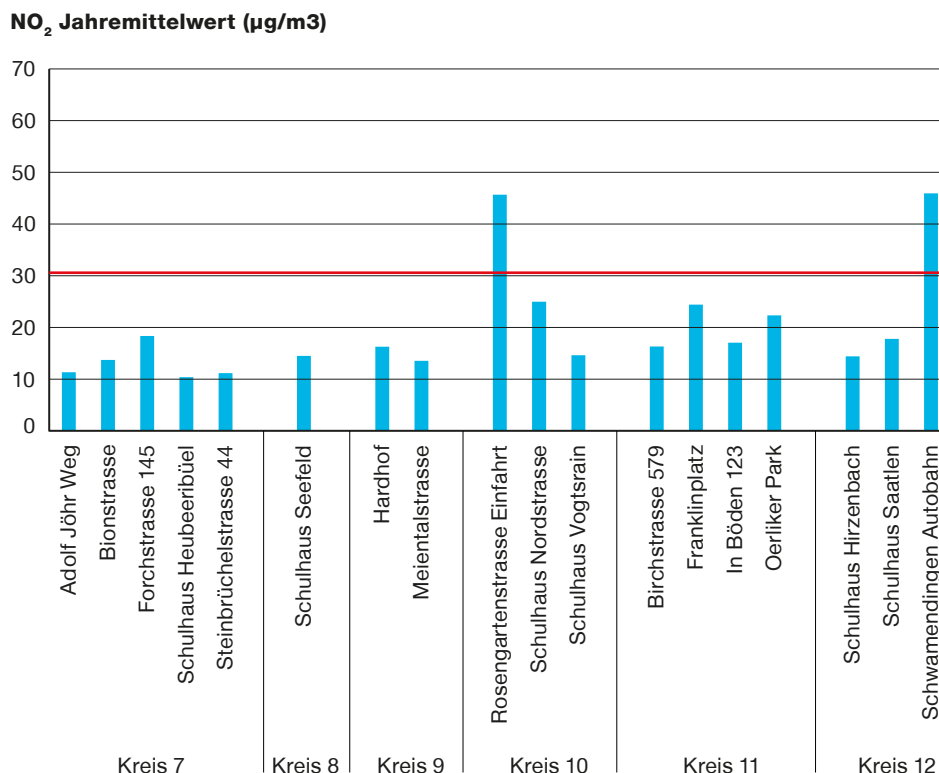


Abbildung 9:
Stickstoffdioxid-
Passivsammler-
Jahresmittelwerte 2020
nach Stadtkreis (Rote
Linie: Grenzwert LRV).



6.2 Ozon

Entstehung

Ozon (O₃) ist eines der wichtigsten Spurengase der Atmosphäre. Das natürlich vorkommende Ozon der Stratosphäre in 20 bis 30 km Höhe schützt die Erdoberfläche vor der schädlichen UV-Strahlung der Sonne. Auch in der erdnahen Atmosphäre kommt Ozon in relativ tiefen Konzentrationen natürlicherweise vor (ca. 30 bis 40 µg/m³). Durch den Ausstoss anthropogener Vorläufersubstanzen kann es während anhaltend sommerlicher Schönwetterlagen in Bodennähe jedoch zu stark erhöhten Ozonkonzentrationen kommen. Tritt dies auf, spricht man von Sommer- respektive Fotosmog.

Ozon ist ein typischer sekundärer Luftschadstoff. Es entsteht erst in der Atmosphäre durch chemische Umwandlungen anderer Schadstoffe. Es gibt keine nennenswerten Quellen, die Ozon direkt in die Luft abgeben.

Die wichtigsten Ozonvorläufer sind Stickoxide (Abschnitt 6.1) und flüchtige organische Verbindungen (VOC, Abschnitt 6.4). Aus den Auspuffen motorisierter Fahrzeuge wird ein Gemisch dieser Schadstoffe ausgestossen. Bei intensiver UV-Einstrahlung und hohen Temperaturen beginnen komplexe photochemische Prozesse, bei denen aus diesen Schadstoffen Ozon, andere Oxidantien (oxidierend wirkende Substanzen) und so genannte sekundäre Aerosole (Partikel) gebildet werden.

Ozon ist in höheren Luftschichten sehr langlebig und kann, abhängig von der Wetterlage, weite Distanzen zurücklegen. So tragen nach neueren Erkenntnissen Emissionen der gesamten nördlichen Erdhemisphäre wesentlich zur aktuellen Ozonbelastung in der Schweiz bei [7]. Durch vertikalen Austausch- und Mischprozesse gelangt das Ozon auch in die bodennahen Luftmassen. Zusammen mit natürlichen Beiträgen führt dies bei sommerlichen Schönwetterlagen bereits zu einer hohen Grundbelastung, die nicht durch den lokalen Schadstoffausstoss verursacht wird und somit nicht durch lokale Massnahmen zur Reduktion der Vorläuferschadstoffe beeinflusst werden kann.

Gesundheitliche Auswirkungen

Die schädlichen Effekte von Ozon auf Mensch und Tier sowie auf Pflanzen beruht auf seiner hohen Oxidationskraft. Ozon entfaltet seine gefährliche Wirkung am Ort seines Auftreffens, beispielsweise im Atemtrakt oder auf dem Blattwerk der Pflanzen. Die geringe Wasserlöslichkeit von Ozon führt dazu, dass es tief in die Lunge eindringt, wo es Gewebe angreift, das nicht von einer Schleimschicht geschützt wird.

Die Empfindlichkeit gegenüber Ozon ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich. Als Symptome des Sommersmogs können bei empfindlichen Menschen Reizungen der Atemwege (Kratzen oder Brennen im Hals), Augenbrennen und Kopfschmerzen auftreten. Die Beeinträchtigungen hängen von der Dauer des Aufenthalts in der mit Ozon belasteten Aussenluft und der Höhe der Ozonbelastung ab. Bei sehr hohen Ozonkonzentrationen, ab ca. $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kann es bei längerem Aufenthalt im Freien und reger körperlicher Aktivität zu Einschränkungen der Lungenfunktion und vorübergehender verminderter körperlicher Leistungsfähigkeit kommen.

Ozonbelastung sinkt – und ist dennoch zu hoch

Obwohl die NO_x - und VOC-Emissionen der Stadt Zürich seit 1990 um rund 75% abgenommen haben (s. Abschnitte 6.1 und 6.4), reichen diese Reduktionen gerade mal aus, um die Ozon-Spitzenbelastungen zu brechen. Die Anzahl Überschreitungen der Stundengrenzwerte hat sich in den letzten 30 Jahren nicht wesentlich verringert (Abbildung 10). Erkennbar ist jedoch eine Abnahme der Maximalbelastungen. Beim jeweils höchsten gemessenen Ozonstundenwert des Jahres ist seit den 1990er Jahren ein Abwärtstrend erkennbar (Abbildung 12). Die tieferen Spitzenbelastungen lassen sich auch am Verlauf der 98-Perzentil-Monatswerte beobachten. Lagen die Spitzenwerte an den städtischen Messstationen zwischen 1992 und 2006 jedes Jahr über $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, war dies seither seltener der Fall (Abbildung 11).

Für die Tatsache, dass sich die Ozonbelastung insgesamt trotz der erfolgreich umgesetzten Massnahmen zur Reduktion der Vorläuferschadstoffe in der Schweiz nur leicht verringert hat, sind unterschiedliche Faktoren verantwortlich. Neben der Meteorologie und der Menge der Vorläuferschadstoffe hat auch deren Verhältnis einen Einfluss auf den komplexen Prozess der Ozonbildung (z. B. Verhältnis NO_2 zu VOC) [7]. Zusätzlich spielen auch die im Abschnitt «Entstehung von Ozon» beschriebenen internationalen bzw. interkontinentalen Transporte von Ozon und dessen Vorläuferschadstoffen eine Rolle.

Lokale Belastungsunterschiede

Die höchsten Ozon-Belastungen treten nicht an strassennahen, verkehrsbelasteten Standorten, sondern am Stadtrand bzw. in der Agglomeration auf. An strassennahen Standorten wird das gebildete Ozon teilweise durch die vom Strassenverkehr emittierten Stickoxide fortlaufend abgebaut. Dies ist bei strassenfernen Standorten bedeutend weniger der Fall. Die Ozonbildung wird dort weniger behindert und die Ozonkonzentrationen können sich somit während anhaltender Schönwetterperioden kontinuierlich aufbauen. Die meisten Überschreitungen des Stundengrenzwertes werden demzufolge auch immer am Hintergrund-Standort Schulhaus Heubereibüel verzeichnet (Abbildung 12).

Klimawandel und Ozonbelastung

Die Ozonbildung und damit die Entstehung von Sommersmog hängt stark von den meteorologischen Bedingungen ab. In Jahren mit heissen und sonnigen Sommern kommt es zu wesentlich mehr und höheren Grenzwertüberschreitungen als bei feuchterem, kühlem Sommerwetter. Die Anzahl Überschreitungen des Ozongrenzwertes kann somit von Jahr zu Jahr stark variieren. So weisen z. B. die Hitzesommer 2003, 2015 und 2018 wesentlich mehr Überschreitungen auf als die restlichen Jahre (Abbildung 10).

Durch den Klimawandel ist in der Schweiz mit häufigerem Auftreten von langanhaltenden, heissen Schönwetterlagen im Sommer zu rechnen [7]. Der fortschreitende Klimawandel könnte die Ozonbelastung somit negativ beeinflussen und die bereits erreichten Erfolge gefährden [7].

O₃-Belastung 2020

Das Jahr 2020 war von einem sehr milden Winter geprägt, gefolgt von einem überdurchschnittlich sonnigen Frühling und zwei moderaten Hitzewellen im Juli und August [8]. An der Station Schulhaus Heubeeribüel kam es zu 296 Überschreitungen des Stundengrenzwertes. Der maximale Ozonstundenwert wurde mit 173 µg/m³ ebenfalls an der Station Heubeeribüel gemessen. Bezüglich Ozonbelastung ist 2020 somit im Vergleich zu den letzten 10 Jahren im Mittelfeld einzuordnen.

Abbildung 10: Anzahl Überschreitungen des Stundengrenzwertes für Ozon von 1987–2020.

Ozon: Anzahl Überschreitungen Stundengrenzwert

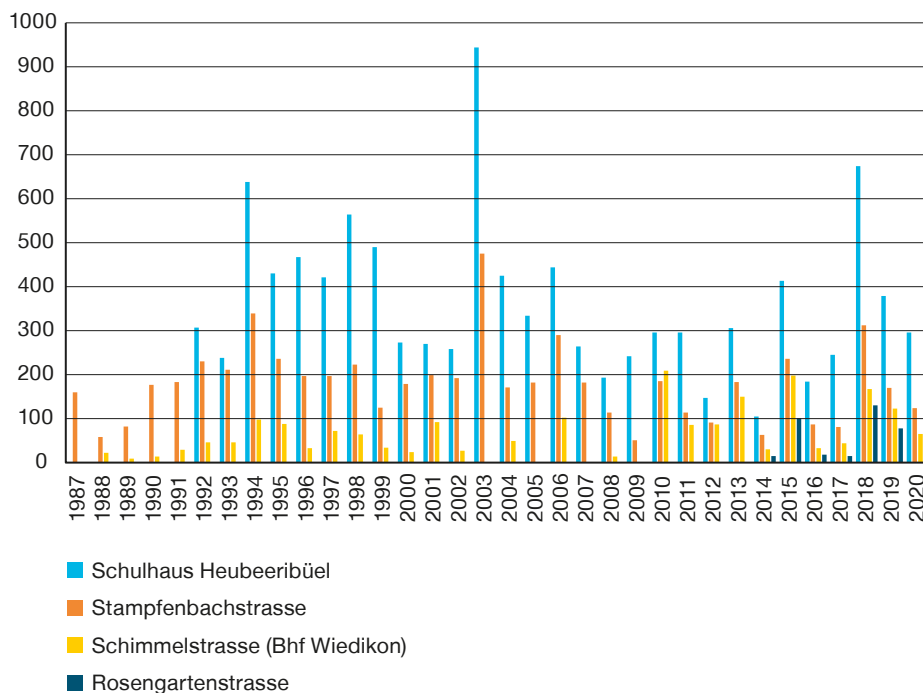
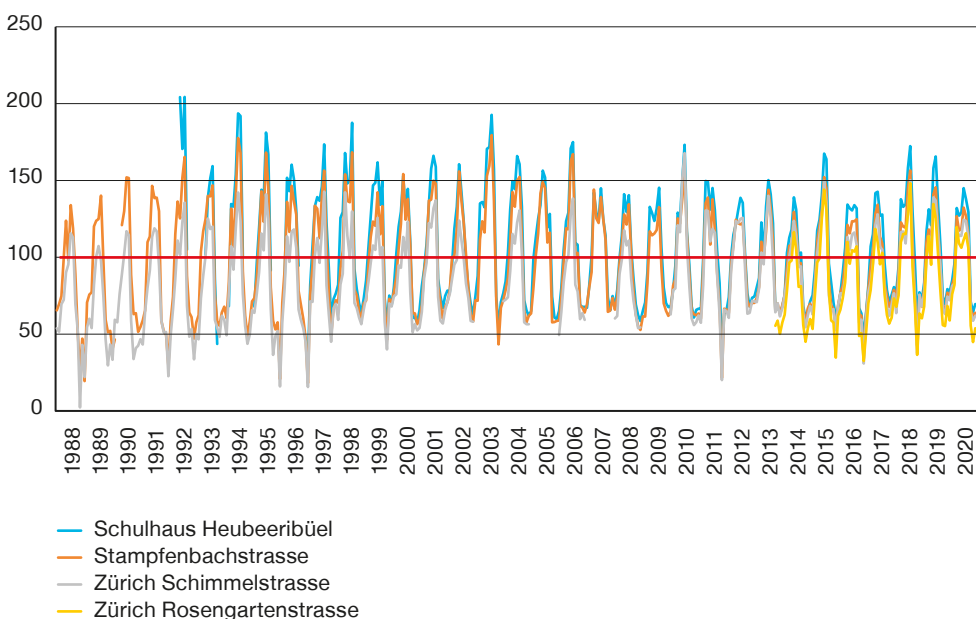


Abbildung 11: Verlauf des 98%-Perzentsils der Halbstundenmittelwerte pro Monat für Ozon 1988–2020 (Rote Linie: Grenzwert LRV).

Ozon 98-Perzentil Monatswert (µg/m³)



Max. O₃ Stundenwert (µg/m³)

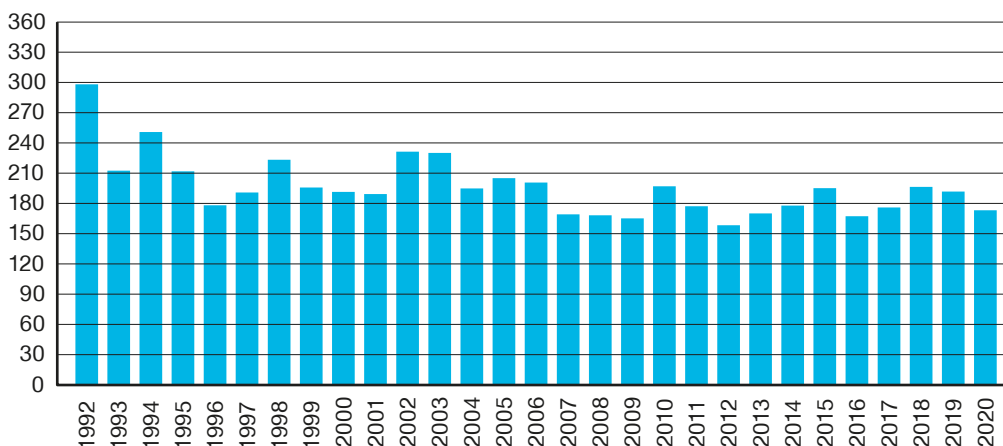


Abbildung 12: Maximaler Ozon-Stundenwert aller Stadt Zürcher Messstationen 1992–2020.

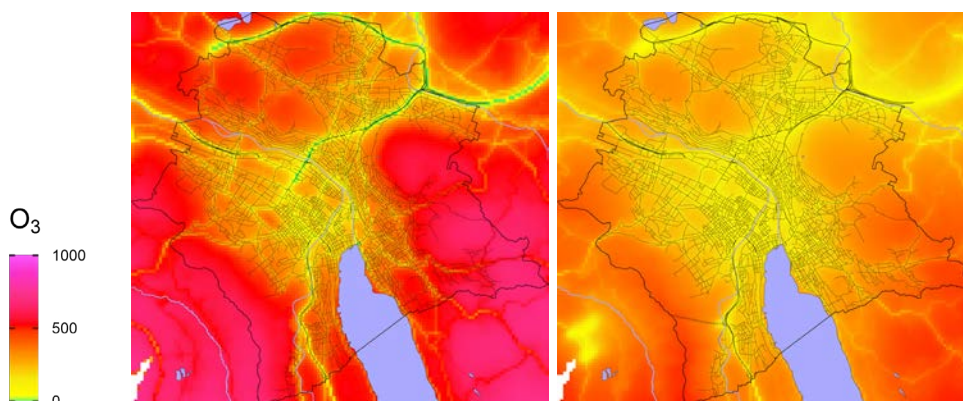


Abbildung 13: Anzahl Überschreitungen des Ozonstundengrenzwertes 1990 (links) und 2020 (rechts), (Quelle: Immissionsmodellierung UGZ³).

6.3 Staub

6.3.1 Feinstaub (PM10 und PM2.5)

Entstehung

Feinstaub stammt aus einer grossen Anzahl unterschiedlichster Quellen. Entsprechend handelt es sich beim Feinstaub um ein komplexes Gemisch verschiedenster chemischer Bestandteile. Primärer Feinstaub wird direkt emittiert. Dazu gehören Partikel aus Verbrennungsprozessen des motorisierten Strassenverkehrs und von Feuerungen, mechanisch erzeugte Abriebpartikel, wie z. B. Bremsabrieb vom Strassen- und Schienenverkehr und Partikel natürlichen Ursprungs, wie Pollenfragmente. Sekundärer Feinstaub hingegen bildet sich durch chemische Umwandlungen aus gasförmigen Vorläuferschadstoffen in der Aussenluft.

Wichtige Emittenten für primären Feinstaub in der Schweiz sind der Strassen- und Schienenverkehr, Feuerungen, Industrie und Gewerbe, aber auch die Land- und Forstwirtschaft. [9]. Bisher lag der Fokus für Reduktionsmassnahmen beim motorisierten Strassenverkehr auf den Abgasen. Allerdings tragen auch die Partikel aus Abriebprozessen wesentlich zur Gesamtmenge bei [10]. Auch gesundheitlich sind diese Partikel mit ihren metallischen Anteilen relevant (s. Abschnitt 6.3.2).

In der Stadt Zürich stammen ca. 40% der lokalen PM10-Emissionen aus dem Baugewebe. Ungefähr der gleiche Anteil wird vom Strassen- und Schienenverkehr emittiert (s. Abbildung 14). Seit 2020 berechnet der UGZ auch die PM2.5-Emissionen auf dem Stadtgebiet (Abbildung 15). Der Anteil des Baugewerbes ist dabei mit knapp 20% nur noch halb so hoch. Dies, da bei Bauarbeiten vermehrt gröbere Partikel durch Aufwirbeln in die Atmosphäre gelangen.

³ Die Karte basiert auf Modellberechnungen. Die Auflösung der Karte beträgt 100x100m.

Feinstaub-Partikel können in Folge ihrer Stabilität und geringen Sinkgeschwindigkeit lange in der Luft verbleiben und über grosse Distanzen transportiert werden. Dies hat zur Folge, dass importierte Anteile aus überregionalen, nationalen und auch internationalen Emissionen die lokale Feinstaub-Belastung wesentlich beeinflussen. Diese machen in der Stadt Zürich im Jahresmittel bei sehr stark verkehrsbelasteten Standorten etwa 50 % der PM10-Gesamtbelastung aus, während der Anteil bei den übrigen Messstationen auf bis zu 70 % ansteigen kann.⁴ Für eine wesentliche Verbesserung der Feinstaubsituation in der Stadt Zürich ist neben lokalen Massnahmen somit auch die Reduktion an Feinstaubquellen im In- und Ausland notwendig.

