



# LUFT- BILANZ 2016

RESULTATE DER  
FLÄCHENDECKENDEN  
MESSKAMPAGNE

# INHALTSVERZEICHNIS

## Wie steht es um die Qualität der Umgebungsluft in der Stadt Zürich?

<b>1 Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>2 Glossar</b>	<b>6</b>
<b>3 Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>4 Messprogramm</b>	<b>8</b>
<b>5 Luftschadstoffe und Luftbelastung</b>	<b>9</b>
5.1 Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	9
5.2 Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	10
5.3 Feinstaub PM <sub>10</sub>	15
5.4 Feinstaub PM <sub>2.5</sub>	19
5.5 Feinstaub PM <sub>10</sub>	19
5.6 Ozon (O <sub>3</sub> )	25
5.7 Kohlenmonoxid (CO)	28
5.8 Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	30
5.9 Staubniederschlag	32
5.10 Flüchtige organische Verbindungen	34
<b>6 Projektmessungen</b>	<b>36</b>
6.1 Standortbestimmung vor der Einhausung der Autobahn in Schwamendingen	36
6.2 Vormessungen vor dem Ausbau der Nordumfahrung Zürich	36
<b>7 Literatur</b>	<b>37</b>
<b>Anhang</b>	<b>39</b>
A1 Immissionsgrenzwerte der LRV [1]	39
A2 Liste der Messorte der Messkampagne 2016	40
A3 Messverfahren und Messunsicherheiten	44
A3.1 Ozon-Messungen	44
A3.2 Stickoxid-Messungen	45
A3.3 Feinstaub-Messungen	45
A3.4 Weitere Messmethoden	45
A4 NO <sub>x</sub> – NO <sub>2</sub> – Umwandlung	45
A5 NO <sub>2</sub> -Passivsammler Validierung	46

## VORWORT



### **Wie steht es um die Qualität der Umgebungsluft in der Stadt Zürich?**

Mit welchen Schadstoffen ist die Umgebungsluft, die wir tagtäglich einatmen, belastet? In welchen Konzentrationen? Wie entwickelt sich die Luftqualität? Die Bevölkerung hat ein Recht auf die Beantwortung solcher Fragen. Bereits das Umweltschutzgesetz aus dem Jahre 1983 hat eine Informationspflicht definiert: «Die Behörden informieren die Öffentlichkeit sachgerecht über den Umweltschutz und den Stand der Umweltbelastung» (Art. 6 USG).

In der Stadt Zürich ist der Fachbereich Luftqualität des Umwelt- und Gesundheitsschutzes Zürich (UGZ) für die

Überwachung und Bewertung der Qualität unserer Umgebungsluft zuständig. Im Zentrum des Überwachungskonzepts steht der Dauerbetrieb von verschiedenen Messstationen an charakteristischen Standorten. Damit die Luftqualität räumlich noch differenzierter beurteilt werden kann, werden in Ergänzung zu den permanent betriebenen Messstationen periodisch – etwa alle vier Jahre – flächendeckende Untersuchungen mit einem verdichteten Messnetz durchgeführt. Der vorliegende Bericht fasst die Resultate der breit angelegten Messkampagne 2016 zusammen.

Die Luftqualität in der Stadt ist in den letzten 10 Jahren deutlich besser geworden, die Schadstoffbelastung ist aber immer noch zu hoch.

Die im Bericht vorgestellten Daten bilden eine wichtige Basis für die zielgerichtete Weiterentwicklung der Massnahmenplanung zur notwendigen Verbesserung der städtischen Luftqualität.

Auf der Website des UGZ wird eine Fülle von Informationen rund um die Belastung unserer Umgebungsluft mit Schadstoffen bereitgestellt: [www.stadt-zuerich.ch/luft](http://www.stadt-zuerich.ch/luft)

Peter Bär, Co-Leiter Geschäftsbereich Umwelt  
Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich

## 2 ZUSAMMEN- FASSUNG

4

Seit Anfang der 80er Jahre werden vom Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich in regelmässigen Abständen flächendeckende Messkampagnen zur Erfassung der Luftbelastung in der Stadt Zürich durchgeführt. Sie geben einen umfassenden Überblick über die aktuelle Belastungssituation, zeigen die Erfolge in Bezug auf die Massnahmen zur Beschränkung von Schadstoff-Emissionen und zeigen den weiterhin bestehenden Handlungsbedarf auf.