Abbildung 14: Feinstaub PM10 Emissionen in der Stadt Zürich nach Verursacherguppen. (Prozentuale Anteile 2020: 20 % Industrie/Gewerbe/Sonstige, 39 % Baugewerbe, 1 % KVA), 5 % Feuerungsanlagen, 11 % Schienenverkehr, 24 % motorisierter Strassenverkehr. [5]

PM10 Emissionen (Tonnen/Jahr)

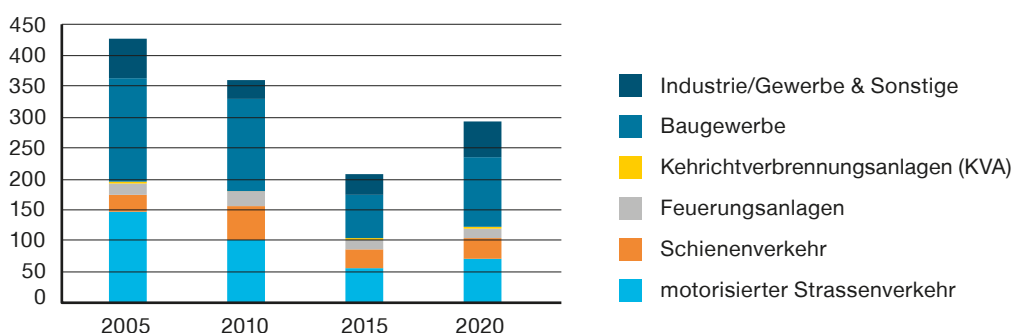


Abbildung 15: Feinstaub PM2.5 Emissionen in der Stadt Zürich nach Verursacherguppen. (Prozentuale Anteile 2020: 27 % Industrie/Gewerbe/Sonstige, 18 % Baugewerbe, 3 % KVA), 14 % Feuerungsanlagen, 12 % Schienenverkehr, 26 % motorisierter Strassenverkehr. [5]

PM2.5 Emissionen (Tonnen/Jahr)



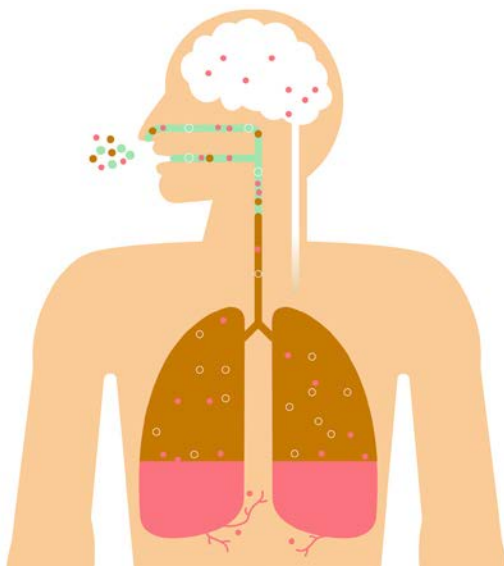
Gesundheitliche Auswirkungen

Mehrere epidemiologische Studien in der Schweiz haben einen Zusammenhang zwischen der Luftbelastung durch feine Schwebepartikel und schädigenden Auswirkungen auf die Gesundheit belegt [11–13]. Je kleiner die Partikel sind, umso tiefer werden sie eingeatmet. Während gröbere Partikel bereits im Nasen- und Rachenraum aufgehalten werden, können kleinere Partikel den Kehlkopf passieren und tief in den Atemtrakt gelangen.

Partikel mit einem mittleren Durchmesser kleiner 1 µm dringen bis in die tiefsten Bereiche der Lunge vor und werden in den Lungenbläschen abgelagert. Die kleinsten dieser Partikel können in Folge ihrer geringen Grösse Zellwände durchdringen und so ins Blut gelangen.

Mit zunehmender PM10-Belastung treten vermehrt chronische Erkrankungen der Atemwege auf. Dazu gehören beispielsweise Atemnot, Husten, Auswurf oder Atemwegsinfektionen. Damit verbunden sind Einschränkungen der Lungenfunktion, die Auslösung entzündlicher Reaktionen und Herz-/Kreislaufkrankungen. Hinzu kommt, dass Rußpartikel und an Partikeln haftende chemische Verbindungen, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), teils als krebserregend und/oder erbgutschädigend eingestuft werden.

⁴ Abschätzung aus Vergleich mit PM10 Belastung Hintergrundstandort Schulhaus Heubereibüel.



Inhalierbarer Feinstaub mit Durchmesser von $2.5 - 10 \mu\text{m}$ wird etwa bis zum Kehlkopf bzw. zur Luftröhre eingeatmet.

5–10 μm Nasen-Rachenraum **3–5 μm** Luftröhre

Lungengängiger Feinstaub $1 - 2.5 \mu\text{m}$ gelangt über Luftröhre und Bronchien tief in die Lunge hinein.

2–3 μm Bronchien **1–2 μm** Bronchiolen

Ultrafeine Partikel kleiner als $1 \mu\text{m}$ dringen bis in die Alveolen vor, werden von dort nur sehr langsam oder gar nicht wieder entfernt und gelangen z.T. sogar in die Blutbahn.

0.1–1 μm Alveolen

Abbildung 16: Feinstaub PM₁₀-Grössenkategorien und Depositionsorte im menschlichen Atemtrakt.

Grenzwert für PM 2.5 eingeführt

Ausgelöst durch neue Erkenntnisse zur gesundheitlichen Relevanz von Feinstaub, wurde die LRV in Übereinstimmung mit den Empfehlungen der WHO im Jahr 2018 um einen Jahrgrenzwert für die Feinstaubfraktion PM 2.5 ergänzt.

Der Gemeinderat der Stadt Zürich beauftragte den UGZ bereits 2016 unter dem Stichwort «Verbesserung der Feinstaub-Messungen» damit, auch die Messung von PM_{2.5} aufzunehmen. In diesem Zusammenhang wurde PM_{2.5} zuerst stichprobenweise und seit 2017 durchgehend an zwei Messstationen quantifiziert. Seit 2018 wird PM_{2.5} an allen kontinuierlichen Messstationen (mit Ausnahme des Hintergrundstandortes Schulhaus Heubereibüel) bestimmt.

Feinstaub PM₁₀

Analog zu den Stickoxiden hat sich die Feinstaub Belastung seit den 1990er Jahren massiv verbessert (Abbildung 19). Nach einer starken Reduktion der Jahresmittelwerte bis 2000 hat sich die Abnahme nach der Jahrtausendwende verlangsamt (s. Abbildung 17). Der Trend zu tieferen Jahresmittelwerten setzte sich jedoch auch danach kontinuierlich fort. Mit Ausnahme des Hot-Spot-Standortes Manessestrasse wurde der Jahrgrenzwert für PM₁₀ seit 2016 an keiner der Messstationen mehr überschritten.

Durch den grossen Anteil an importiertem Feinstaub, bzw. dem geringen Beitrag der lokalen Emissionen, ist die Belastung mit Feinstaub in der Stadt Zürich wesentlich homogener verteilt, als dies bei den Stickoxiden der Fall ist. Dies zeigt sich anhand der geringen Konzentrationsunterschiede zwischen den Messstationen.

Ebenfalls positiv sieht die Entwicklung in Bezug auf die Einhaltung des Kurzzeitgrenzwertes aus (Abbildung 18): An allen kontinuierlichen Messstationen werden Überschreitungen immer seltener. Selbst bei ungünstigen Witterungsbedingungen wird der Grenzwert weniger und in deutlich geringerem Ausmass überschritten. 2019 wurde das erste Mal seit Messbeginn keine Überschreitung des Kurzzeitgrenzwertes festgestellt.

Aus den Messwerten aller Messstationen des UGZ ist zu schliessen, dass die LRV-Grenzwerte bezüglich PM₁₀ in der Stadt Zürich aktuell nur noch selten überschritten werden. Eine Ausnahme bilden Orte mit sehr starker Verkehrsbelastung und ungünstigen Umgebungsbedingungen, an denen auch Überschreitungen des Jahrgrenzwertes noch möglich sind (s. auch Abschnitt 7.1).

Bezüglich PM₁₀ formuliert der Masterplan Umwelt für 2025 das Ziel einer flächendeckenden Einhaltung des Jahresmittelwertes. [14]. Betrachtet man die aktuelle Entwicklung, scheint das Erreichen dieses Ziels durchaus möglich zu sein.

Abbildung 17: Entwicklung der chronischen Luftbelastung durch Feinstaub PM10 (Jahresmittelwerte von 1984–2020. Vor 1997 Messungen von Gesamt-Schwebestaub, ab 1997 Messung von Feinstaub PM10 (Rote Linie: Grenzwert LRV).

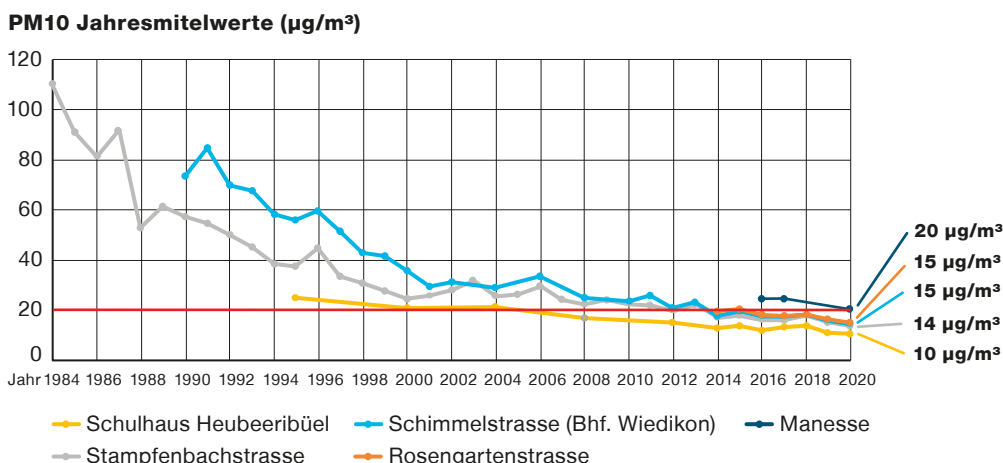


Abbildung 18: Zahl der Überschreitungen des Feinstaub PM10-Kurzzeitgrenzwertes seit Beginn der Feinstaub PM10-Messungen (Rote Linie: Grenzwert LRV, seit 2018 max. 3 Überschreitungen pro Jahr).

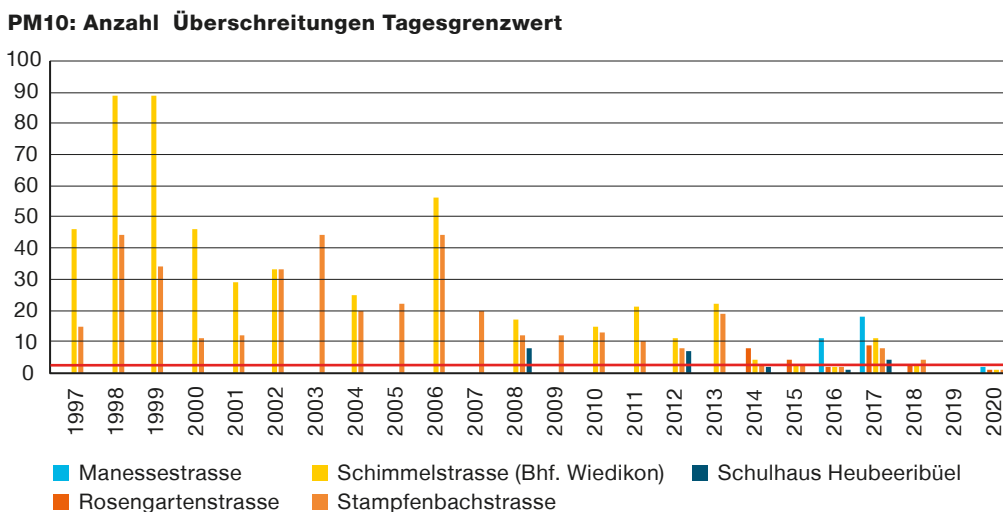
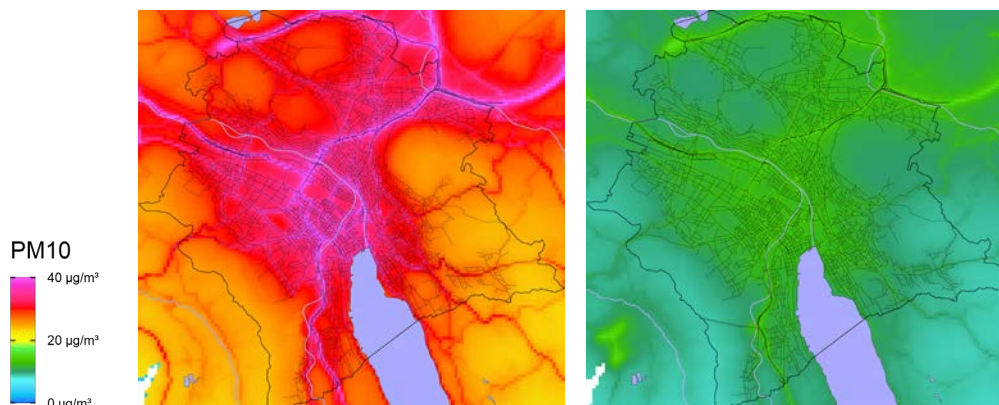


Abbildung 19: PM10 Belastungen 1990 (links) und 2020 (rechts) anhand der Jahresmittelwerte. Gelb = Belastung in Höhe des Grenzwertes. (Quelle: Immissionsmodellierung UGZ⁵).



Feinstaub PM2.5

Die Feinstaubfraktion PM2.5 macht an den städtischen Standorten ca. 70% der PM10-Belastung aus. Im Gegensatz zu PM10 wird bei PM2.5 der Jahresgrenzwert von 10 µg/m³ (zumindest an verkehrsexponierten Standorten) weiterhin überschritten. Die Resultate der seit 2017 realisierten Messungen von PM2.5 sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Jahresmittelwerte liegen beim Standort Stampfenbachstrasse, als Ort mit mittlerer städtischer Belastung, im Bereich des Grenzwertes, bei den stark verkehrsbelasteten Standorten Schimmelstrasse, Rosengartenstrasse und Manessestrasse meist um 10 bis 30 % darüber.

⁵ Die Karte basiert auf Modellberechnungen. Die Auflösung der Karte beträgt 100mx100m.

Tabelle 3: Jahresmittelwerte Feinstaub PM2.5 der Dauer-Messstationen 2017–2020. (Grenzwert 10 µg/m³)

Jahr	Jahresmittelwerte PM2.5 (µg/m ³)			
	Stampfenbachstrasse	Schimmelstrasse	Rosengartenstrasse	Manessestrasse
2017	10	11	-	-
2018	12	13	13	-
2019	10	11	11	-
2020	10	10	12	13

Feinstaubbelastung 2020

Die PM10 und PM2.5 Jahresmittelwerte weisen, trotz Coronapandemie und Homeoffice-Pflicht, gegenüber dem langjährigen Trend keine besonderen Abweichungen auf (s. Abbildung 17). Da die Feinstaubbelastung zu einem grossen Teil von importierten Anteilen und weniger von lokalen Emissionen abhängt, beeinflusst die während der Corona-Massnahmen festgestellte Verkehrsreduktion in der Stadt Zürich die Jahresmittelwerte nicht wesentlich. Ebenfalls eine Rolle spielen dürfte, dass Feinstaub im Vergleich zu den Stickoxiden zu einem grösseren Anteil aus Quellen stammt, welche vom Lockdown und der Homeoffice-Pflicht nicht oder weniger betroffen waren als der Strassenverkehr. Zu diesen Quellen gehören zum Beispiel Heizungen sowie Industrie und Gewerbe.

6.3.2 Feinstaub Inhaltsstoffe

Feinstaub besteht aus verschiedensten chemischen Substanzen. Je nach Quelle weist er eine unterschiedliche Zusammensetzung auf und enthält Stoffe, die eine negative Auswirkung auf die Gesundheit haben. Für die Schwermetalle Blei und Cadmium sind in der LRV Grenzwerte festgelegt. Von gesundheitlicher Relevanz sind insbesondere auch krebserregende Bestandteile, zu denen z. B. (Diesel-)Russ oder auch die Substanzgruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) gehören.

Zusätzlich zu diesen, seit längerem bekannten und aus Verbrennungsprozessen stammenden Feinstaubbestandteilen, rückt aktuell auch vermehrt das schädliche Potential von Abriebpartikeln aus Bremsbelägen, Kupplungen oder Reifen in den Fokus. So zeigen in einer neueren Studie metallhaltige Bremsabriebpartikel ähnlich toxische Eigenschaften wie Dieselpartikel ([15], [10]).

Gemäss einer weiteren Studie ist der Feinstaub, dem die Bevölkerung in städtischen Regionen ausgesetzt ist, stärker gesundheitsgefährdend, als derjenige in ländlichen Regionen [16]. Als Mass für die Gesundheitsgefährdung wurde dabei das oxidative Potential verschiedener Feinstaubproben untersucht. Dies war in Proben von städtischen Standorten höher als in ländlichen Gegenden. Wie stark das oxidative Potential ausfällt, wird massgeblich durch den Anteil an Metallemissionen aus dem Bremsabrieb und durch sogenannte anthropogene sekundäre organische Aerosole (Teil der organischen Fraktion des Feinstaubes, meist aus Holzfeuerungen) bestimmt. Massenhässig machen diese Bestandteile aber nur einen kleinen Anteil des gesamten Feinstaubes aus. Neben der Menge an Feinstaub ist also auch dessen Zusammensetzung ein wesentlicher Faktor, wenn die gesundheitlichen Auswirkungen im Fokus stehen.

Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, analysiert der UGZ im Rahmen der periodischen Messkampagnen Feinstaubproben auf problematische Einzelsubstanzen und quantifiziert die verschiedenen Fraktionen der Gesamtzusammensetzung. Die Zusammensetzung liefert Informationen zu lokalen und importierten Beiträgen und lässt Rückschlüsse auf Emissionsquellen zu.

6.3.2.1 Russ / Elementarer Kohlenstoff

Entstehung

Russ wird im städtischen Umfeld hauptsächlich durch Verbrennungsprozesse im motorisierten Strassenverkehr, sowie durch Baumaschinen und Feuerungen freigesetzt. Dabei handelt es sich um sehr feine Partikel, die tief in die Lunge eindringen können. Moderne Dieselmotoren beispielsweise, stossen Partikel mit einem Durchmesser von lediglich 5–20 nm aus [17].

Die Abgasvorschriften für Dieselmotoren haben sich bezüglich Partikelemissionen durch die Implementation der Euro-Normen laufend verschärft. Ab Inkrafttreten von Euro 5 im Jahr 2009 wurde die Verwendung eines Partikelfiltersystems de facto zur Pflicht, um die Emissionsgrenzwerte einhalten zu können [18]. Mit dem Einsatz von Partikelfiltern kann die Anzahl der ultrafeinen Russpartikel um mindesten 95 % reduziert werden [19]. Partikelfilter sind in der Schweiz auch bei Baumaschinen Pflicht. Die Praxistauglichkeit derartiger Systeme ist heute für alle Fahrzeugkategorien unbestritten.

Mit Aufkommen der Direkteinspritzung wurden Russ-Emissionen vermehrt auch bei Benzinern ein Thema. Moderne Benzinmotoren mit Direkteinspritzung stossen gemäss neueren Untersuchungen gleiche Mengen an Russpartikeln aus wie ältere Dieselmotoren ohne Partikelfilter [20]. Die Emissionsvorschriften wurden in der Zwischenzeit auch für diese Motorentypen verschärft [22]. Da die Abgasnormen für neuzugelassene Fahrzeuge gelten, entfalten sie Ihre gesamte Wirkung jedoch erst zeitverzögert bei einer Erneuerung des Fahrzeugbestandes.

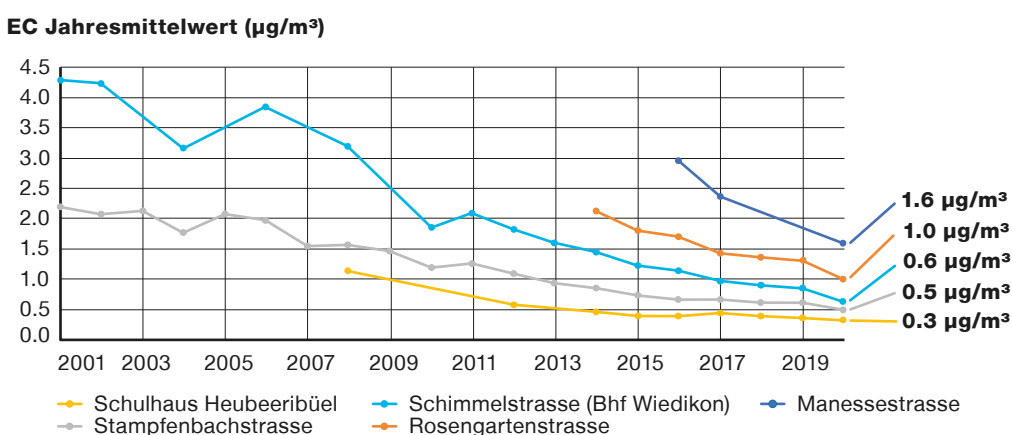
Gesundheitliche Auswirkungen

Russ wird als elementarer Kohlenstoff (EC) bestimmt. Wie für alle kanzerogenen Luftschadstoffe gilt für Russ das Minimierungsgebot, d.h. die Immissionen sollten prinzipiell so gering wie nur möglich gehalten werden. Dementsprechend sind in der LRV auch keine Grenzwerte für diese Schadstoffe festgelegt (s. auch Anhang 1). Zur Beurteilung der gemessenen Immissionen kann gemäss Eidgenössischer Kommission für Lufthygiene (EKL) das als «tolerierbar» eingestufte Krebsrisiko von einem durch Russ verursachten Krebsfall pro Million Einwohner beigezogen werden. Dies würde einer Konzentration von $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittel entsprechen. Für die am stärksten verkehrsbelasteten Standorte postuliert die EKL basierend darauf einen Richtwert von maximal $0.2\text{--}0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel [21].

Russbelastung 2020

Die in der Stadt Zürich gemessenen Russwerte sinken seit Messbeginn kontinuierlich. Seit 2001 haben sie um rund 80 % abgenommen (s. Abbildung 20). Die relativ grosse Spannweite der Russbelastung, im Vergleich zu PM₁₀, spiegelt den hohen Beitrag der lokalen Russemissionen wider. Aktuell liegen die Konzentrationen an allen Messstandorten im Bereich von $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oder darüber. Somit wird der EKL-Richtwert in der Stadt Zürich flächendeckend überschritten. An Standorten mit starkem Verkehrseinfluss betragen die gemessenen Konzentrationen ein vier- bis fünffaches des Richtwertes.

Abbildung 20: Jahresmittelwerte elementarer Kohlenstoff bzw. Russ im Feinstaub 2001–2020 (EKL-Richtwert für am stärksten verkehrsbelastete Standorte $0.2\text{--}0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



6.3.2.2 Schwermetalle und weitere Metalle

Die Schwermetalle Blei und Cadmium werden durch Grenzwerte in der LRV reglementiert. Als Bestandteil des Feinstaubes gelangen sie über die Atemwege in den Körper, wo sie ihre gesundheitsschädigenden Auswirkungen entfalten. Daneben finden sich im Feinstaub weitere Metallanteile.

Blei und Cadmium

Mit der kontinuierlichen Reduktion des Bleigehaltes im Benzin bis hin zum definitiven Verbot im Jahr 2000 sowie der Ausrüstung der Kehrlichtheizkraftwerke mit Rauchgasreinigungen in den 80er und 90er Jahren, sank der Bleigehalt im Feinstaub rapide. Heute ist Blei im Feinstaub nur noch in Spuren nachweisbar. Die Werte von 2020 liegen an allen Messorten unter 3 ng/m³.

Jahresmittelwert Blei im Feinstaub PM10 (ng/m³)

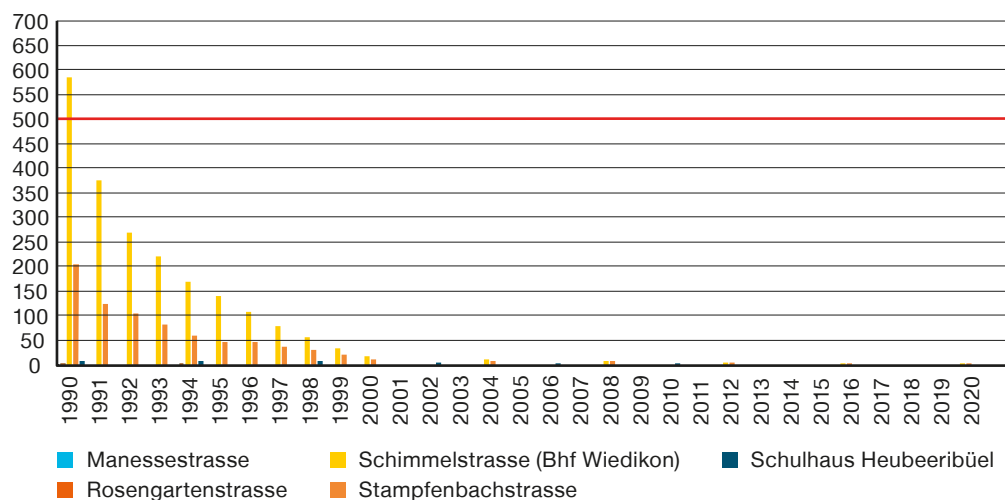


Abbildung 21: Jahresmittelwerte von Blei im Feinstaub PM10⁶ von 1990 bis 2020 (Rote Linie: Grenzwert LRV).

Der Cadmium-Anteil im Feinstaub PM10 sinkt seit 1990 ebenfalls laufend und liegt bereits seit den 1990er Jahren deutlich unter dem Grenzwert der LRV. Im Jahr 2020 lag die Cadmiumbelastung an allen Messorten unter 0.2 ng/m³.

Jahresmittelwert Cadmium im Feinstaub PM10 (ng/m³)

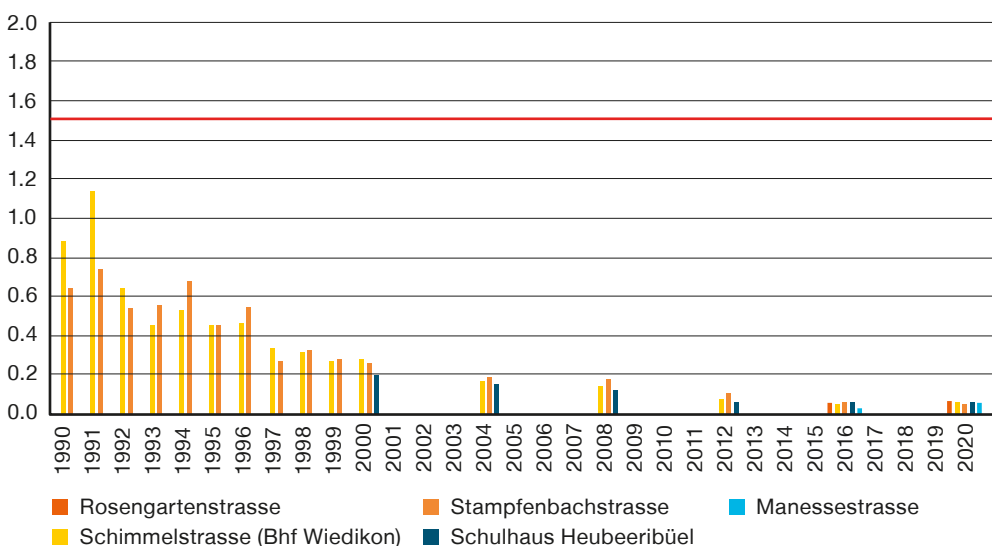


Abbildung 22: Jahresmittelwerte von Cadmium im Feinstaub PM10⁷ von 1990 bis 2020 (Rote Linie: Grenzwert LRV).

6 Vor 1997: Bleibelastung im Gesamtschwebestaub.

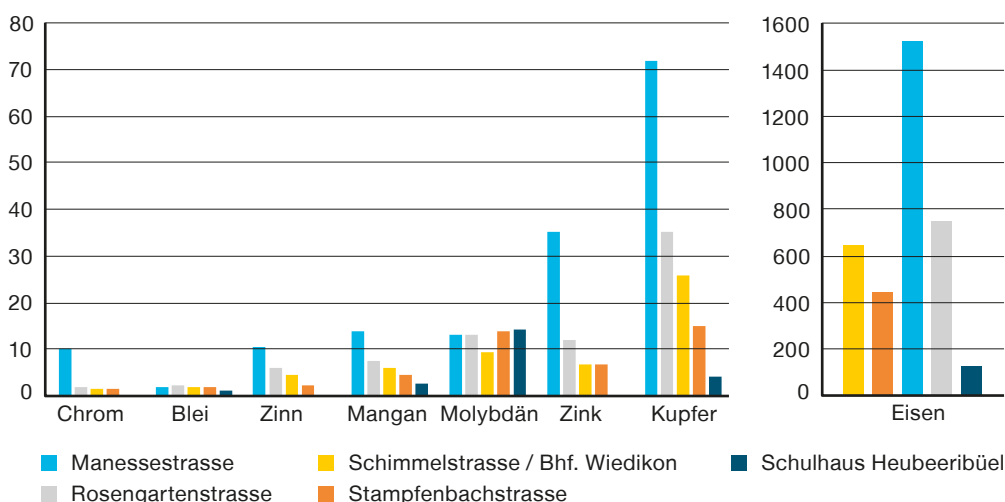
7 Vor 1997: Cadmiumbelastung im Gesamtschwebestaub (TSP).

Weitere Metalle

Neben den reglementierten Schwermetallen Blei und Cadmium findet sich im Feinstaub PM10 eine Reihe weiterer Metalle, wobei Eisen den mengenmässig grössten Anteil ausmacht. Viele dieser Metalle stammen in erster Linien aus Abriebprozessen des Strassen- und Schienenverkehrs. Dementsprechend zeigen mehrere Metalle einen direkten Bezug zum Verkehrsaufkommen am jeweiligen Messort (s. Abbildung 23).

Abbildung 23: Jahresmittelwert 2020 der Metallanteile im Feinstaub PM10⁸.

Jahresmittelwert Metall im Feinstaub PM10 (ng/m³)

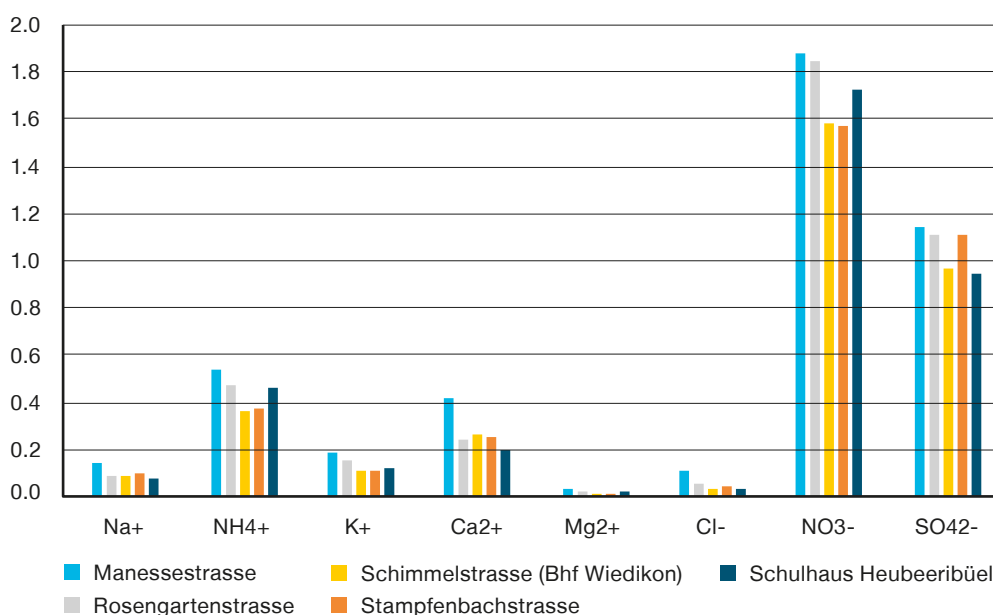


6.3.2.3 Ionen (Salze)

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil im Feinstaub PM10 sind Salze, die vorwiegend aus der chemischen Umwandlung gasförmiger Vorläuferschadstoffe (NH₃, NO_x, SO₂) entstehen. Die Summe der Ionen ist, unabhängig vom Messort, in etwa gleich gross. Diese Konstanz lässt darauf schliessen, dass diese Fraktion Bestandteil der Hintergrundbelastung ist, von städtischen Quellen nur wenig beeinflusst wird und demnach in die Stadt importiert wird.

Abbildung 24: Jahresmittelwerte der Ionenanteile im Feinstaub PM10 im Jahr 2020.

Jahresmittelwert Metall im Feinstaub PM10 (ng/m³)



8 Nicht aufgeführt:
 - Kobalt, Cadmium: <0.2ng/m³
 - Antimon, Arsen, Thallium, Nickel: < Nachweisgrenze
 - Aluminium: Analytikprobleme / nicht quantifizierbar

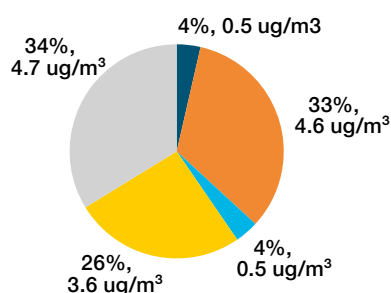
6.3.2.4 Zusammenfassung der Inhaltsstoffe

Mit der vorliegenden Methodik machen die identifizierten Anteile ca. zwei Drittel der Gesamtbelastung aus. Zum nicht identifizierten Anteil tragen unter anderem siliziumhaltige Stäube wie zum Beispiel Saharastaub, oder aus messtechnischen Gründen nicht quantifizierbare metallische Anteile (s. Abschnitt 6.3.2.2) bei.

Als zusätzliche Fraktion wird in der Zusammenfassung der Inhaltsstoffe der organische Anteil (OM, organic matter) des Feinstaubes aufgeführt. Dieser beinhaltet z. B. an den Partikeln anhaftende PAH, sekundär aus VOC gebildeter Feinstaub oder auch Pollenfragmente und Reifenabrieb. Die Zusammensetzung des Feinstaubes, der im Rahmen der Messkampagne untersuchten Standorte, ist in (Abbildung 25) gezeigt. Der Feinstaub PM10 an den Stadt Zürcher Messstationen besteht je nach Standort zu ca. 5–15% aus Russ- und Metallpartikeln. Die restlichen Anteile verteilen sich zu ungefähr gleichen Anteilen auf organisches Material, Salze und nicht identifizierte Substanzen. Während die Salzanteile und organischen Fraktionen bei allen Messorten relativ konstant sind, zeigen der krebserregende Russ und die gesundheitlich ebenfalls bedenklichen Metallpartikel einen klaren Zusammenhang mit der Verkehrsbelastung an den Messorten.

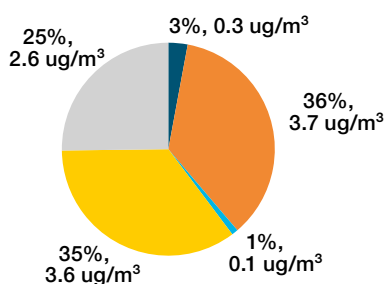
Stampfenbachstrasse

Jahreswert PM10: 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



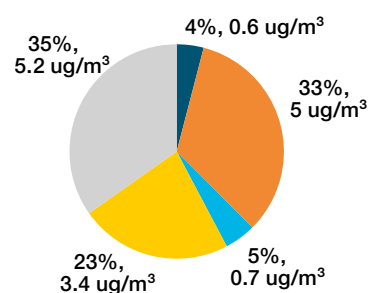
Heubeeerbuhl

Jahreswert PM10: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



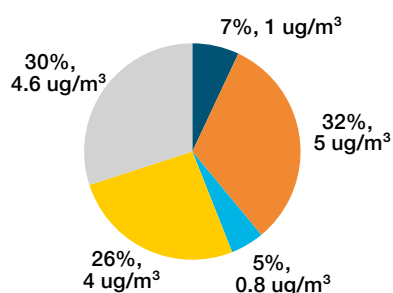
Schimmelstrasse

Jahreswert PM10: 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



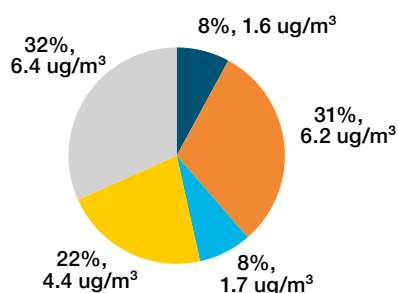
Rosengartenstrasse

Jahreswert PM10: 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Manessenstrasse

Jahreswert PM10: 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



- Elementarer Kohlenstoff / «Russ»
- Organisches Material
- Metalle und Schwermetalle
- Salze
- Nicht identifiziert

Abbildung 25: Feinstaubzusammensetzung (PM10) an den Stadt Zürcher Messstationen 2020. Zunehmende Verkehrsbelastung in aufsteigender Reihenfolge: Schulhaus Heubeeerbuhl, Stampfenbachstrasse, Schimmelstrasse, Rosengartenstrasse. Zusätzlich Hot-Spot Messort Manessenstrasse. (Basis: Jahresmittelwerte).

6.3.3 Ultrafeine Partikel (UFP)

Ultrafeine Partikel (UFP) bezeichnen die kleinste Fraktion des Feinstaubes mit einem Durchmesser von kleiner als 100 Nanometer (nm). Sie werden als Partikelanzahl pro Volumeneinheit der Luft (PNC) gemessen. Obwohl die ultrafeinen Partikel zahlenmässig den grössten Anteil des Feinstaubes darstellen, machen sie nur einen geringen Anteil der Gesamtmasse des Feinstaubes aus [22], [23], [24].

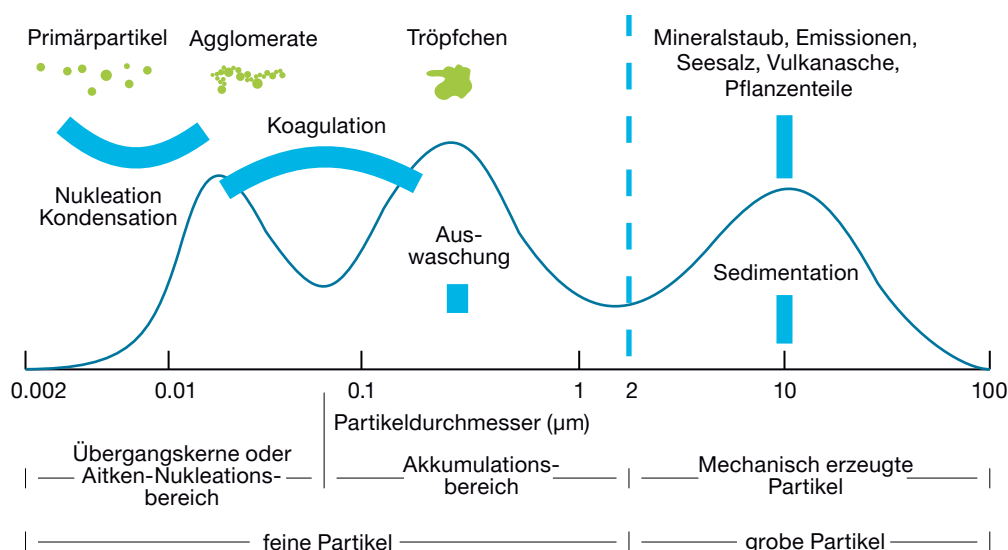
Entstehung

In städtischen Gebieten sind in der Regel Verbrennungsprozesse im Strassenverkehr und von Heizungen die wichtigsten Quellen von UFP. Dazu kommen Emissionen von Industrie, Flugverkehr und Schifffahrt. Diese Partikel werden direkt von diesen Quellen ausgestossen oder in der Luft aus gasförmigen Vorläuferschadstoffen gebildet, welche ebenfalls aus anthropogenen Verbrennungsprozessen oder natürlichen Emissionen stammen [22], [25], [21], [26].