### **Situation in den letzten 30 Jahren deutlich verbessert**

Eidgenössische Verordnungen, kantonale und kommunale Massnahmenpläne, sowie Emissionsbeschränkungen im motorisierten Verkehr haben dazu geführt, dass immer weniger Luftschadstoffe in die Luft gelangen, mit entsprechend positiven Folgen auf den Zustand der Aussenluft. Verschiedene Schadstoffe (Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Schwermetalle) stellen kein Problem mehr dar, die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung [1] werden bereits seit geraumer Zeit eingehalten. Auch bei den Luftschadstoffen, bei denen weiterhin Grenzwert-Überschreitungen zu verzeichnen sind, hat sich die Situation in den letzten 30 Jahren deutlich verbessert. Grenzwerte werden nicht mehr derart deutlich und in wesentlich geringerer Anzahl überschritten (vgl. Tab. 1).

Im vergangenen Jahr wurden an den städtischen Dauermessstationen die tiefsten Belastungen für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Feinstaub PM10 seit Beginn der Messungen registriert.

### **Weiterhin zu hohe Belastungen durch Stickstoffdioxid, Feinstaub PM10 und Ozon**

Die Messungen zeigen aber auch, dass entlang städtischer Hauptverkehrsachsen die Langzeitbelastung im Jahresmittel durch NO<sub>2</sub> noch systematisch und die Belastung durch Feinstaub PM10 punktuell über den entsprechenden Grenzwerten liegt.

Mit Ausnahme des Ozons lässt sich ab 1985 ein analoger Verlauf der Entwicklung der Luftbelastung beobachten: bis 1995 kommt es zu einem starken Absinken der Luftbelastungen, in den Folgejahren zu einem zunehmenden Abflachen eines weiterhin positiven Trends.

Ebenfalls noch deutlich über den Grenzwerten ist die Luftbelastung durch Ozon (O<sub>3</sub>). In den Spitzenbelastungen ist seit Beginn der Messungen ein klarer Abwärtstrend zu beobachten. Die bislang getroffenen Massnahmen zur Reduktion der Vorläuferschadstoffe der Ozonbildung bei schönem und heissem Sommerwetter (flüchtige organische Verbindungen und Stickoxide) reichen nicht aus, die Ozon-Belastungen so weit zu senken, dass die Grenzwerte eingehalten werden. Dazu wäre eine weitere Reduktion der Vorläuferschadstoffe um mindestens die Hälfte nötig. Hinzu kommt, dass die Ozon-Belastung in der Stadt Zürich nur zu einem bescheidenen Teil (10 bis 20 %) durch den lokalen Schadstoffausstoss beeinflusst wird. Dazu tragen auch überregionale, nationale und internationale Emissionen bei. Entsprechend sind auch weiterhin gemeinsame Anstrengungen zu Emissionsbeschränkungen auf allen Ebenen, auch international, nötig.

### **Eine Fülle umgesetzter Massnahmen zur Emissionsreduktion**

Konnten bei den Bemühungen zur Emissionsbeschränkung von Luftschadstoffen oder deren Vorläuferschadstoffen anfangs mit einigen gezielten technischen Massnahmen (beispielsweise Katalysator für Benzinfahrzeuge, Low-NO<sub>x</sub>-Brenner für Feuerungsanlagen) grosse Wirkungen erzielt werden, fokussieren aktuelle Massnahmenpläne zunehmend auf eine Fülle kleinerer Massnahmen, welche in der Summe eine weitere Reduktion der Schadstoffemissionen zur Folge haben werden.

Erschwert und teilweise auch verhindert werden die beabsichtigten Verbesserungen, wenn wie am Beispiel der Diesel-Personenwagen aktiv oder passiv Abgasnachbehandlungen deaktiviert und somit die gewünschten Verbesserungen in Bezug auf die Emissionen von Schadstoffen teils zunichte gemacht werden.

Tab. 1 Vergleich der Grenzwert-Überschreitungen zwischen 1986 und 2016 (vgl. auch Anhang A1)