Primär gebildete Partikel bestehen oft hauptsächlich aus EC. Auf der Oberfläche dieser Partikel können ausserdem krebserregende Substanzen wie PAH haften bleiben [27].

Normalerweise wachsen die ultrafeinen Partikel durch Kondensation und Koagulation relativ rasch zu einem Durchmesser von 0.1 bis 1 μm an und werden dem Akkumulationsmodus zugerechnet. Partikel dieser Grössenklasse besitzen die längste Aufenthaltsdauer in der Atmosphäre [25] (Abbildung 26).

Abbildung 26: Schematische multimodale Partikelgrössenverteilung (modifiziert nach [28], [29]).



Gesundheitliche Auswirkungen

Die gesundheitlichen Auswirkungen von ultrafeinen Partikeln sind wissenschaftlich noch nicht abschliessend beurteilt. Studien weisen aber darauf hin, dass UFP über den Atemtrakt hinaus bis in die Blutbahn gelangen und auch die Blut-Hirnschranke überwinden können. Die gesundheitlichen Auswirkungen betreffen somit nicht nur das Atemwegsystem wie die gröberen Partikel, sondern den gesamten Körper [30], [21], [31], [22].

In der Luftreinhalte-Verordnung gibt es bisher keinen Immissionsgrenzwert für UFP. Die Messverfahren sind zudem international noch nicht harmonisiert und für die Festlegung von Richtwerten fehlt laut World Health Organization (WHO) ausreichende Evidenz, insbesondere zur Langzeitwirkung von ultrafeinen Partikeln. Die EKL wie auch die neue WHO-Luftqualitätsrichtlinie empfehlen jedoch, Messungen zu diesem Parameter durchzuführen, da seine Risiken Anlass zur Sorge geben und Daten erforderlich sind, um die Grundlage für epidemiologische Studien zu verbessern [21], [30].

Partikelanzahl 2020

Partikelanzahl (1/cm³)

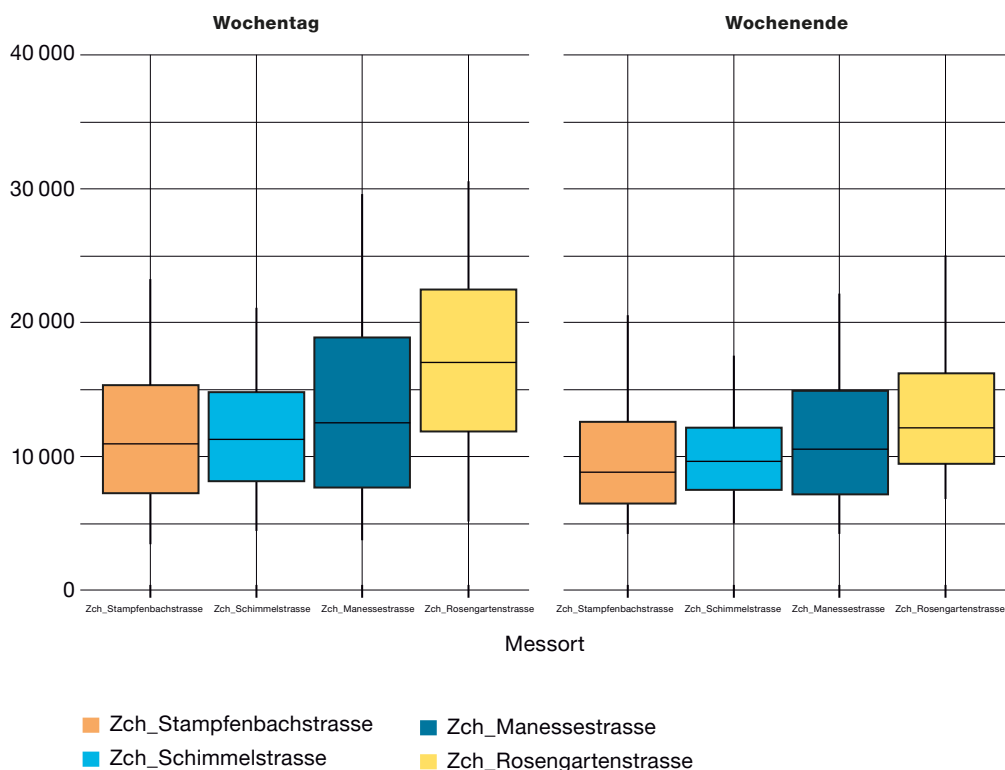


Abbildung 27: Boxplot der Partikelanzahl an vier verschiedenen Standorten in der Stadt Zürich (17. Juli bis 24. August 2020). Untere Box = 25 %-Perzentil, Strich = Median, obere Box = 75 %-Perzentil, Whiskers = 1.5x IQR.

In Übereinstimmung mit den EKL- und WHO-Empfehlungen misst das UGZ die Partikelanzahl an den drei Messstationen Stampfenbachstrasse, Wiedikon und Rosengartenstrasse kontinuierlich und an weiteren Messorten periodisch. Im Zeitraum von Ende Juli bis Ende August 2020 standen Daten von Partikelanzahlmessungen von vier verschiedenen Messorten des UGZ zu Verfügung. Die Abbildung 27 zeigt exemplarisch die Belastungssituation an den vier Messstationen im Verlaufe dieses Zeitraumes.

Der Mittelwert an diesen städtischen Standorten mit Verkehrseinfluss liegt werktags zwischen 12000–18000 Partikeln pro cm³. Dies entspricht ungefähr den Konzentrationen, die an vergleichbaren Schweizer Standorten gemessen wurden [32].

Das Verkehrsaufkommen variiert im Lauf der Woche: An den Wochenenden passieren deutlich weniger Fahrzeuge die Messstationen als an Werktagen. Die Rosengartenstrasse beispielsweise verzeichnet am Wochenende einen Verkehrsrückgang von rund 20 %. Zudem sind fast keine schweren Nutzfahrzeuge unterwegs. Dies spiegelt sich in den Messwerten der UFP wieder: Die 95 %-Perzentile, Mediane und Mittelwerte liegen bei allen Standorten an den Wochentagen rund 15–30 % höher als an den Wochenenden.

Während sich die PM10-Jahresmittelwerte zwischen der mittelmässig belasteten Stampfenbachstrasse und der stark verkehrsexponierten Rosengartenstrasse um ca. 7 % unterscheiden (Jahresmittelwert 14 µg/m³ und 15 µg/m³), sind bei den durchschnittlichen Partikelanzahl-Belastungen grössere Unterschiede zu beobachten. Das gilt sowohl für den statistisch robusten Median wie auch den Mittelwert, der bei der Rosengartenstrasse ca. 30 % höher ausfällt.

Die Partikelanzahl scheint somit ein guter Verkehrsindikator zu sein und stellt eine Zusatzinformation zu der von grösseren Partikeln dominierten Massenkonzentration dar.

6.3.4 Staubniederschlag

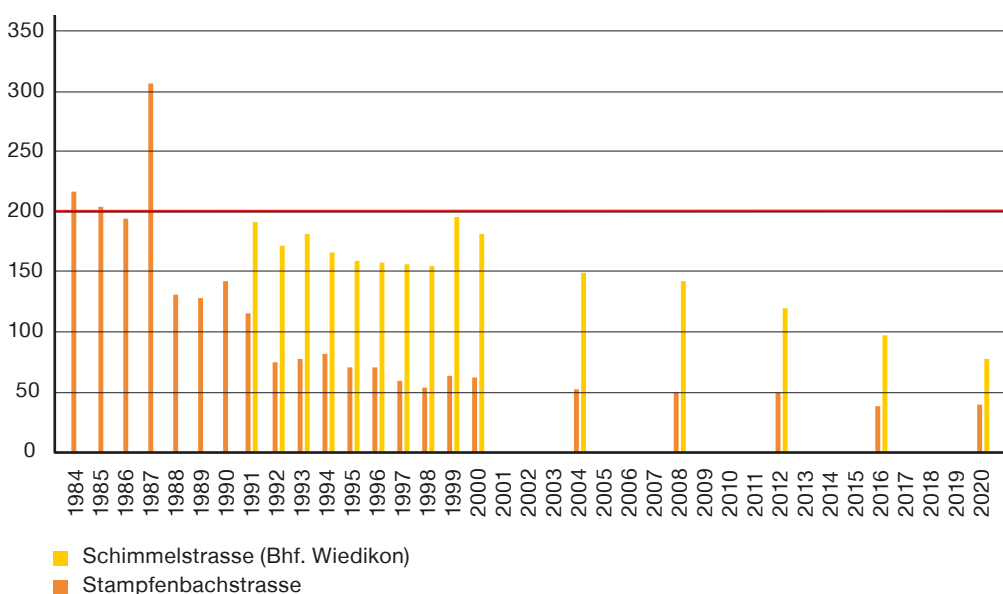
Die chemische Zusammensetzung des (Grob-)Staubniederschlages weist eine ähnliche Komplexität auf wie diejenige des Feinstaubes. Relevante Inhaltsstoffe sind in erster Linie Schwermetalle und persistente Stoffe mit umweltschädigender Wirkung, wie zum Beispiel Dioxine.

Staubniederschlag besteht aus groben Partikeln, die nicht eingeatmet werden, und hat deshalb kaum direkte Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Indirekt stellen jedoch die Schwermetalle im Staubniederschlag ein Gesundheitsrisiko dar. Sie reichern sich in Böden und Pflanzen über lange Zeit an und können über die Nahrungskette aufgenommen werden. Sie beeinträchtigen zudem die Bodenfruchtbarkeit.

Mit der Festlegung von Grenzwerten für diverse Schwermetalle soll der Schwermetalleintrag begrenzt und damit der Boden vor Langzeitschäden geschützt werden.

Abbildung 28: Staubniederschlag von 1984–2020. (Rote Linie: Grenzwert LRV)

Staubniederschlag Jahresmittelwert (mg/m²/Tag)



Der Staubeintrag in die Böden hat in den letzten dreissig Jahren kontinuierlich abgenommen und liegt heute klar unter dem Grenzwert. Seit dem Jahr 2000 wird der Parameter nur noch alle vier Jahre, im Rahmen der periodischen Messkampagnen erfasst. Dasselbe gilt für den Blei-, und Cadmiumgehalt, die im selben Zeitraum ebenfalls massiv abgenommen haben und aktuell deutlich unter den Grenzwerten liegen (s. Anhang A5).

Die Abnahme des Zinkeintrages erfolgte etwas weniger schnell als bei Blei und Cadmium. Letztmals wurde der Grenzwert 2008 am Messort Schimmelstrasse überschritten. Seither wurden jedoch keine Überschreitungen des Grenzwertes mehr registriert.

6.4 Flüchtige organische Verbindungen

Entstehung

Flüchtige organische Verbindungen (VOCs) sind eine Gruppe von organischen Substanzen mit unterschiedlichen chemischen Eigenschaften und Verwendungszwecken. Gemeinsam ist ihnen, dass sie leichtflüchtig sind, also bei Raumtemperatur rasch verdampfen. Beispiele für VOCs sind Treibstoffbestandteile, darunter verschiedene Alkane und aromatische Komponenten. Sie werden zudem in Industrie und Gewerbebetrieben, aber auch im Haushalt als Lösungsmittel eingesetzt, wo sie z. B. in Farben, Klebstoffen oder Reinigungsmitteln vorkommen. Neben anthropogenen Quellen können VOCs auch natürlichen Ursprungs sein, wie dies bei Terpenemissionen von Pflanzen der Fall ist.

In der Aussenluft tragen VOCs zur sekundären Bildung von Feinstaub bei und bilden, zusammen mit den Stickoxiden, Vorläuferschadstoffe für die Ozonbildung. Sämtliche Strategien zur Senkung der Ozonbelastung setzen deshalb richtigerweise auch bei der Reduktion dieser Vorläuferschadstoffe an.

Seit den 80er Jahren wurden schrittweise Massnahmen ergriffen, um die VOC-Emissionen zu senken. So wurde unter anderem der Benzolgehalt im Benzin auf 1 % beschränkt, Gasrückführungen bei Tankanlagen vorgeschrieben, oder eine VOC-Abgabe eingeführt. Auch der Katalysator bei den Motorfahrzeugen trug zu einer starken Reduktion der Gesamtemissionen bei. Im Vergleich zu 1990 haben die VOC-Emissionen in der Stadt Zürich im Jahr 2020 um rund 80 % abgenommen. Der sinkende Trend setzte sich auch in den letzten 5 Jahren mit einer Reduktion von rund 25 % gegenüber 2015 fort (Abbildung 29).

In der Stadt Zürich stammte 2020 knapp die Hälfte der VOC Emissionen aus der Industrie und dem Gewerbe [5]. Eine weitere wichtige Quelle stellen die Haushalte dar. Der Strassenverkehr und der Treibstoffumschlag tragen aktuell nur noch geringfügig zu den Gesamt-VOC-Emissionen auf dem Züricher Stadtgebiet bei.

Im Gegensatz dazu stammt Benzol fast ausschliesslich aus dem Strassenverkehr und von Tankanlagen, da das Inverkehrbringen von Produkten mit einem Benzolgehalt von mehr als 0.1 %, in Industrie und Gewerbe, verboten wurde [5].

VO-Emissionen (Tonnen/Jahr)

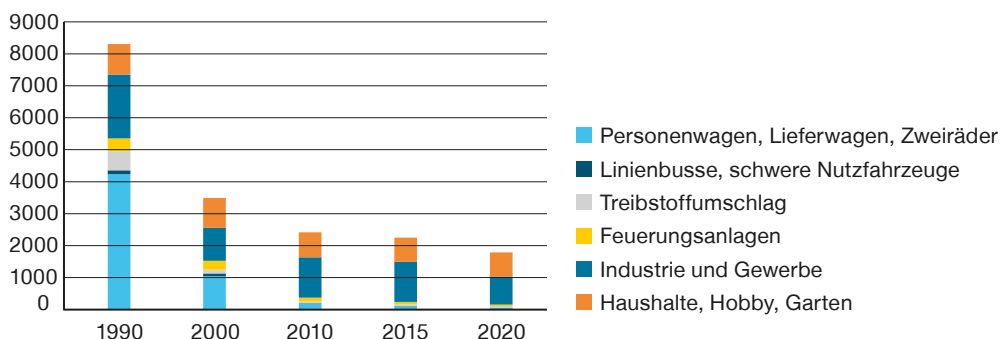


Abbildung 29: VOC-Emissionen in der Stadt Zürich nach Verursachergруппen (Prozentualer Anteil 2020: 49 % Industrie und Gewerbe, 42 % Haushalte, Hobby, Garten, je 3 % Treibstoffumschlag, Personenwagen, Feuerungen). [5]

Gesundheitliche Auswirkungen

Da es sich bei den VOCs um eine sehr heterogene Gruppe von Substanzen handelt, ist auch ihr Gesundheitsrisiko sehr unterschiedlich. Verschiedene VOCs weisen toxische oder krebserregende Wirkungen auf. Eine besondere Stellung nimmt darunter Benzol ein, dessen Verwendung aufgrund seiner Kanzerogenität stark reguliert ist. In der EU gilt seit 2010 ein Grenzwert von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Benzol, der jedoch von der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene als nicht ausreichend im Sinn des Schutzanspruchs der Schweizer Bevölkerung betrachtet wird [33]. Für Benzol sowie für die anderen VOCs sind in der LRV keine Immissions-Grenzwerte festgelegt. Wie für alle kanzerogenen Substanzen gilt das Minimierungsgebot, das heisst, die Exposition der Bevölkerung sollte so gering wie möglich sein.

Langzeitentwicklung

Die seit 1994 in der Stadt Zürich durchgeführten Messungen zeigen, dass die getätigten Anstrengungen in der Luftreinhaltepolitik und die dadurch erzielten Emissionsminderungen auch immissionsseitig ihre Wirkung entfalten. Die VOC-Konzentrationen in der Stadtluft sind in den letzten 20 bis 30 Jahren stark zurückgegangen (Abbildung 30 und 31). Die Summe der VOC-Immissionen sind gegenüber dem Jahr 2000 um ca. 75 % zurückgegangen, mit einem anhaltenden abnehmenden Trend in den letzten fünf Jahren. Dasselbe gilt für die Benzolbelastung, die 2020 an allen Standorten weniger $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ betrug. Trotz der erfolgreichen Reduktion der VOCs (und der Stickoxide) als Ozonvorläufer werden die Grenzwerte für Ozon aktuell immer noch zu häufig überschritten (s. Abschnitt 6.2).

Der mengenmässig grösste Anteil an VOCs bilden an allen stadtzürcher Messorten die aromatischen Kohlenwasserstoffe, welche aus dem Verkehr, Industrie/Gewerbe und dem Einsatz in Haushaltsprodukten stammen (Abbildung 32). Zu wesentlich kleineren Anteilen tragen die chlorierten VOCs (Einsatz in Industrie und Gewerbe) und die aliphatischen Kohlenwasserstoffe (zum grössten Teil aus dem Verkehr) zur VOC-Belastung bei. Eine vierte Stoffgruppe bilden die Terpene, welche natürlichen Ursprungs sind, aber auch in Haushaltsprodukten oder in gewerblichen Anwendungen vorkommen können (s. auch Anhang A6).

Abbildung 30: Jahresmittelwerte der VOC-Summe in der Stadt Zürich 1994–2020 (Summe von 33 VOCs gemäss Liste im Anhang A6).

Summe VOC Jahresmittelwerte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

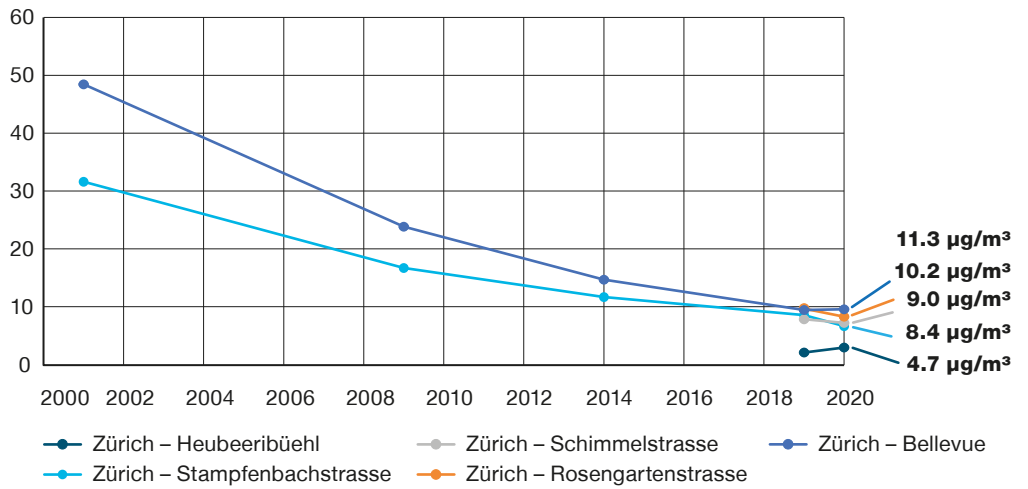


Abbildung 31: Jahresmittelwerte Benzol in der Stadt Zürich 1994–2020.

Benzol Jahresmittelwerte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

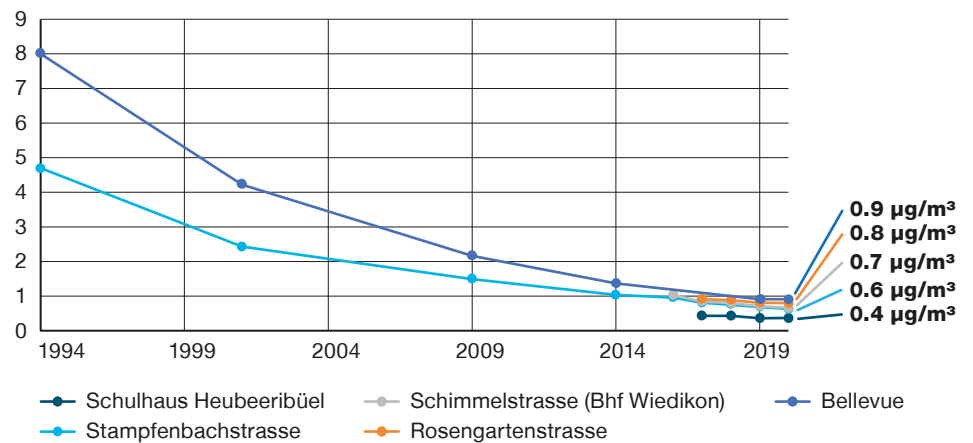
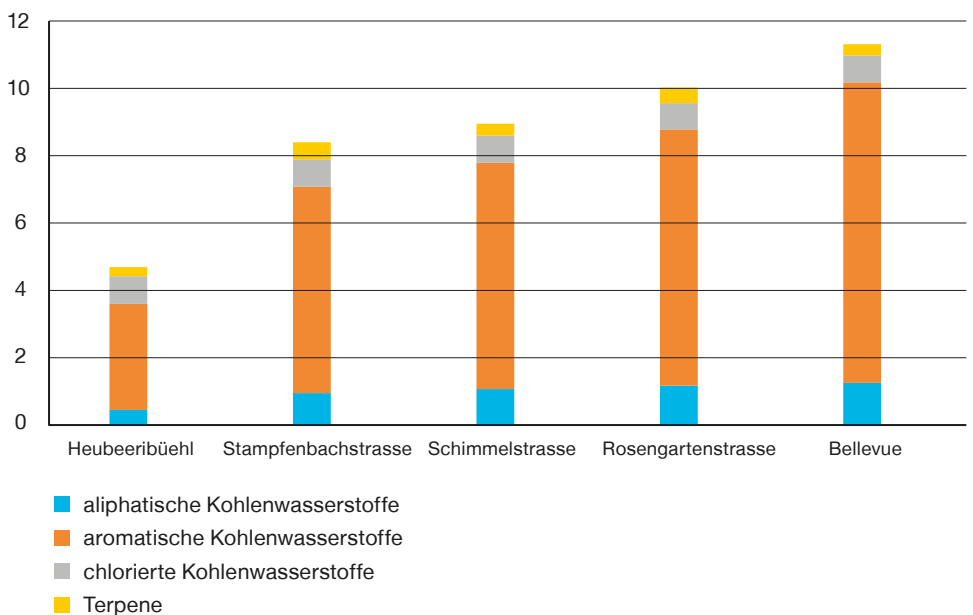


Abbildung 32: VOC-Belastung an den Messorten der Stadt Zürich 2020 nach Stoffklassen.

Summe VOC Jahresmittelwert 2020 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



6.5 Kohlenmonoxid

Entstehung

Kohlenmonoxid (CO) entsteht bei Verbrennungsprozessen, wenn ungenügend Sauerstoff für die Verbrennung zur Verfügung steht. Es kann in fast allen Verbrennungsabgasen nachgewiesen werden. 51 % der CO-Emissionen in der Stadt Zürich werden vom motorisierten Strassenverkehr ausgestossen [5], 25 % stammen aus Feuerungsanlagen.

CO-Emissionen (Tonnen/Jahr)

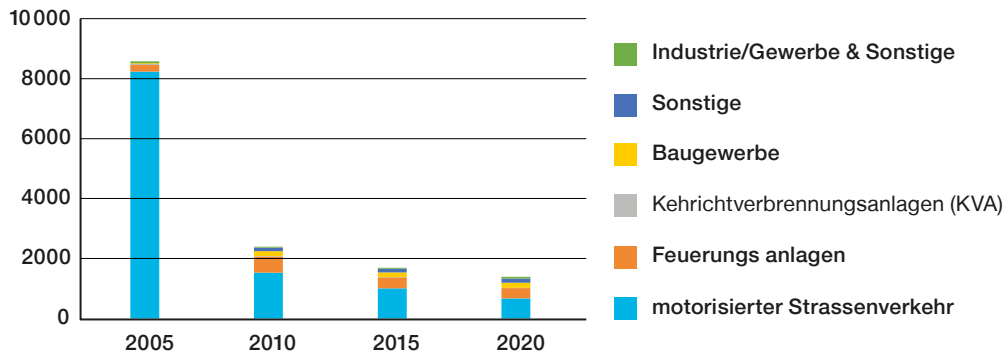


Abbildung 33: Kohlenmonoxid-Emissionen in der Stadt Zürich nach Verursacherguppen.

(Prozentuale Anteile 2020: 51 % motorisierter Strassenverkehr, 25 % Feuerungsanlagen, 13 % Baugewerbe, 11 % Sonstige, 1 % KVA). [5]

Gesundheitliche Auswirkungen

Bei Mensch und Tier wirkt Kohlenmonoxid als Atemgift, da es sich rund 200- bis 300-fach stärker als der Sauerstoff an das Hämoglobin, den roten Blutfarbstoff im Blut, binden kann. So wird die Sauerstoffaufnahme bereits bei relativ geringen Konzentrationen behindert. In hohen Konzentrationen wirkt CO tödlich.

Langzeitentwicklung

Die Belastungen haben seit Beginn der Messungen kontinuierlich abgenommen. Moderne Motoren und Feuerungsanlagen stossen heute immer weniger CO aus. Die letzten Überschreitungen des maximalen Tageswertes datieren auf Mitte der 80er Jahre.

Lange wurde CO noch als Verkehrsindikator und Hilfsgrösse gemessen. Da der Verkehr immer weniger Kohlenmonoxid aussties und die Unterschiede zwischen den Messstationen immer kleiner wurden, wird CO seit 2016 nur noch am Messort Stampfenbachstrasse erfasst (Abbildung 34).

Max. CO Tageswert (mg/m³)

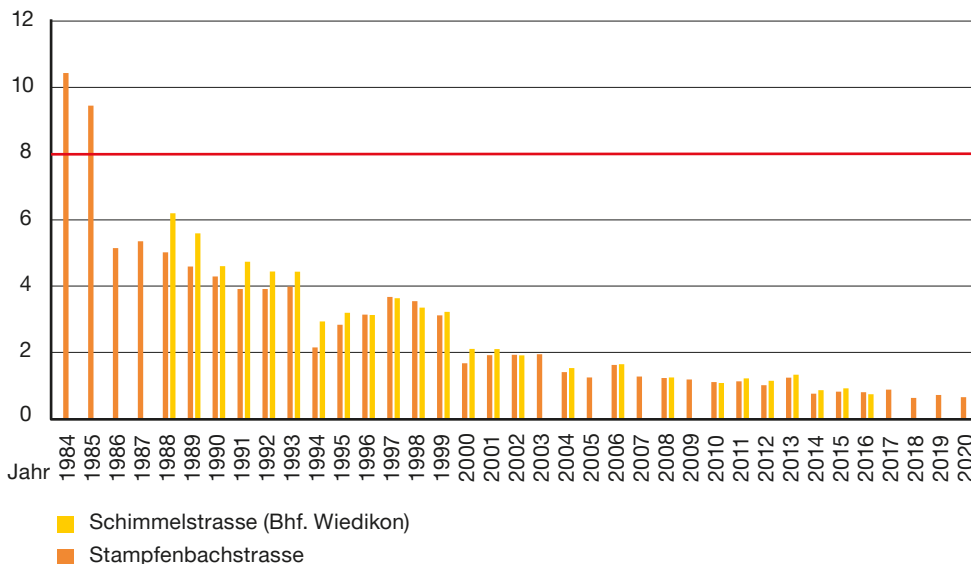


Abbildung 34: Entwicklung des maximalen Tageswertes für Kohlenmonoxid 1984 bis 2020 (Rote Linie: Grenzwert LRV).

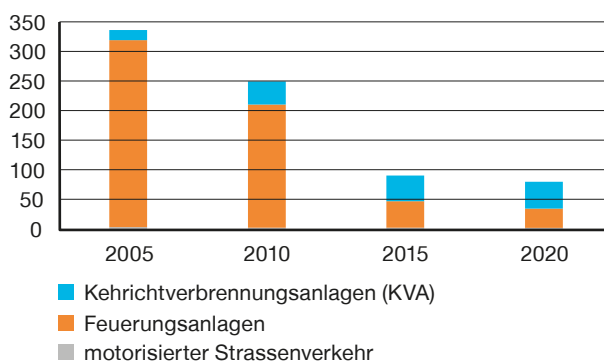
6.6 Schwefeldioxid

Entstehung

Alle fossilen Brenn- und Treibstoffe enthalten in unterschiedlichem Umfang Schwefelanteile. Bei ihrer Verbrennung entsteht Schwefeldioxid (SO_2). In der Stadt Zürich wird SO_2 von Feuerungsanlagen und den Kehrlichtheizkraftwerken freigesetzt.

Abbildung 35: Schwefeldioxid-Emissionen in der Stadt Zürich nach Verursachergruppen. (Prozentuale Anteile 2020: 57 % KVA; 41 % Feuerungsanlagen, 2 % motorisierter Strassenverkehr).
[5]

SO_2 -Emissionen (Tonnen/Jahr)



Gesundheitliche Auswirkungen und Umweltbelastung

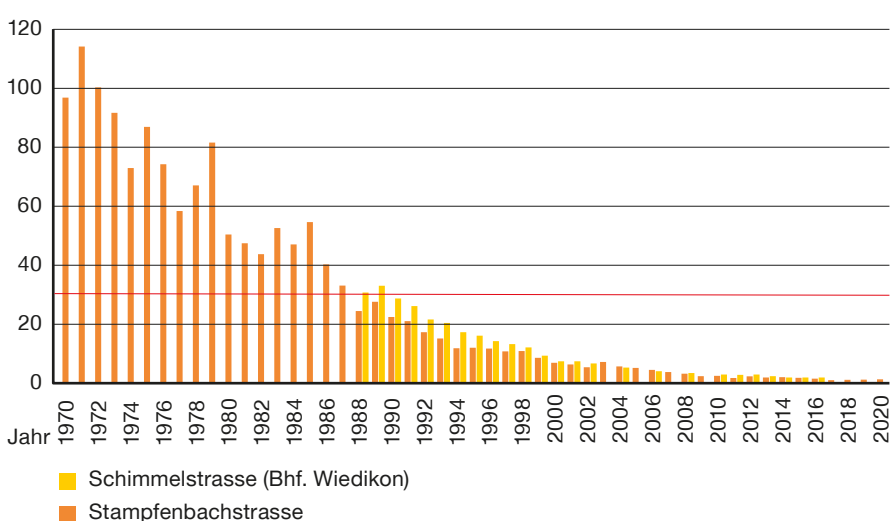
In Verbindung von SO_2 mit Wasser entsteht schweflige Säure und Schwefelsäure. Diese sind wesentliche Bestandteile von saurem Regen. Erhöhte Konzentrationen von SO_2 führen zu Reizungen der Augen und Schleimhäute und fördern Atemwegserkrankungen. Im Umfeld industrieller Betriebe, beispielsweise bei der Herstellung von Grafit, können unangenehme Geruchsbelästigungen auftreten. Pflanzen werden durch den von SO_2 verursachten Abbau des Blattgrüns geschädigt, saurer Regen hat eine Versauerung von Böden und Gewässern zur Folge und greift Gebäudefassaden an.

Langzeitentwicklung

Seit Beginn der Messungen in den frühen 70er Jahren hat sich die Luftbelastung durch SO_2 massiv gebessert. Die zunehmende Entschwefelung bei der Raffinierung von Brenn- und Treibstoffen hat zur Folge, dass heute kaum noch SO_2 in der stadtzürcher Luft nachgewiesen werden kann.

Abbildung 36: Entwicklung der Schwefeldioxid-Belastung (Jahresmittelwerte) 1970–2020 (Rote Linie: Grenzwert LRV).

SO_2 Jahresmittelwert ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Seit der Mitte der 90er Jahre waren keine Überschreitungen der Grenzwerte für Tages- und Jahresmittel mehr zu verzeichnen. In Folge der äusserts kleinen Konzentrationen wurde 2016 die Messung von SO_2 am Messort Schimmelstrasse eingestellt.

7

Projektmessungen

Die Manessestrasse ist eine stark befahrene Ein- und Ausfallstrasse in Zürich. Sie bildet die Verlängerung des in die Stadt führenden Autobahnasts A3W. Im Corona-Jahr 2020 ging die Verkehrsmenge im Vergleich zum Mittel der vorangegangenen fünf Jahre um 9 % zurück. Pro Tag befuhren aber auch im Jahr 2020 noch gut 43 000 Fahrzeuge die Strasse. Diese grosse Anzahl verteilt sich auf knapp 25 000 stadtauswärts und gut 18 000 stadteinwärts fahrende Fahrzeuge (Abbildung 37 und 38). Dabei kommt es stadteinwärts oft zu Stausituationen. Der Grossteil der stadtauswärts fahrenden Fahrzeuge befindet sich zudem in einer Beschleunigungsphase. Diese beiden Umstände erhöhen die Luftbelastungen in diesem stark befahrenen Strassenabschnitt noch zusätzlich.

7.1 Manessestrasse: Ein Hot-Spot der Luftbelastung in der Stadt Zürich

Der UGZ misst die Luftqualität an der Manessestrasse seit mehreren Jahren an zwei Messorten (Abbildung 38), um Erkenntnisse über die Luftqualität an solch stark belasteten Standorten in der Stadt Zürich zu erhalten. Dabei handelt es sich um Messorte, an denen zum hohen Verkehrsaufkommen zusätzlich weitere ungünstige Faktoren, starke Beschleunigung, Stausituationen oder eine geschlossene Bebauung, für eine hohe Luftbelastung sorgen.

Durch die oben beschriebenen Umstände werden seit Jahren übermässige Schadstoffbelastungen an der Manessestrasse festgestellt. Die Messwerte sinken zwar tendenziell, bewegen sich beim Stickstoffdioxid aber immer noch im Bereich des Doppelten des Grenzwertes (Abbildung 39). Wie die NO_2 -Belastung überschreitet auch die Feinstaubbelastung an der Manessestrasse die LRV-Grenzwerte. Dies ist für PM_{10} wie auch für $\text{PM}_{2.5}$ der Fall. Während der Grenzwert für PM_{10} knapp überschritten wurde, überstieg die $\text{PM}_{2.5}$ -Belastung an der Manessestrasse den LRV-Grenzwert um gut 30 % (Tabelle 4). Seit den ersten PM_{10} -Messungen an der Manessestrasse im Jahr 2016 haben sich die PM_{10} -Konzentrationen merklich verringert. Die Belastungen von $24.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ während der ersten beiden Messjahre verringerten sich bis ins Jahr 2020 auf $20.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abbildung 40).

Die Messresultate bedeuten, dass an Hot-Spot-Standorten die Belastung mit NO_2 und $\text{PM}_{2.5}$ aktuell klar zu hoch ausfällt. Auch bei einer Fortsetzung des aktuell beobachteten sinkenden Trends, ist nicht damit zu rechnen, dass die LRV-Grenzwerte für NO_2 an solchen Messorten in den nächsten Jahren eingehalten werden.

Abbildung 37: Durchschnittlicher Tagesverkehr an der Manessestrasse 2014–2020.

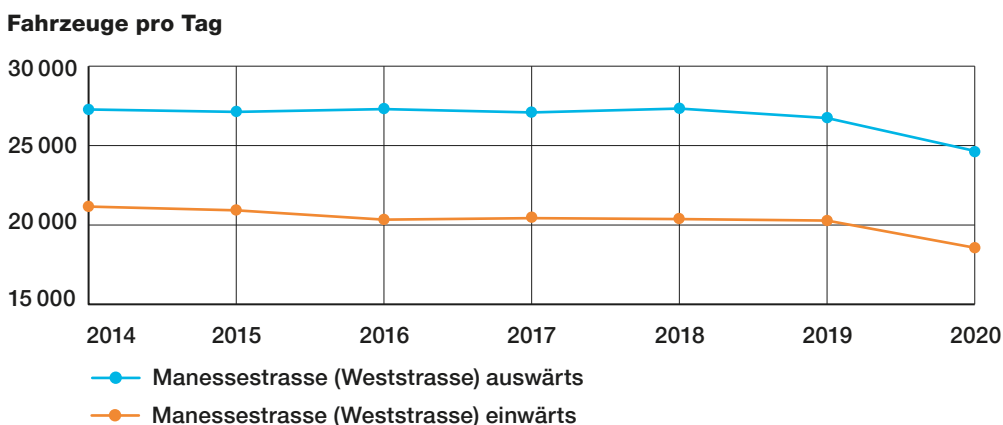
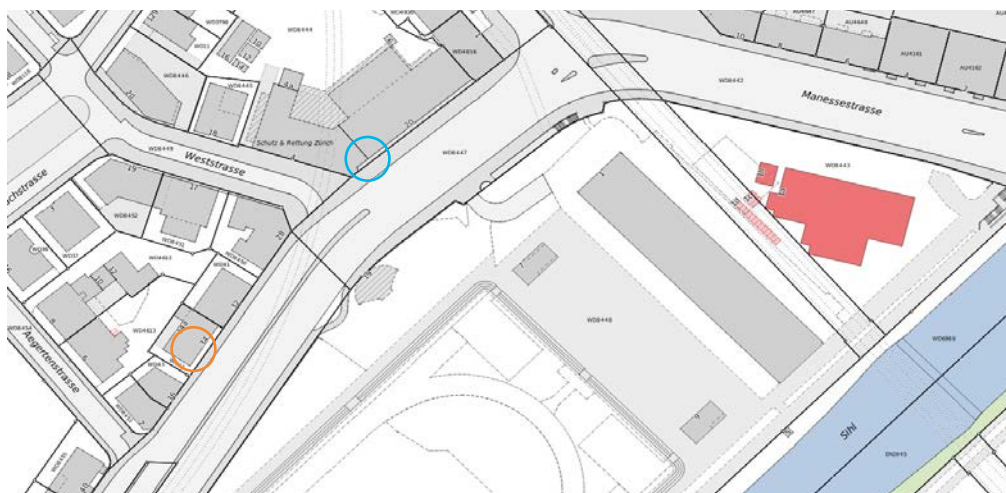


Abbildung 38: Lage der beiden Mess-Standorte Manessestrasse (Oranger Kreis: Manessestr. 34, Blauer Kreis: Manessestrasse 20).



NO Jahresmittelwert ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

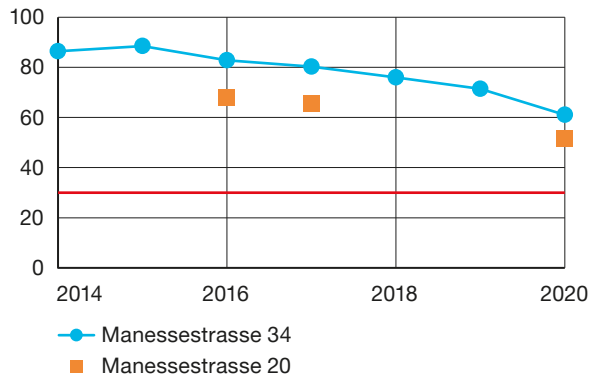


Abbildung 39: Verlauf der Stickstoffdioxid-Belastung an der Manessestrasse 2014–2020 (Rote Linie: LRV-Grenzwert).