	Parameter	Grenzwert	1986	2016
<b>Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)</b>	Jahresmittelwert	30 µg/m <sup>3</sup>	☹	☺
	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres	100 µg/m <sup>3</sup>	☹	☺
	Anz. Tagesmittelwerte > 100 µg/m <sup>3</sup>	1	☹	☺
<b>Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)</b>	Jahresmittelwert	30 µg/m <sup>3</sup>	☹	☹
	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres	100 µg/m <sup>3</sup>	☹	☺
	Anz. Tagesmittelwerte > 80 µg/m <sup>3</sup>	1	☹	☹
<b>Kohlenmonoxid (CO)</b>	Tagesmittelwert, max. 1 Überschreit. im Jahr	8 mg/m <sup>3</sup>	☺	☺
<b>Ozon (O<sub>3</sub>)</b>	98 % der ½-h-Mittelwerte eines Monats	100 µg/m <sup>3</sup>	☹	☹
	Anz. Stundenmittelwerte > 120 µg/m <sup>3</sup>	1	☹	☹
<b>Feinstaub PM10)</b>	Jahresmittelwert	20 µg/m <sup>3</sup>	☹	☹
	Anz. Tagesmittelwerte > 50 µg/m <sup>3</sup>	1	☹	☹
<b>Blei (Pb) im Feinstaub PM10</b>	Jahresmittelwert	500 ng/m <sup>3</sup>	☹	☺
<b>Cadmium (Cd) im Feinstaub PM10</b>	Jahresmittelwert	1.5 ng/m <sup>3</sup>	☹	☺
<b>Staubniederschlag</b>	Jahresmittelwert	200 mg/m <sup>2</sup> /d	☹	☺
<b>Blei (Pb)im Staubniederschlag</b>	Jahresmittelwert	100 µg/m <sup>2</sup> /d	☹	☺
<b>Cadmium (Cd) im Staubniederschlag</b>	Jahresmittelwert	2 µg/m <sup>2</sup> /d	☹	☺
<b>Zink (Zn) im Staubniederschlag</b>	Jahresmittelwert	400 µg/m <sup>2</sup> /d	☹	☺

**Weitere Anstrengungen nötig**

Obwohl bei allen Verursachergruppen die Vorschriften bezüglich der Emissionen von Luftschadstoffen laufend verschärft werden, reichen die bisher getroffenen Massnahmen nicht aus, die Luftbelastung überall unter die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung zu senken. Dazu sind weitergehende Massnahmen nötig.

Mit der Annahme der Vision der 2000Watt-Gesellschaft 2008 und der Städte-Initiative 2011 (Reduktion des Anteils

des motorisierten Individualverkehrs am Gesamtverkehr um 10 %) wurden zwei Schwerpunkte gesetzt, die in Zukunft zu einer weiteren Verbesserung bezüglich der Luftqualität in der Stadt Zürich beitragen werden.

Ebenfalls absehbar ist das Ende der Umgehung von Emissionsvorschriften bei Dieselfahrzeugen. Anpassungen der Prüfzyklen und daraus resultierende optimierte Überprüfungen bezüglich der Einhaltung der Vorschriften sollten den bisherigen Missstand beheben.

## 2 GLOSSAR

Al	Aluminium	NH <sub>3</sub>	Ammoniak
BAFU	Bundesamt für Umwelt	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (heute BAFU)	Ni	Nickel
Ca <sup>2+</sup>	Calcium	nm	Nanometer (1 milliardstel Meter)
Cl <sup>-</sup>	Chlorid	NO	Stickstoffmonoxid
Cd	Cadmium	NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
CO	Kohlenmonoxid	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrat
Co	Kobalt	NOx	Stickoxide
Cr	Chrom	O <sub>2</sub>	Sauerstoff
Cu	Kupfer	O <sub>3</sub>	Ozon
Cd	Cadmium	OC	organischer Kohlenstoff
d	Tag	PAH	polyaromatische Kohlenwasserstoffe (polycyclic aromatic hydrocarbons)
EC	elementarer Kohlenstoff (in erster Linie Dieselruss)	PAK	polyaromatische Kohlenwasserstoffe
EKL	Eidgenössische Kommission für Lufthygiene	Pb	Blei
Emission	Schadstoffausstoss	PM2.5	Particulate Matter, Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤ 2.5 µm
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Materials Science and Technology)	PM10	Particulate Matter, Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤ 10 µm
Fe	Eisen	Sb	Antimon
Fz.	Fahrzeuge	Sn	Zinn
Immission	Schadstoffeinwirkung	SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
K <sup>+</sup>	Kalium	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfat
kanzerogen	krebserregend	Th	Thallium
LRV	Luftreinhalte-Verordnung	TSP	Gesamtschwebstaub (total suspended particulates)
mg	Milligramm (1 tausendstel Gramm)	UGZ	Umwelt- und Gesundheitsschutz der Stadt Zürich
m <sup>2</sup>	Quadratmeter	USG	Umweltschutz-Gesetz
m <sup>3</sup>	Kubikmeter	UV	ultraviolett
µg	Mikrogramm (1 millionstel Gramm)	VOC	flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds)
µm	Mikrometer (1 millionstel Meter)	WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organisation)
Mn	Mangan	Zn	Zink
Mo	Molybdän		
mutagen	erbgutschädigend		
N <sub>2</sub>	Stickstoff		
Na <sup>+</sup>	Natrium		

## 3 EINLEITUNG

Gestützt auf Artikel 14 des Umweltschutz-Gesetzes [2] sind Immissionsgrenzwerte so festzulegen, dass ein umfassender und nachhaltiger Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist. Die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung [1] berücksichtigen die gesundheitlichen Auswirkungen auf besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen, die Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen und ganze Ökosysteme. Sie sind Wirkungsschwellen, unter welchen nach heutigem wissenschaftlichen Wissensstand keine nachteiligen Wirkungen auf die zu schützenden Objekte zu erwarten sind.