Tabelle 4: Feinstaub (PM10 und PM2.5) Jahresmittel an der Manessestrasse 20

	Jahresmittelwert 2020	LRV-Grenzwert
PM2.5	13.1	10
PM10	20.5	20

PM10 Jahresmittelwert ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

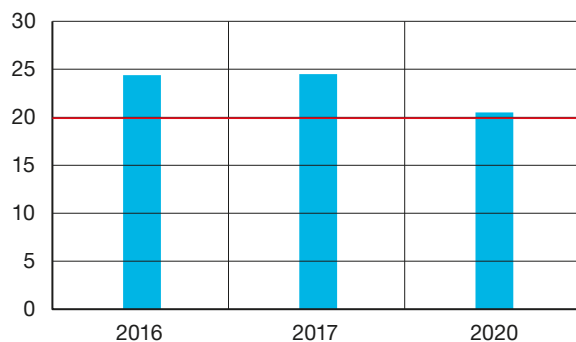


Abbildung 40: Feinstaub PM10 Jahresmittelwerte an der Manessestrasse 2016, 2017, 2020.

7.2 Autobahneinhausung Schwamendingen

Seit 1980 führt die Nationalstrasse A1L mitten durch das Wohnquartier Schwamendingen. Sie gehört zu den verkehrsreichsten Strassen in der Schweiz. Als Folge davon wurden diesem Quartier über Jahrzehnte übermässig starke Luft- und Lärmbelastungen zugemutet. Im Jahr 2017 begannen die ersten Vorarbeiten zur Einhausung. Sie wird knapp einen Kilometer lang werden und vom Schöneichtunnel bis zum Autobahnkreuz Aubrugg führen. Das Portal der Einhausungstunnels wird auf Höhe der Wallisellenstrasse zu liegen kommen.

Einfluss Überdachung auf Luftqualität beim Schulgelände Aubrücke

Um die deutlich steigende Schülerzahl im Quartier unterzubringen, steht auf dem nahegelegenen Gelände der Sportanlage Aubrücke die Installation von Züri-Modul-Pavillons zur Debatte. Zudem wird für dieses Gelände die Erstellung eines Schulhausneubaus geprüft.

Das Gelände der Sportanlage Aubrücke reicht bis auf knapp 70 Meter an das zukünftige Tunnelportal heran. Mit einer Messung der Luftqualität auf dem Gelände der Sportanlage Aubrücke sollte die lufthygienische Situation vor der Erstellung der Einhausung und damit vor der Erstellung des Tunnelportals erfasst werden. Nach der Fertigstellung der Einhausung soll eine weitere Messung den Einfluss der Einhausung auf die Luftqualität auf dem Gelände untersucht werden. Dabei ist vor allem die Wirkung des Tunnelportals von Interesse.

Messort

Das Messfahrzeug stand das ganze Jahr 2020 nördlich der Sporthalle (Abbildung 41). Dadurch war eine freie Anströmung mit belasteter Luft, aus der Richtung der Autobahn gegeben. Das Gelände befindet sich in einem Wohnquartier am Rand des Stadtgebietes.

Abbildung 41:
Messstandort des
Messfahrzeuges
auf dem Gelände
der Sportanlage
Aubrücke.



Luftbelastung 2020

Die Immissionssituation wird durch die periphere Lage am Stadtrand sowie durch die nahegelegene, sehr stark befahrene Autobahn A1 geprägt. Die periphere Lage trägt, im Vergleich zu zentrumsnahen Lagen, zu einer niedrigeren Schadstoffbelastung bei. Die Nähe zur Autobahn lässt jedoch vergleichsweise erhöhte Messwerte erwarten.

Die Jahresmittelwerte zeigen, dass die Luftbelastung auf dem Gelände der Sportanlage Aubrücke mit der Schadstoffbelastung der Messstation Stampfenbachstrasse vergleichbar sind. Dies entspricht einer mittleren städtischen Belastung.

Die Emissionen der Autobahn scheinen die lufthygienischen Vorteile der peripheren städtischen Lage zu neutralisieren. Der Jahresmittelwert des elementaren Kohlenstoffes im PM10 am Messort Aubrücke ist gegenüber der EC-Belastung der Stampfenbachstrasse um 10% erhöht (Tabelle 5). Die Jahresmittelwerte für NO₂ und Feinstaub der Messung Aubrücke hingegen differieren um lediglich 3% gegenüber jenen der Stampfenbachstrasse. Die Luftschadstoffbelastung am Messort Aubrücke kann demnach als mittlere städtische Belastung bezeichnet werden.

Die um 10% erhöhte Belastung an elementarem Kohlenstoff auf dem Gelände der Sportanlage dürfte von der nah gelegenen Autobahn stammen, da Verkehrsemissionen stärker mit elementarem Kohlenstoff belastet sind. Diese Annahme genauer zu überprüfen, bedürfte jedoch einer aufwändigen Untersuchung.

Tabelle 5: Jahresmittelwerte 2020 der Messung Aubrücke im Verhältnis zur Messstation Stampfenbachstrasse

Jahresmittelwert (µg/m³)	NO₂	PM10	PM2.5	EC10
Aubrücke	21.6	13.6	9.4	0.54
Stampfenbachstrasse	22.2	14.0	9.6	0.49
Verhältnis Aubrücke vs. Stampfenbachstrasse	97%	97%	98%	110%

8

Ausblick

Durch die in der Vergangenheit laufend verschärften Massnahmen bei fast allen Verursachergruppen ist bei der Luftbelastung erfreulicherweise ein anhaltend sinkender Trend erkennbar. Trotzdem reichen die Massnahmen bis jetzt nicht aus, um die Schadstoffkonzentrationen an allen Orten unter die Grenzwerte der LRV zu senken. Neuere Forschungsergebnisse rücken zudem aktuell vermehrt auch gesundheitliche Auswirkungen unterhalb dieser Grenzwerte in den Fokus.

Neue WHO-Richtlinien: Gesundheitliche Auswirkungen unterhalb der LRV-Grenzwerte

Im September 2021 hat die WHO neue Empfehlungen («Air Quality Guidelines» oder AQGs) zur Luftqualität veröffentlicht. Die Richtwerte für die sechs wichtigsten Luftschadstoffe (PM10, PM2.5, Ozon, NO₂, CO und SO₂) wurden darin gegenüber den aktuellen Empfehlungen teilweise stark nach unten korrigiert. Die Anpassungen basieren auf der Erkenntnis, dass auch Schadstoffkonzentrationen unter den aktuellen Empfehlungen zu wesentlichen, negativen Gesundheitsauswirkungen führen. Dazu beigetragen haben die Resultate aus grossen Langzeitstudien, welche in Regionen mit tiefer Luftbelastung, unter anderen auch in der Schweiz, durchgeführt wurden [33]. Zusätzlich zu den gesenkten Richtwerten empfiehlt die WHO die Integration bestimmter Feinstaubparameter (Russ, Ultrafeine Partikel) in die Messnetze, da deren Risiken Anlass zur Sorge geben.

Die WHO Air Quality Guidelines sind Empfehlungen, die auf rein gesundheitlichen Aspekten basieren und zum Ziel haben, die Bevölkerung vor schädlichen Einwirkungen von Luftschadstoffen zu schützen. Im Gegensatz zu den LRV-Grenzwerten sind sie nicht Teil der Schweizer Gesetzgebung. Durch ihre breite Abstützung auf grosse Langzeitstudien und die Mitarbeit von international anerkannten Experten, sind sie jedoch eine wichtige Grundlage für nationale Gremien und politische Entscheidungsträger. Die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene ist aktuell (Stand Oktober 2021) dabei, die neuen Richtlinien zu evaluieren und eine Stellungnahme zuhanden des UVEKS abzugeben.

Die Schweizer Luftreinhalte-Verordnung hat sich in der Vergangenheit an diesen Richtlinien orientiert. So wurde 2018 der bisherige PM2.5 Richtwert der WHO als neuer Immissionsgrenzwert übernommen. Für NO₂ liegt der aktuelle LRV-Jahresgrenzwert tiefer als die bisherigen WHO-Empfehlung aus dem Jahr 2005 (Tabelle 6).

Tabelle 6: Vergleich der LRV-Grenzwerte für Feinstaub und Stickstoffdioxid mit den WHO Empfehlungen zur Luftqualität [30, 34].

Schadstoff	Messwert	LRV Grenzwert (µg/m ³)	WHO Air Quality Guidelines (µg/m ³)	
			Bisher (2005)	Neu (2021)
PM10	Jahresmittelwert	20	20	15
	Tageswert	50	50	45
PM2.5	Jahresmittelwert	10	10	5
	Tageswert	-	25	15
NO₂	Jahresmittelwert	30	40	10
	Tageswert	80	-	25

Die untenstehenden Abbildungen zeigen die Luftqualität in der Stadt Zürich, basierend auf den neuen Empfehlungen der WHO. Im Vergleich zur Beurteilung anhand der Grenzwerte der LRV, zeigt sich für Feinstaub und NO₂ ein wesentlich anderes Bild: Die Belastung mit dem besonders lungengängigen Feinstaub PM2.5 ist gemäss den neuen Empfehlungen der WHO im ganzen Stadtgebiet zu hoch. Beim Feinstaub PM10 sind die Unterschiede kleiner. Während die Grenzwerte der LRV grösstenteils eingehalten sind, ist die Konzentration an PM10 gemäss WHO an stark befahrenen Strassen und im Stadtzentrum immer noch zu hoch. Da diese Gebiete sehr dicht bewohnt sind, betrifft dies einen bedeutenden Anteil der Bevölkerung.

Ähnlich grosse Unterschiede wie beim PM2.5 sind auch bezüglich NO₂ ersichtlich: Praktisch das ganze bewohnte Stadtgebiet ist zu hohen Konzentrationen ausgesetzt. Im Jahr 2020 lagen nur erhöhte, periphere Lagen unter dem neuen Richtwert der WHO.

Die neuen Empfehlungen der WHO verschärfen somit den bereits vorhandenen Handlungsbedarf zur weiteren Reduktion dieser Schadstoffe, insbesondere bezüglich NO_2 und $\text{PM}_{2.5}$.

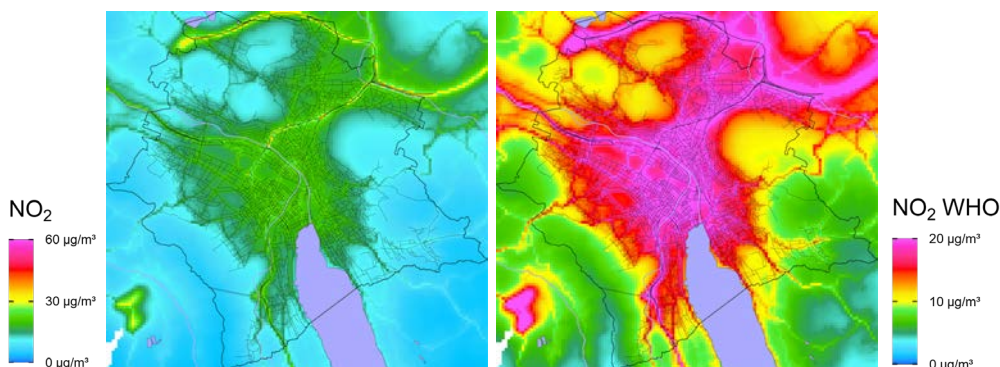


Abbildung 42: Stickstoffdioxid-Belastung in der Stadt Zürich im Jahr 2020. Links: Beurteilung gemäss LRV Grenzwert. Rechts: Beurteilung gemäss WHO Empfehlung. Gelb: Belastung in Höhe Grenzwert bzw. AQG (Quelle: UGZ).

In Abbildung 43 ist die $\text{PM}_{2.5}$ -Belastung auf dem Gebiet der Stadt Zürich modelliert dargestellt. Diese Modellwerte schätzen die Belastungen eher ein wenig zu tief ein. Den $\text{PM}_{2.5}$ -Messwerten von 2020 nach zu urteilen, liegen mehr Gebiete auf dem Stadtgebiet als auf der Karte dargestellt, über dem Wert von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Damit würde der linke Kartenausschnitt leicht mehr gelb gefärbte Gebiete aufweisen. Dennoch ist der Unterschied der beiden Abbildungen sehr deutlich.

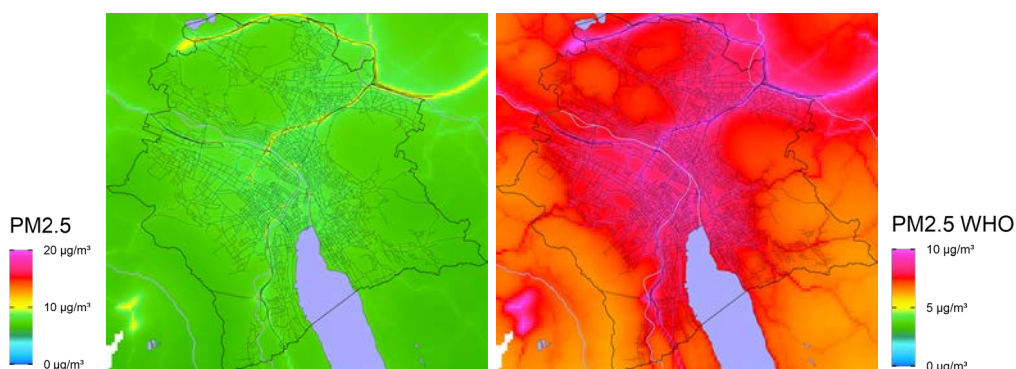


Abbildung 43: Feinstaub-Belastung $\text{PM}_{2.5}$ in der Stadt Zürich im Jahr 2020. Das Modell unterschätzt die $\text{PM}_{2.5}$ -Belastungen leicht. Links: Beurteilung gemäss LRV-Grenzwert. Rechts: Beurteilung gemäss WHO Empfehlung. Gelb: Belastung in Höhe Grenzwert bzw. AQG (Quelle: UGZ).

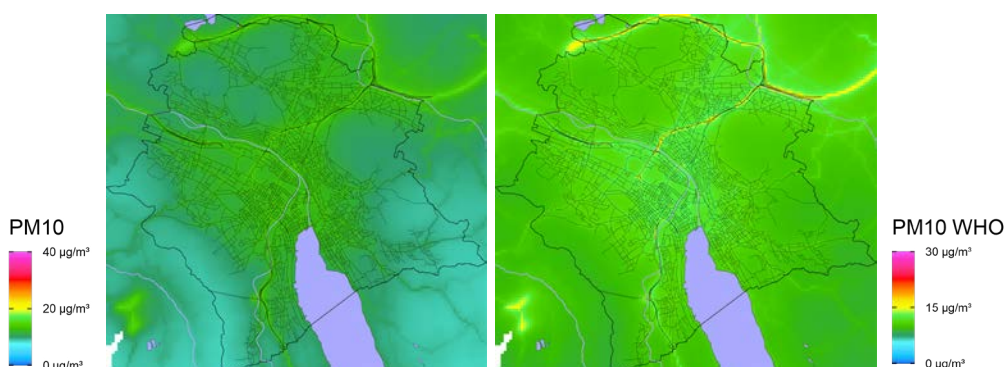


Abbildung 44: Feinstaub-Belastung PM_{10} in der Stadt Zürich im Jahr 2020. Links: Beurteilung gemäss LRV Grenzwert. Rechts: Beurteilung gemäss WHO Empfehlung. Gelb: Belastung in Höhe Grenzwert bzw. AQG (Quelle: UGZ).

Klimawandel und Luftschadstoffe

Für die Zukunft ist der fortschreitende Klimawandel eine der grossen Herausforderungen unserer Gesellschaft. Die Stadt Zürich hat sich mit Netto-Null die Klimaneutralität bis 2040 zum Ziel gesetzt [35]. Luftschadstoffe und Klima beeinflussen einander in vielfältiger Weise. So können Luftschadstoffe, wie Ozon oder Russ, wärmende Effekte besitzen oder auch kühlend auf das Klima einwirken, wie dies zum Beispiel bei SO_2 der Fall ist [36, 37].

Die Wechselwirkungen zwischen diesen Luftschadstoffen und dem Klima sind jedoch sehr komplex und über verschiedene Rückkopplungen miteinander verbunden. Welchen Einfluss die Reduktion oder Zunahme der Emissionen eines bestimmten Schadstoffes auf das Klima hat, ist dadurch zurzeit noch mit grossen Unsicherheiten verbunden [36, 38].

Luftschadstoffe und Klimagase stammen oft aus denselben Quellen: Viele Massnahmen zum Klimaschutz, wie z. B. Sanierungen, die den Heizbedarf von Gebäuden minimieren, oder eine Reduktion des motorisierten Strassenverkehrs, wirken sich auch positiv auf die Luftqualität aus. So kann eine Förderung des Fuss- und Veloverkehrs oder auch ein geringeres Pendleraufkommen die Emissionen von Luftschadstoffen verringern. Wie stark der Einfluss von Verhaltensänderungen auf die Luftqualität sein kann, zeigt beispielhaft die tiefere Belastung mit Stickoxiden im Jahr 2020 mit coronabedingtem Lock-down und Homeoffice-Pflicht.

Nicht immer aber gehen Luftqualität und Klimaschutz automatisch Hand-in-Hand. So emittieren Holzheizungen als erneuerbare Wärmequelle weit mehr Feinstaub als fossile Gas- oder Ölfeuerungen [3] und auch Elektro-Autos produzieren Feinstaub [41]. Die Herausforderung, aber auch die Chance für die Zukunft, besteht darin, bei der Umsetzung von Massnahmen die Synergien zwischen Luftqualität und Klimaneutralität bestmöglich zu nutzen.

9

Literatur

- [1] econcept, Luftschadstoffbedingte Gesundheitskosten in der Stadt Zürich, 2022
- [2] Bundesamt für Umwelt (BAFU), Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit, 04.11., 2021, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/auswirkungen-der-luftverschmutzung/auswirkungen-der-luftverschmutzung-auf-die-gesundheit.html>
- [3] Schweiz. Eidgenossenschaft, Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG), SR 814.01, Bern, 1983, www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.01.de.pdf
- [4] Schweiz. Eidgenossenschaft, Luftreinhalte-Verordnung (LRV), vom 16. Dezember 1985 (Stand am 1. Juni 2018), SR 814.318.142.1, EDMZ, Bern, 2018, <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19850321/201806010000/814.318.142.1.pdf>
- [5] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich, Emissionskataster für Luftschadstoffe der Stadt Zürich, 2020
- [6] Jürg Brunner und Markus Scheller, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Luftbilanz Stadt Zürich 2012 – Resultate der flächendeckenden Messkampagne, 20140124, Zürich, 2013
- [7] Akademien der Wissenschaften Schweiz, Ozon und Sommersmog: Klimawandel gefährdet heutige Erfolge – Swiss Academies Factsheets 11, 5, 2016
- [8] Bundesamt für Meteorologie, Meteo Schweiz: Klimareport 2020, ISSN: 2296–1488, 2021
- [9] Bundesamt für Umwelt (BAFU), Feinstaub (PM10, PM2.5), 22.10., <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/chemikalien/schadstoffglossar/feinstaub.html>, 2021
- [10] Bundesamt für Umwelt (BAFU), Die unsichtbare Gefahr, die Umwelt – natürliche Ressourcen in der Schweiz, 1, 2021
- [11] P. Leuenberger et al., Etude suisse sur la pollution de l'air et les maladies respiratoires chez l'adulte (SAPALDIA), Schweiz. Med. Wochenschr., 128, 150–161, 1998
- [12] BUWAL, Schwebestaub – Messung und gesundheitliche Bewertung, Schriftreihe Umwelt, Bd. Nr. 270, BUWAL, 1996
- [13] C. Braun-Fahrländer und L. Grize, SCARPOL, Bericht über drei aufeinanderfolgende Untersuchungen von 6–7-jährigen Kindern in den SCARPOL-Studienorten während der Schuljahre 1992/93, 1995–1997 und 1998/99, Basel, 2001
- [14] Gesundheits- und Umweltdepartement der Zürich (GUD), Masterplan Umwelt der Stadt Zürich 2017– 2020, 2017, https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/departement/strategie_politik/umweltpolitik/umweltpolitik/mpu-2017.html
- [15] Liza Selley, Brake dust exposure exacerbates inflammation and transiently compromises phagocytosis in macrophages, Metallomics, 12, 371–386, 2020
- [16] K. Daellenbach, Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe, (587 (7834)), 414–419, 2020
- [17] Dang Sheng Su, Klein, aber gefährlich – Rußpartikel moderner Dieselmotoren sind vermutlich gesundheitsschädlicher als die Rußteilchen aus älteren Motoren, <https://www.mpg.de/forschung/russpartikel-moderner-dieselmotoren-gesundheitsschaedlicher>, 2008
- [18] Touring Club der Schweiz (TCS), Partikelfilter Wo stehen wir in Bezug auf Partikelfilter in Dieselfahrzeuge und Benzinfahrzeuge?, 23.09.2021, <https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/umwelt-mobilitaet/partikelfilter.php>, 2021
- [19] BAFU, Weniger Russ aus Dieselmotoren – Erfolge der Schweiz bei der Emissionsreduktion, UD-1057-D, Bern, 2012
- [20] Rainer Klose, Partikel Alarm für Benziner – Russpartikel aus Direkteinspritzern, 23.09.2021, Empa, https://www.empa.ch/web/s604/standard-article-view-page/-/asset_publisher/lqGNyH2TDWyn/content/russpartikel-aus-benzinern/pop-up?_101_INSTANCE_lqGNyH2TDWyn_viewMode=print&_101_INSTANCE_lqGNyH2TDWyn_languageld=de_DE, 2017
- [21] Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL), Feinstaub in der Schweiz 2013 – Statusbericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene, Bern, 2014, https://www.ekl.admin.ch/inhalte/ekl-dateien/themen/Feinstaub_in_der_Schweiz_2013.pdf
- [22] Flemming R. Cassee et al., White Paper – Ambient ultrafine particles: evidence for policy makers, 2019
- [23] Prashant Kumar et al., Ultrafine particles in cities, Environment International, 66, 1–10, 2014

- [24] Hyouk-Soo Kwon et al., Ultrafine particles: unique physicochemical properties relevant to health and disease, *Experimental & Molecular Medicine*, 52, 318–328, 2020
- [25] Cercl’Air, Messung der Partikelanzahlkonzentration und -größenverteilung – Aussenluftqualität, **Cercl’Air Empfehlung Nr. 28**, Herisau, 2010
- [26] W. Birmili et al., Vorkommen und Quellen ultrafeiner Partikel im Innenraum und in der Außenluft – Aktueller Kenntnisstand, *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*, 80, (01–02), 33–43, 2020
- [27] Bundesamt für Gesundheit (BAG), Faktenblatt polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), 2008, <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/05582/index.html>
- [28] Kenneth T. Whitby und William E. Clark, Electrical Aerosol Particle Counting and Size Distribution Measuring System for the 0.015 to 1 µm Size Range, *Tellus*, 18, 573 – 586, 1966
- [29] Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL), Feinstaub in der Schweiz – Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL), Bern, 2007
- [30] World Health Organization, WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide., **CC BY-NC-SA 3.0 IGO**, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>, 2021
- [31] Simone Ohlwein et al., Health effects of ultrafine particles: a systematic literature review update of epidemiological evidence, *International Journal of Public Health*, 64, (4), 547–559, 2019
- [32] Jörg Sintermann, Ultrafeine Partikel in Kloten 2019 + 2020: Belastungssituation und Einfluss des Flugverkehrs, www.ostluft.ch, 2020
- [33] Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) und BUWAL, Benzol in der Schweiz, Schriftenreihe Umwelt, Bd. 350, Bern, 2003
- [34] World Health Organization (WHO), Air Quality Guidelines – Global Update 2005, Kopenhagen, 2006, http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf
- [35] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Klimaneutralität bis 2040, 17.12., https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/departement/strategie_politik/umweltstrategie/klimapolitik/klimaschutz/netto-null-treibhausgase.html, 2021
- [36] IPCC Task Force on National Greenhouse Gas Inventories, Expert Meeting on Short-Lived Climate Forcers (SLCF), 2018, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/02/1805_Expert_Meeting_on_SLCF_Report.pdf
- [37] IPCC, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2014, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- [38] Deutsches Klima Konsortium (DKK), Haben Verbesserungen der Luftqualität einen Einfluss auf den Klimawandel?, 17.12., 2021, <https://www.deutsches-klima-konsortium.de/de/klimafaq-8-2.html#:~:text=Haben%20Verbesserungen%20der%20Luftqualit%C3%A4t%20einen%20Einfluss%20auf%20den,Erw%C3%A4rmung%20f%C3%BChrt%2C%20hat%20die%20Begrenzung%20von%20Stickoxid%20>
- [39] CEN, Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenz – Luftqualität, **EN 14211**, Brüssel, 2012
- [40] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ) Fachbereich Labor, NO₂-Passivsammlermessungen mit Passivsammlern des Palmes-Typs, **SOP SOP UGZ FB LA / SOP_004 V. 2.4**, 2013
- [41] CEN, Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid mit nicht-dispersiver Infrarot-Fotometrie – Luftqualität, **DIN EN 14626**, Berlin, 2012
- [42] CEN, Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Schwefeldioxid mit Ultraviolett-Fluoreszenz – Luftqualität, **DIN EN 14212**, Brüssel, 2012
- [43] VDI, Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration und Anzahlgrößenverteilung; Kondensationspartikelzähler (CPC), 2008
- [44] CEN, Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM10- oder PM2.5-Massenkonzentration des Schwebstaubes – Aussenluft, **DIN EN 12341**, Brüssel, 2014
- [45] CEN, Automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM10, PM2.5) – Aussenluft, **Entwurf DIN EN 16450**, Brüssel, 2015

- [46] CEN, Leitfaden zur Messung von auf Filtern abgeschiedenem elementarem Kohlenstoff (EC) und organisch gebundenem Kohlenstoff (OC) – Aussenluftqualität, **DIN CEN/TR 16243**, Berlin, 2011
- [47] CEN, Leitfaden zur Messung von Anionen und Cationen in PM_{2.5} – Aussenluft, **DIN CEN/TR 16269 – DIN SPEC 33965**, Berlin, 2011
- [48] Luftkollektiv, VOC-Immissionsmessungen in der Schweiz 1991 – 2019, <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=48250>, 2020
- [49] CEN, Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Ozon mit Ultraviolett-Photometrie – Luftqualität, **DIN EN 14625**, Berlin, 2012
- [50] CEN, Passivsammler zur Bestimmung der Konzentration von Gasen und Dämpfen – Anforderungen und Prüfverfahren – Teil 2: Spezifische Anforderungen und Prüfmethoden – Aussenluftqualität, **EN 13528-2**, Brüssel, 2002
- [51] CEN, Passivsammler zur Bestimmung der Konzentration von Gasen und Dämpfen – Anforderungen und Prüfverfahren – Teil 1: Allgemeine Anforderungen – Aussenluftqualität, **EN 13528-1**, Brüssel, 2002
- [52] CEN, Passivsammler zur Bestimmung der Konzentration von Gasen und Dämpfen – Teil 3: Anleitung zur Auswahl, Anwendung und Handhabung – Aussenluftqualität, **EN 13528-3**, Berlin, 2004
- [53] Cercl’Air, Stickstoffdioxidmessung mit Passivsammlern – Aussenluftqualität, Cercl’Air **Empfehlung Nr. 25**, Herisau, 2004
- [54] Eurachem/CITAC, Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement (QUAM), 2003
- [55] Jürg Brunner, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Messunsicherheit eines Stickstoffdioxid-Jahresmittelwertes aus Passivsammlermessungen mit Passivsammlern des Palmes-Typs – Teil II: Anwendung: Bestimmung der Messunsicherheit der UGZ-Passivsammler für Stickstoffdioxid, Zürich, 2008
- [56] Ch. Hüglin, Feistaubmessung (PM₁₀ und dPM_{2.5}) mit dem Fidas 200 der Firma Palas im NABEL, 28.10, https://www.empa.ch/documents/56101/246436/Fidas_200_NABEL.pdf/93790947-135a-4575-a718-370316f506c5, 2016

A1 Immissions-Grenzwerte der LRV

Schadstoff	Immissions-grenzwert	Statistische Definition
Schwefeldioxid SO ₂	30 µg/m ³ 100 µg/m ³ 100 µg/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert) 95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m ³ 24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Stickstoffdioxid NO ₂	30 µg/m ³ 100 µg/m ³ 80 µg/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert) 95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m ³ 24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Kohlenmonoxid CO	8 mg/m ³	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Ozon O ₃	100 µg/m ³ 120 µg/m ³	98 % der ½-h-Mittelwerte eines Monats ≤ 100 µg/m ³ 1-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Schwebstaub ⁹ PM10	20 µg/m ³ 50 µg/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert) 24-h-Mittelwert; darf höchstens dreimal pro Jahr überschritten werden
PM2.5	10 µg/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Blei (Pb) im Schwebstaub PM10	500 µg/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Schwebstaub PM10	1.5 ng/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Staubniederschlag insgesamt	200 mg/(m ² ·Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Blei (Pb) im Staubniederschlag	100 µg/(m ² ·Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Staubniederschlag	2 µg/(m ² ·Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Zink (Zn) im Staubniederschlag	400 µg/(m ² ·Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Thallium (Tl) im Staubniederschlag	2 µg/(m ² ·Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Hinweis:		
mg = Milligramm: 1 mg = 0.001 g		
µg = Mikrogramm: 1 µg = 0.001 mg		
ng = Nanogramm: 1 ng = 0.001 µg		
Das Zeichen «≤» bedeutet «kleiner oder gleich».		

9 Feindisperse Schwebestoffe mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10µm (PM10) bzw. 2.5µm (PM2.5).

10 Aktuell liegen neue Erkenntnisse zu Gesundheitsauswirkungen von Luftschadstoffen unterhalb dieser Grenzwerte vor, welche 2021 zu einer Anpassung der WHO Empfehlung geführt haben (s. Abschnitt 8).

Die Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe sind gemäss Artikel 14 des schweizerischen Umweltschutzgesetzes [3] so festzulegen, dass ein umfassender Schutz des Menschen und der Umwelt dauerhaft gewährleistet ist. Sie berücksichtigen nicht nur die gesundheitlichen Auswirkungen auf besonders empfindliche Personengruppen, sondern auch die Wirkungen auf Tiere, Pflanzen, Böden und ganze Ökosysteme. Diese wirkungsorientierten Schwellen sind so festgelegt, dass nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft¹⁰ keine negativen Effekte auf die Schutzobjekte zu erwarten sind.

Bei den Immissionsgrenzwerten der LRV handelt es sich nicht um Alarmwerte. Alarmwerte sind erheblich höher angesetzt als die Grenzwerte der LRV und greifen, sobald die Allgemeinbevölkerung durch eine akute gesundheitliche Gefahr bedroht wird. In solchen Krisensituationen treten Sofortmassnahmen wie Teil-Fahrverbote und/oder Betriebs-schliessungen in Kraft. Alarmwerte bieten denn auch keinen dauerhaften Schutz des Menschen und seiner Umwelt, wie dies im Umweltschutzgesetz vorgesehen ist.

Die LRV kennt keine Immissions-Grenzwerte für krebserregende Stoffe (z. B. Benzol oder Dieselruss). Da sie bereits in kleinsten Mengen schädlich sind, müsste als Wirkungsschwelle ein unrealistischer «Nullwert» gefordert werden. Es gilt jedoch ein allgemeines Minimierungsgebot. Ausserdem werden die Emissionen einer Vielzahl von Stoffen mit begründetem Verdacht auf eine krebserzeugende Wirkung in der LRV begrenzt.

A2 Messorte und Luftschadstoffparameter 2020

PNC: Partikelanzahlkonzentration

Staub.-N.: Staubbiederschlag

Messverfahren: 1) Chemilumineszenz und Passivsammler
2) Passivsammler
3) HighVolume Sampler/Gravimetrie und FIDAS
4) HighVolume Sampler/Gravimetrie
5) CPC
6) Partector

Klassierung: Klassierung Messorte nach Verkehrs- und Siedlungseinfluss gemäss [6]

Nr	Messort	Koordinaten		Klassierung	Messparameter		
		X	Y		Verkehrseinfluss	Siedlungseinfluss	NO _x
1	Zürich – Adolf Jöhr Weg	2686010	1248548	gering	gering		x2)
2	Zürich – Alte Mühlacker-Strasse 14	2680619	1253138	gering	mässig		x2)
3	Zürich – Aubrücke	2685479	1251608	gering	mässig	x	x1)
4	Zürich – Bellerivestrasse 145	2684165	1245504	stark	mässig		x2)
5	Zürich – Bellerivestrasse 17	2683918	1245983	stark	stark		x2)
6	Zürich – Bellerivestrasse 253	2684830	1244927	stark	mässig		x2)
7	Zürich – Bellevue	2683580	1246772	stark	mässig		x2)
8	Zürich – Bernerstrasse Nord	2679860	1249760	stark	mässig		x2)
9	Zürich – Bernerstrasse Nord Schulhaus	2679511	1249772	mässig	mässig		x2)
10	Zürich – Bionstrasse	2684130	1248677	gering	mässig		x2)
11	Zürich – Birchstrasse 579	2683290	1253365	gering	mässig		x2)
12	Zürich – Bullingerhof 5	2681093	1248129	gering	mässig		x2)
13	Zürich – Eichbühlstrasse 43	2680883	1248571	gering	stark		x2)
14	Zürich – Forchstrasse 145	2684993	1246135	stark	stark		x2)
15	Zürich – Franklinplatz	2683421	1251583	mässig	stark		x2)
16	Zürich – Friedhof Sihlfeld	2680807	1247621	gering	mässig		x2)
17	Zürich – Frohbühlstrasse (A20)	2684099	1253678	stark	mässig		x2)

O ₃	CO	SO ₂	VOC	PNC	PM10	PM2.5	Russ	Metalle	Salze	Staub-N.
x					x3)	x3)	x	x	x	
			x							

Nr	Messort	Koordinaten		Klassierung	Messparameter		
		X	Y		Verkehrseinfluss	Siedlungseinfluss	NO _x
18	Zürich – Frohbühlstrasse 9	2683882	1253643	gering	mässig		x2)
19	Zürich – Gerhardstrasse	2681922	1247191	gering	stark		x2)
20	Zürich – Gratweg	2679395	1245256	gering	gering		x2)
21	Zürich – Hardhof	2679995	1250009	gering	mässig		x2)
22	Zürich – Im Ris	2680665	1242145	gering	gering		x2)
23	Zürich – In Böden 123	2680921	1252459	gering	stark		x2)
24	Zürich – Josefstrasse 175	2682031	1248826	gering	stark		x2)
25	Zürich – Kaserne	2682447	1247992	gering	stark		x2)
26	Zürich – Kirchbühlweg	2681503	1246827	gering	mässig		x2)
27	Zürich – Limmatquai 18	2683465	1247074	gering	stark		x2)
28	Zürich – Luegislandstrasse 163	2685459	1251559	gering	mässig		x2)
29	Zürich – Manessestrasse 20	2682051	1247040	stark	stark		x2)
30	Zürich – Manessestrasse 34	2682011	1246986	stark	stark		x2)
31	Zürich – Meientalstrasse	2678485	1248885	gering	mässig		x2)
32	Zürich – Oerlikon Park	2682960	1252135	gering	mässig		x2)
33	Zürich – Paradeplatz	2683111	1247183	gering	stark		x2)
34	Zürich – Rosengartenstrasse Einfahrt	2682096	1249942	stark	stark		x2)
35	Zürich – Rosengartenstrasse	2682097	1249942	stark	stark	x	x1)
36	Zürich – Schimmelstrasse	2681943	1247245	stark	stark	x	x1)
37	Zürich – Schulhaus Heubeeribüel	2685137	1248473	gering	mässig	x	x1)
38	Zürich – Schulhaus Hirzenbach	2686740	1250946	gering	mässig		x2)
39	Zürich – Schulhaus Nordstrasse	2682121	1249911	gering	stark		x2)
40	Zürich – Schulhaus Saatlen	2684906	1251442	gering	mässig		x2)
41	Zürich – Schulhaus Seefeld	2684422	1245798	gering	stark		x2)
42	Zürich – Schulhaus Vogtsrain	2680079	1250957	gering	stark		x2)
43	Zürich – Schweighofstrasse 367	2680331	1246667	mässig	mässig		x2)
44	Zürich – Seebahnstrasse 229	2681593	1248060	stark	mässig		x2)
45	Zürich – Stampfenbachstrasse	2683148	1249020	mässig	stark	x	x2)
46	Zürich – Steinbrüchelstrasse 44	2687053	1245664	gering	stark		x2)
47	Zürich – Strandbad Mythenquai	2682813	1245459	gering	mässig		x2)
48	Zürich – Turbinenplatz	2681477	1249328	gering	stark		x2)
49	Zürich – Überlandstrasse 204	2685433	1251647	mässig	mässig		x2)
50	Zürich – Utoquai 49	2683783	1246263	stark	stark		x2)
51	Zürich – Utoquai 50	2683768	1246262	stark	stark		x2)
52	Zürich – Wachtelstrasse	2682250	1244142	gering	mässig		x2)
53	Zürich – Wegackerstrasse 2	2681427	1243301	gering	mässig		x2)

O ₃	CO	SO ₂	VOC	PNC	PM10	PM2.5	Russ	Metalle	Salze	Staub-N.
				x6)	x4)	x4)	x	x	x	
x			x	x5)	x3)	x3)	x	x	x	
x			x	x5)	x3)	x3)	x	x	x	
x			x		x4)	x4)	x	x	x	
x	x	x	x	x5)	x	x	x	x	x	x

A3 Eingesetzte Messverfahren

Messparameter	Messverfahren/-gerät	Methode
Messparameter	Messverfahren/-gerät	Methode
NO _x	Chemilumineszenz	CEN 14211 [39]
NO ₂	Chemilumineszenz	CEN 14211 [39].
	Passivsammler Typ Palmes	UGZ Methode [40]
Ozon	Ultraviolett-Fotometrie	CEN 14211 [39]
CO	Nichtdispersive Infrarot-Fotometrie	CEN 14626 [41]
SO ₂	Ultraviolett-Fluoreszenz	CEN 14212 [42]
VOC	GC-MS auf Passivsammler 3M	UGZ Methode
Partikelanzahl (PA)	CPC	VDI 3867 Blatt 2 [43]
	Partector 2: Diffusion Size Classifier	Gemäss Herstellerangaben (Naneos GmbH)
PM10	HighVolume Sampler (HVS) und Gravimetrische Bestimmung	CEN 12341 [44]
	FIDAS	CEN 16540 [45]
PM2.5	HighVolume Sampler (HVS) und Gravimetrische Bestimmung	CEN 12341 [44]
	FIDAS	CEN 16540 [45]
Russ	Thermooptische Transmission (TOT / EUSAAR-2) ¹¹	CEN/TR 16243 [46]
	Reflexionsmessung	UGZ Methode
Metalle	ICP/MS und F-AAS (Fe)	Verfahren Labor Niutec, Winterthur
Salze	Ionenchromatografie (IC)	CEN/TR 16269 [47]
Staub-Niederschlag	Probenahme: Bergerhoff Analytik: G-AAS	Probenahme: VDI 4320 Blatt 2 Analytik: Verfahren Labor Niutec, Winterthur

¹¹ Tägliche Probenahme mittels HighVolume Sampler auf Quarz- oder Glasfaserfilter. Russbestimmung auf Quarzfasern mittels Thermooptische Transmission (Referenzverfahren), auf Glasfaserfiltern mittels Reflexionsmessung (mit Bezug auf Referenzverfahren).