Luftschadstoffe haben vielfältige Auswirkungen auf Mensch, Tier, Pflanze, auf Materialien und Gebäude. Neben direkten gesundheitlichen Auswirkungen auf betroffene Organismen beeinflussen sie die Pflanzengemeinschaften empfindlicher Ökosysteme durch ungewollte Düngung. Im Regenwasser gelöst, greifen sie Gebäudefassaden an und führen zu Veränderungen im Bodenhaushalt.

Trotz der seit den 70er Jahren erreichten Verbesserungen in Bezug auf die Luftbelastung durch Luftschadstoffe werden auch heute noch Grenzwerte überschritten und die Stadt Zürich bleibt eines der Sanierungsgebiete der Schweiz. Eine hohe Verkehrsdichte mit übermässigen Luftbelastungen im Bereich der Hauptverkehrsachsen steht in Konflikt mit baulichen Verdichtungen und der in den letzten Jahren stark angestiegenen, zu schützenden Wohnbevölkerung.

### Überwachung der Luftqualität in der Stadt Zürich

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 über vier Jahrzehnten zu den zentralen Aufgaben des Umwelt- und Gesundheitsschutzes der Stadt Zürich.

Das Überwachungskonzept basiert auf den folgenden Komponenten:

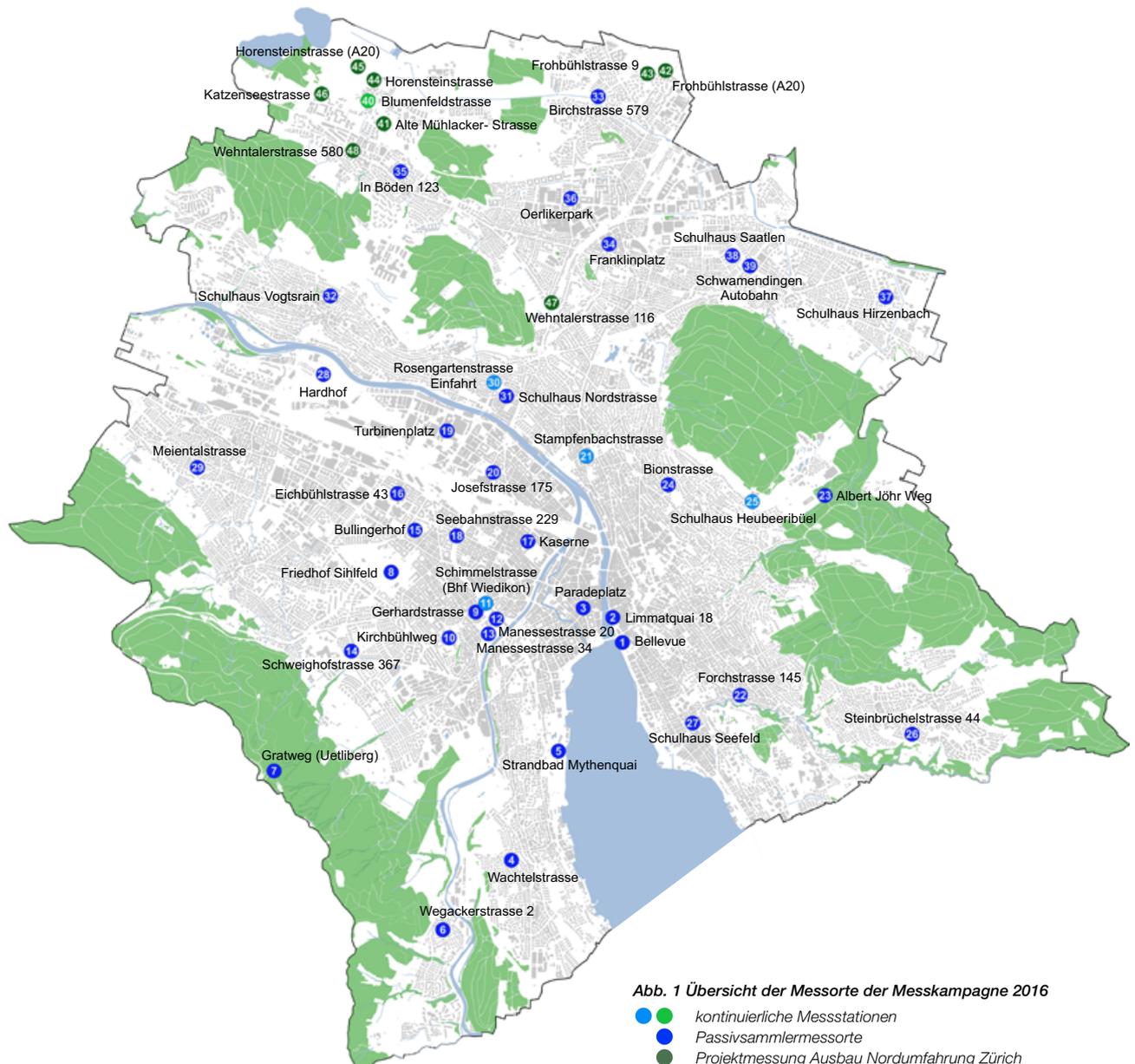
- Dauerbetrieb kontinuierlicher Messstationen an charakteristischen Standorten, welche die Spannweite der Luftbelastung abdecken (gegenwärtig vier Messorte). Zum Einsatz kommen Referenzmessverfahren oder kontinuierliche Messverfahren, welche auf ein Referenzmessverfahren abgestützt werden.
- Einsatz günstigerer Messverfahren (z.B. NO<sub>2</sub>-Passivsammler) an Dauer- und Projektmessorten und an befristeten Messorten zur Beantwortung spezifischer Fragestellungen. Um eine Vergleichbarkeit mit den Referenzmessverfahren zu gewährleisten, werden sie auf das entsprechende Referenzverfahren bezogen.
- Immissionsmessungen mit einer mobilen Messstation im Zusammenhang mit spezifischen Fragestellungen (Überdachung Autobahnabschnitt Schwamendingen, Ausbau Nordumfahrung Zürich)
- Probenahme und Analytik von Proben zur Erfassung kanzerogener und mutagener Luftschadstoffe (z.B. Benzol, elementarer Kohlenstoff)
- periodische Durchführung flächendeckender Messkampagnen zur verbesserten räumlichen Auflösung und Beobachtung der langjährigen Entwicklung der Luftbelastung an spezifischen Messorten. Erweiterung um Messgrössen, die nur im Rahmen der Messkampagnen abgedeckt werden.