A4 NO₂-Passivsammler-Messwerte 2020

Messort-Nr.	Messort	Verkehrseinfluss	Siedlungseinfluss	Jahresmittelwert NO ₂ (µg/m ³)
1	Zürich – Adolf Jöhr Weg	gering	gering	10.8
2	Zürich – Alte Mühlacker-Strasse 14	gering	gering	17.3
3	Zürich – Aubrücke	gering	mässig	20.1
4	Zürich – Bellerivestrasse 145	stark	mässig	25.6
5	Zürich – Bellerivestrasse 17	stark	stark	26.5
6	Zürich – Bellerivestrasse 253	stark	mässig	27.5
7	Zürich – Bellevue	stark	mässig	39.5
8	Zürich – Bernerstrasse Nord	stark	mässig	24.2
9	Zürich – Bernerstrasse Nord Schulhaus	mässig	mässig	31.0
10	Zürich – Bionstrasse	gering	mässig	13.2
11	Zürich – Birchstrasse 579	gering	mässig	16.0
12	Zürich – Bullingerhof 5	gering	mässig	18.0
13	Zürich – Eichbühlstrasse 43	gering	stark	17.2
14	Zürich – Forchstrasse 145	stark	stark	18.1
15	Zürich – Franklinplatz	mässig	stark	24.4
16	Zürich – Friedhof Sihlfeld	gering	mässig	13.2
17	Zürich – Frohbühlstrasse (A20)	stark	mässig	32.5
18	Zürich – Frohbühlstrasse 9	gering	mässig	21.2
19	Zürich – Gerhardstrasse	gering	stark	21.0
20	Zürich – Gratweg	gering	gering	5.4
21	Zürich – Hardhof	gering	mässig	15.9
22	Zürich – Im Ris	gering	gering	7.0
23	Zürich – In Böden 123	gering	stark	16.7
24	Zürich – Josefstrasse 175	gering	stark	17.3
25	Zürich – Kaserne	gering	stark	17.9
26	Zürich – Kirchbühlweg	gering	mässig	15.0
27	Zürich – Limmatquai 18	gering	stark	19.2
28	Zürich – Luegislandstrasse 163	gering	mässig	20.0
29	Zürich – Manessestrasse 20	stark	stark	52.6
30	Zürich – Manessestrasse 34	stark	stark	62.6
31	Zürich – Meientalstrasse	gering	mässig	13.1
32	Zürich – Oerlikon Park	gering	mässig	22.2
33	Zürich – Paradeplatz	gering	stark	18.7
34	Zürich – Rosengartenstrasse Einfahrt	stark	stark	46.6

Messort-Nr.	Messort	Verkehrseinfluss	Siedlungseinfluss	Jahresmittelwert NO ₂ (µg/m ³)
35	Zürich – Rosengartenstrasse	stark	stark	39.3
36	Zürich – Schimmelstrasse	stark	stark	30.2
37	Zürich – Schulhaus Heubeeribüel	gering	mässig	9.8
38	Zürich – Schulhaus Hirzenbach	gering	mässig	14.0
39	Zürich – Schulhaus Nordstrasse	gering	stark	25.0
40	Zürich – Schulhaus Saatlen	gering	mässig	17.5
41	Zürich – Schulhaus Seefeld	gering	stark	14.1
42	Zürich – Schulhaus Vogtsrain	gering	stark	14.2
43	Zürich – Schweighofstrasse 367	mässig	mässig	17.0
44	Zürich – Seebahnstrasse 229	stark	mässig	38.6
45	Zürich – Stampfenbachstrasse	mässig	stark	21.6
46	Zürich – Steinbrüchelstrasse 44	gering	stark	10.6
47	Zürich – Strandbad Mythenquai	gering	mässig	18.3
48	Zürich – Turbinenplatz	gering	stark	18.1
49	Zürich – Überlandstrasse 204	mässig	mässig	23.4
50	Zürich – Utoquai 49	stark	stark	34.8
51	Zürich – Utoquai 50	stark	stark	28.5
52	Zürich – Wachtelstrasse	gering	mässig	15.1
53	Zürich – Wegackerstrasse 2	gering	mässig	11.0

A5 Schwermetallgehalte im Staubniederschlag

Abbildung 45: Bleigehalt im Staubniederschlag. Rot: Grenzwert LRV.

Bleigehalt im Staubniederschlag ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Tag}$)

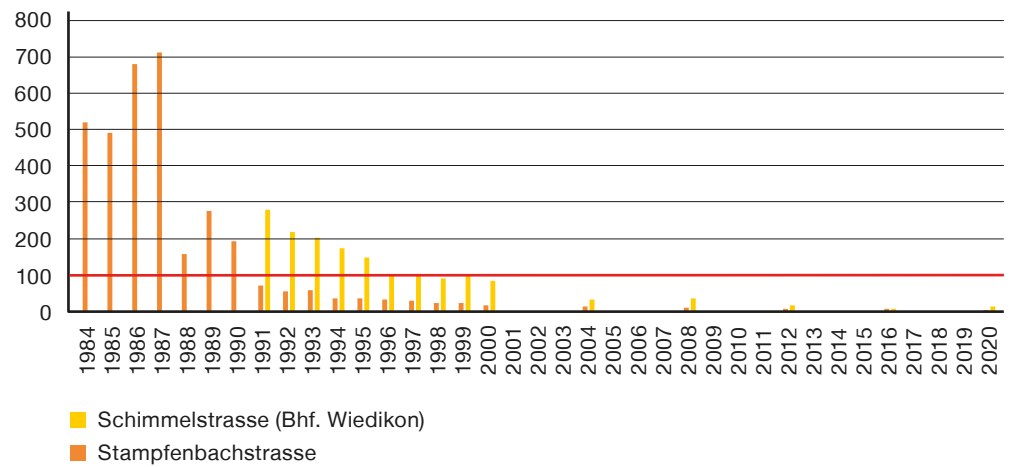


Abbildung 46: Cadmiumgehalt im Staubniederschlag. Rot: Grenzwert LRV.

Cadmiumgehalt im Staubniederschlag ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Tag}$)

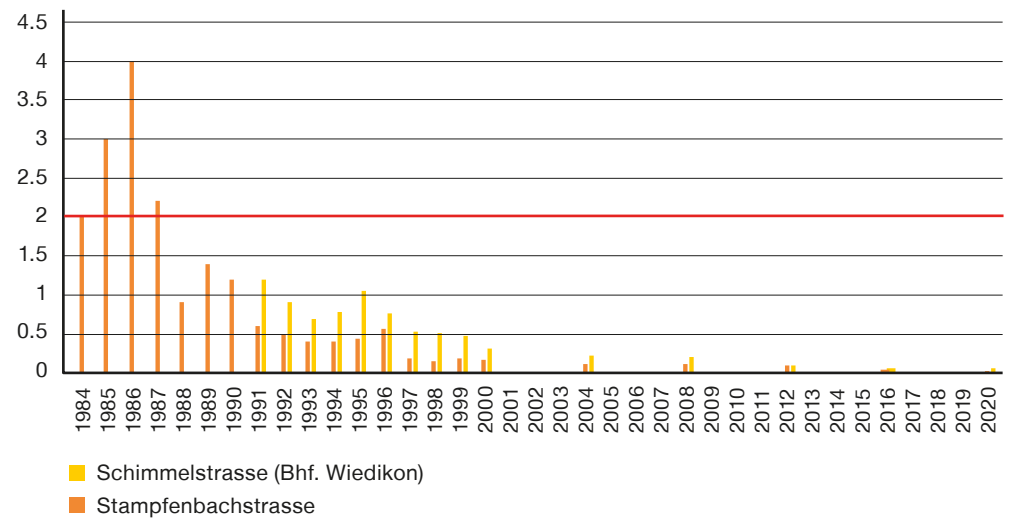
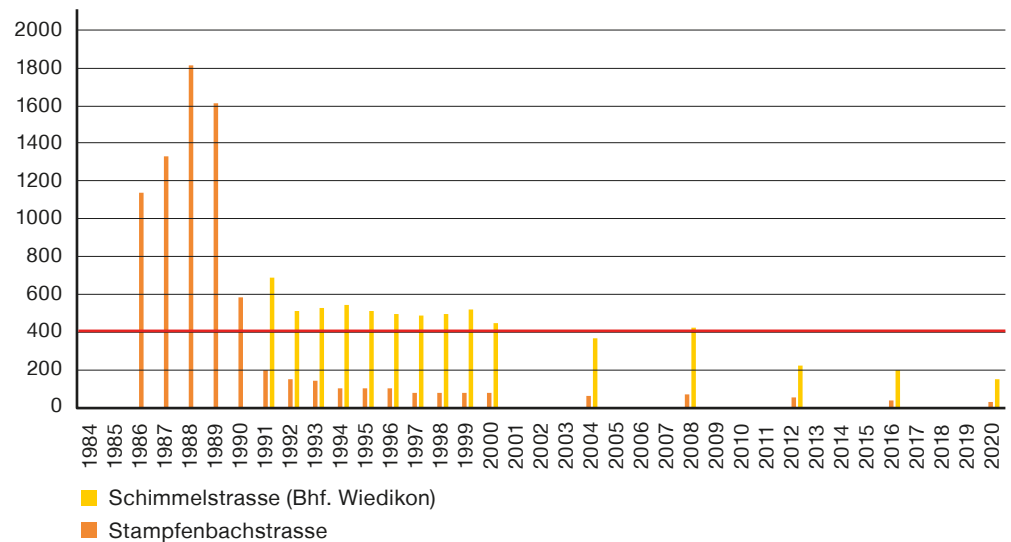


Abbildung 47: Zinkgehalt im Staubniederschlag. Rot: Grenzwert LRV.

Zinkgehalt im Staubniederschlag ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Tag}$)



A6 Quantifizierte VOCs und deren Quellen

Quellezuordnung gemäss [48]

Stoffgruppe	Substanz	Quelle
Aromaten	Benzol	Verkehr (Bestandteil Benzil und Neubildung in Motor)
	Toluol	Verkehr, Industrie / Gewerbe, Haushalte
	m/p-Xylol	Verkehr, Industrie / Gewerbe, Haushalte
	o-Xylol	Verkehr, Industrie / Gewerbe, Haushalte
	Ethylbenzol	Verkehr, Industrie / Gewerbe, Haushalte
	m/p- Ethyltoluol	Verkehr, Industrie / Gewerbe, Haushalte
	o-Ethyltoluol	Verkehr, Industrie / Gewerbe, Haushalte
	Isopropylbenzol (Cumol)	Verkehr
	n-Propylbenzol	Verkehr
	Hemellitol	Verkehr, Industrie / Gewerbe, Haushalte
	Mesitylen	Verkehr, Industrie / Gewerbe, Haushalte
	Pseudocumol	Verkehr, Industrie / Gewerbe, Haushalte
Aliphaten	Isooctan	Verkehr
	n-Heptan	Verkehr, Industrie / Gewerbe
	n-Decan	Verkehr (Diesel, Kerosin) Industrie / Gewerbe (in Lösungsmittel enthalten)
	Octan	Verkehr
	Nonan	Verkehr
Chlorierte VO Cs	Trichlorethen	Industrie / Gewerbe
	1, 1, 1-Trichlorethan	Industrie / Gewerbe
	1, 1, 2, 2-Tetrachlorethan	Industrie / Gewerbe
	1, 1, 2-Trichlorethan	Industrie / Gewerbe
	1, 2-Dichlorbenzol	Industrie / Gewerbe
	1, 3-Dichlorbenzol	Industrie / Gewerbe
	1, 4-Dichlorbenzol	Industrie / Gewerbe
	Chlorbenzol	Industrie / Gewerbe
	Chloroform	Industrie (seltene Anwendung)
	Tetrachlorethen	Industrie / Gewerbe (Chemische Reinigung, Entfettung)
	Tetrachlorkohlenstoff	Verbotener Stoff, persistent.
Terpene	3-Caren	Natur, Haushalt / Gewerbe (pflanzliche Harze und Öle)
	a-Pinen	Natur, Haushalt / Gewerbe (pflanzliche Harze und Öle)
	b-Pinen	Natur, Haushalt / Gewerbe (pflanzliche Harze und Öle)
	Camphen	Natur, Haushalt / Gewerbe (pflanzliche Harze und Öle)
	Limonen	Haushalt / Gewerbe, Natur

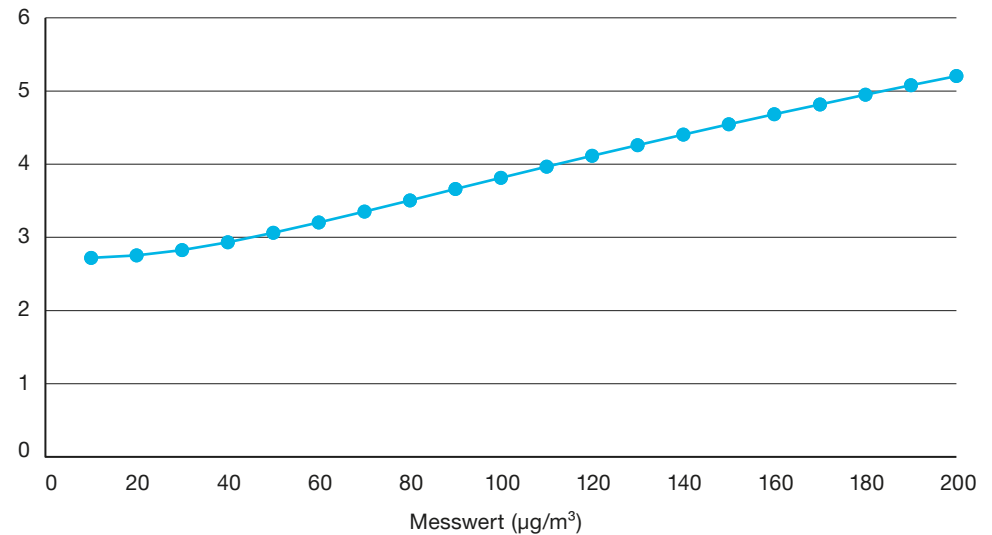
A7 Messunsicherheiten

A7.1 Ozon-Messungen

Die erweiterte Messunsicherheit ($k=2$) für einen Ozon-Stundenwert gemäss CEN 14625 [49] beträgt $4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Höhe des Grenzwertes ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Abbildung 48: Kombinierte erweiterte Messunsicherheit ($k=2$) der Ozonmessung (Stundenmittelwert) in Abhängigkeit vom Messwert (Grenzwert LRV: $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Messunsicherheit Ozon Stundenwert ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

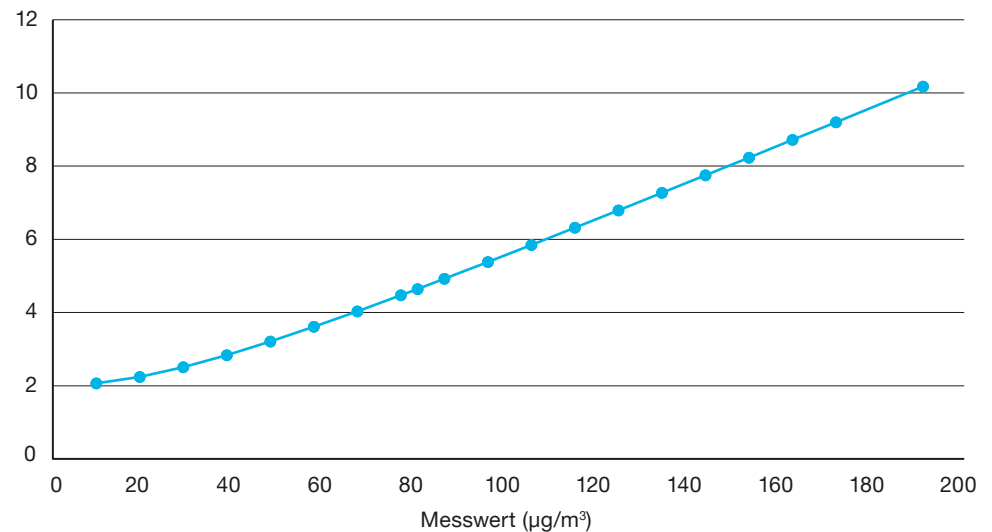


A7.2 Stickstoffdioxid-Messungen

Die erweiterte Messunsicherheit ($k=2$) eines NO_2 -Tagesmittelwertes beim Grenzwert ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) beträgt $4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, diejenige des Jahresmittelwertes beim Grenzwert ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) beträgt $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Abbildung 49: Kombinierte erweiterte Messunsicherheit ($k=2$) der NO_2 -Messung (Tagesmittelwert) in Abhängigkeit vom Messwert (Grenzwert LRV: $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Messunsicherheit NO_2 Tageswert ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Messunsicherheit NO₂ Jaherswert (µg/m³)

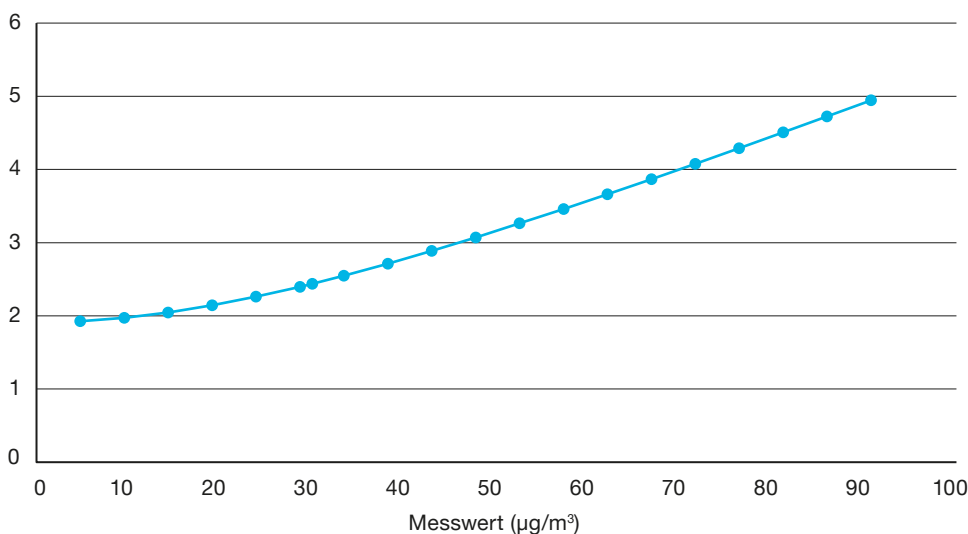


Abbildung 50: Kombinierte erweiterte Messunsicherheit (k=2) der NO₂-Messung (Jahresmittelwert) in Abhängigkeit vom Messwert (Grenzwert LRV: 30µg/m³).

Die Stickstoffdioxid-Messungen mit Passivsammlern im UGZ basieren auf den entsprechenden Normen und Empfehlungen [50–53]. Für die Jahresmittelwerte wurde die Messunsicherheit gemäss [54] bestimmt. Es resultiert eine kombinierte erweiterte Messunsicherheit (k=2) in Höhe des Grenzwertes von rund 5 %. [55].

A7.3 Feinstaub PM10 und PM2.5

Die Feinstaubwerte PM10 und PM2.5 werden mittels kontinuierlich messender FIDAS Messgeräte gemäss der Norm CEN 16540 [28] bestimmt und auf das Referenzverfahren (High Volume Sampler und Gravimetrie, CEN 12341 [27]) bezogen. Für nach diesem Verfahren korrigierte FIDAS Werte kann die erweiterte Messunsicherheit (k=2, 95 %) auf ca. 0.3 µg/m³ für den Jahresmittelwert geschätzt werden [56].

A7.4 Russ (TOT/EUSAAR und Reflexion)

Die Messunsicherheit wurde gemäss der Richtlinie [54] bestimmt. Die berechnete erweiterte Messunsicherheit (k=2) für den Russ-Jahresmittelwert 2020 liegt bei allen Messstationen <5 %.

A7.5 VOC

Die Messunsicherheit des Verfahrens wurde bis jetzt nicht spezifisch für das UGZ Labor bestimmt. Aufgrund von Vergleichsmessungen /Austausch mit anderen Laboren kann von einer maximalen Messunsicherheit für den Benzol-Jahresmittelwert von ca. 20 % ausgegangen werden.

A7.6 Metallanalytik, Ionen (Salze), Ultrafeine Partikel

Die Messunsicherheit der Verfahren wurde bis zum aktuellen Zeitpunkt nicht bestimmt.

Stadt Zürich
Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich UGZ
Geschäftsbereich Umwelt
Messung Luftqualität
Walchestrasse 31
8021 Zürich

www.stadt-zuerich.ch/luft