Die Basis der Luftschadstoff-Messungen bilden die kontinuierlich messenden Messstationen. Sie geben lückenlos Auskunft über die zeitliche Entwicklung und den Erfolg von Massnahmenpaketen zur Reduktion der Luftbelastung. Die periodischen Messkampagnen liefern dichtere Informationen der Belastungsunterschiede in der Stadt und stellen zudem einen Quartierbezug her.

## 4 MESSPROGRAMM

Im Rahmen der aktuellen Messkampagne erfolgten Immissionsmessungen an insgesamt 48 Messorten, verteilt über das ganze Stadtgebiet. Neben den vier kontinuierlich messenden Dauermessstationen wurde ein dichtes Netz von Messorten mit NO<sub>2</sub>-Passivsammlern eingerichtet. Dieses Messnetz beinhaltet einerseits die Messorte

früherer Messkampagnen, andererseits wurden zusätzlich Messorte ins Messnetz aufgenommen, an denen in Folge des sehr hohen Verkehrsaufkommens und/oder der lokalen Verkehrssituation hohe Luftbelastungen zu erwarten sind. Die detaillierte Auflistung der Messorte findet sich unter Anhang A2.



# 5 LUFSCHADSTOFFE UND LUFT BELASTUNG

Luftschadstoffe wirken sich je nach Konzentration und Einwirkungsdauer negativ auf Gesundheit und unsere Umwelt aus. Eine zentrale Rolle beim Ausstoss von Luftverunreinigungen (Emissionen) spielt weltweit die Verbrennung von fossilen Brenn- und Treibstoffen zur Energieerzeugung, sei es als Heizenergie oder als Treibstoff zur Fortbewegung. Jedes Jahr werden gewaltige Mengen an Gasen und Partikeln in die Luft abgegeben. Dadurch wird die natürliche Zusammensetzung der Atmosphäre verändert. Dies führt zu gesundheitlichen Auswirkungen bei Mensch, Tier und Pflanze, schädigt Gebäude, beeinflusst ganze Ökosysteme und führt langfristig auch zu Klimaveränderungen.

Bei den Luftschadstoffen lassen sich zwei Kategorien unterscheiden: Primärschadstoffe werden direkt aus Auspuffen, Kaminen etc. ausgestossen (Beispiel Kohlenmonoxid). Sekundärschadstoffe bilden sich erst in der Atmosphäre durch Einwirkung von Sonnenlicht und/oder chemischen Reaktionen aus Vorläufersubstanzen (z.B. Ozon oder Stickstoffdioxid).

In der Stadtluft können Hunderte verschiedener Fremdstoffe nachgewiesen werden. 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, der emittierten Mengen oder der hohen Konzentrationen in der Aussenluft eine besondere Bedeutung zu.

In der Stadt Zürich wird die Luftqualität heute in erster Linie durch hausgemachte Emissionen von Stickoxiden aus Strassenverkehr und Wärmeerzeugung bestimmt. Bei langlebigen Schadstoffen, welche über weite Strecken verfrachtet werden (Ozon, Feinstaub PM10), tragen zudem auch importierte Anteile wesentlich zur Belastung bei.

## 5.1 STICKOXIDE NOx

### Entstehung

Stickoxide (NOx) entstehen als unerwünschte Nebenprodukte bei Verbrennungsvorgängen. Bei sehr hohen Temperaturen können Stickstoff (N<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) mit der für die Verbrennung benötigten Luft reagieren und

Stickoxide bilden. Ein weiterer Teil der Stickoxide stammt auch aus dem in Brenn- und Treibstoffen enthaltenen Stickstoff. Bei diesen Prozessen entsteht vor allem Stickstoffmonoxid (NO), das in der Atmosphäre rasch in das giftigere Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) umgewandelt wird. Die Summe von NO und NO<sub>2</sub> wird als NOx bezeichnet. In der schweizerischen Luftreinhalte Verordnung (LRV) sind nur für NO<sub>2</sub> Immissionsgrenzwerte festgelegt.

### Gesundheitliche Auswirkungen

Die Stickoxide, welche zusammen ein hoch reaktives Gemisch bilden, zählen zu den wichtigsten Schadstoffen der Luft. Besonders Stickstoffdioxid zeigt eine starke Reizwirkung und 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.

### Rund die Hälfte der Stickoxid-Emissionen aus dem Strassenverkehr

Auf der Basis des 2016 fertig gestellten Emissionskatasters der Stadt Zürich wurden die Stickoxid-Emissionen für das Jahr 2010 berechnet. Der jährliche Ausstoss von Stickoxiden betrug 2010 1520 Tonnen [3], eine Abnahme von rund 70% gegenüber dem Jahr 1990 [4]. 2010 stammten rund 50% der Stickoxid-Emissionen aus dem Strassenverkehr, weitere 25% aus Feuerungsanlagen (Heizungen etc.) und 10% aus der Verbrennung von Siedlungsabfällen (vgl. Abb. 2).

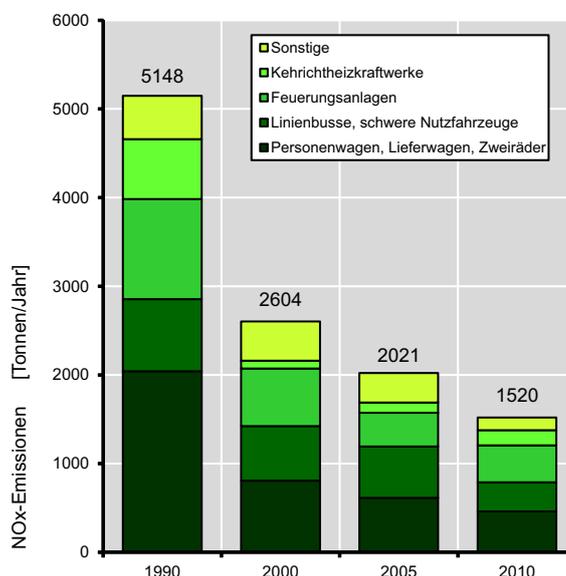


Abb. 2 Stickoxid-Emissionen nach Verursacherguppen 1990 bis 2010

## 5.2 STICKSTOFFDIOXID NO<sub>2</sub>

### Entlang der Hauptverkehrsachsen Grenzwerte teils deutlich überschritten

Die laufende Reduktion der Stickoxid-Emissionen führt dazu, dass auch die NO<sub>2</sub>-Luftbelastung in der Stadt Zürich zwischen 1990 und 2016 massiv abgenommen hat. Trotz aller Bemühungen bleibt weiterhin Handlungsbedarf, denn entlang der städtischen Hauptverkehrsachsen und in dicht bebauten zentralen Lagen wird der Jahresgrenzwert für NO<sub>2</sub> nach wie vor überschritten.

In der Stadt Zürich ist die Belastung durch Stickoxide weitgehend hausgemacht. Die Immissionen werden in erster Linie durch die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Verkehr und Feuerungsanlagen bestimmt.

### Deutlich geringere Verbesserungen an stark verkehrsexponierten Orten

Die chronische Belastung durch NO<sub>2</sub> ist geprägt durch eine starke Abnahme der Belastung bis Mitte der 90er Jahre. Die positive Entwicklung hat sich in den folgenden Jahren zunehmend abgeschwächt und die Messdaten zeigen in den letzten Jahren nur noch eine geringfügig abnehmende Tendenz. Im Weiteren fällt auf, dass an den stark verkehrsexponierten Messorten die Verbesserung der Luftqualität bezüglich der NO<sub>2</sub>-Belastung deutlich geringer ausfällt als an anderen Messorten. Der Langzeit-Grenzwert für NO<sub>2</sub> wird entlang städtischer Hauptverkehrsachsen immer noch, teils massiv, überschritten (vgl. Abb. 4).

Aus der Reihe fallen die Jahre 2003 und 2006, die durch lang anhaltende Winterinversionslagen und überdurchschnittlich schöne und heisse Sommer geprägt waren. Diese ausserordentlichen Wetterbedingungen schlagen sich dann auch in der hohen Zahl an Überschreitungen des Tagesgrenzwertes nieder.

Überschreitungen des Tagesgrenzwerts für NO<sub>2</sub> werden als Folge der Emissionsreduktionen in Zukunft selbst in witterungsbedingten Ausnahmefällen (Winterinversionen) immer seltener zu verzeichnen sein.

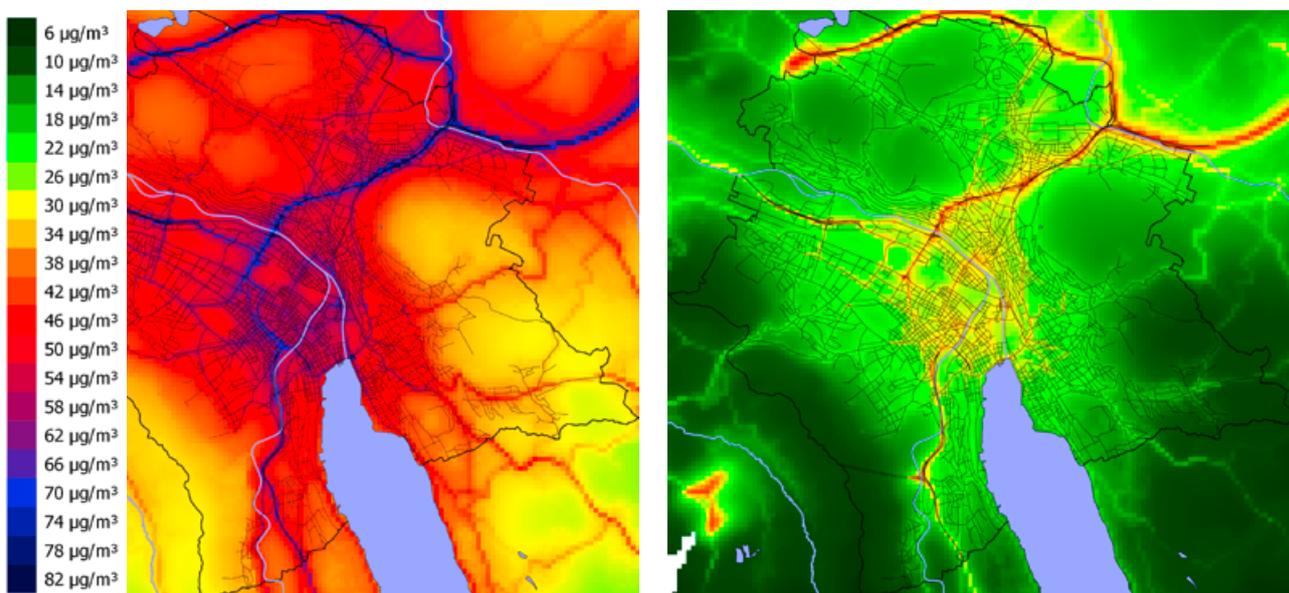


Abb. 3 NO<sub>2</sub>-Belastungen 1990 und 2016 (modellerte Daten)

Der hohe Verkehrsbeitrag an den Emissionen spiegelt sich auch im Belastungsmuster über dem Stadtgebiet wieder.

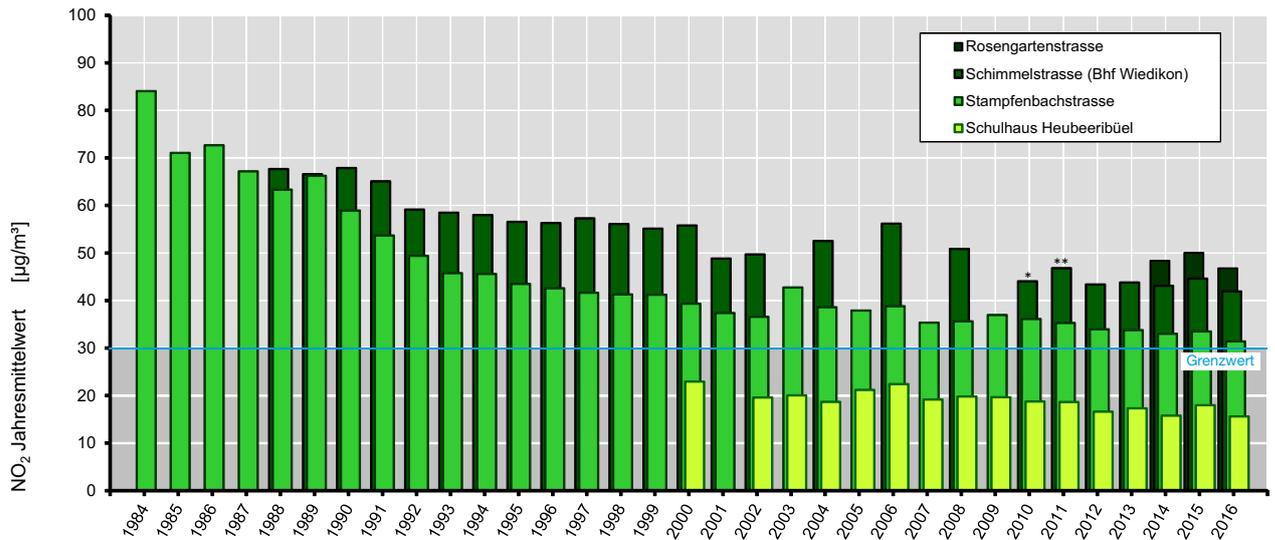


Abb. 4 Entwicklung der Stickstoffdioxid Jahresmittelwerte von 1984 bis 2016 Die positive Entwicklung hat sich ab Mitte der 90er Jahre zunehmend abgeschwächt (\*, \*\* Messwerte Schimmelstrasse beeinflusst durch die Umbauarbeiten und das neue Verkehrsregime im Anschluss an die Eröffnung der Westumfahrung Zürich)

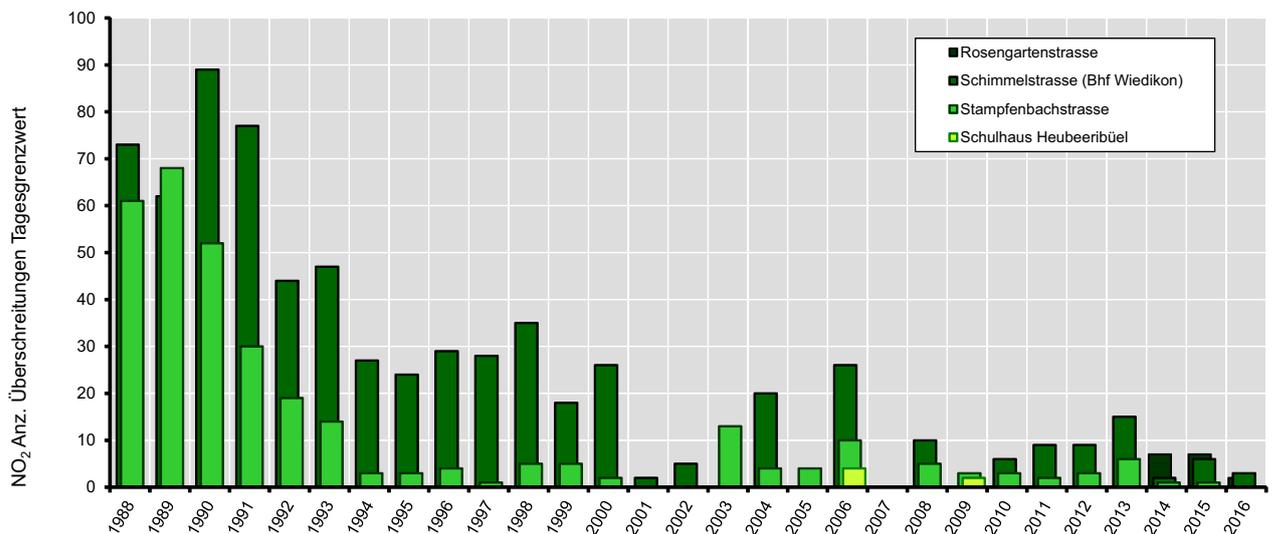


Abb. 5 Entwicklung der Zahl der Überschreitungen des Stickstoffdioxid-Tagesgrenzwerts 1988 bis 2016

### NO<sub>2</sub>-Passivsammler-Messungen

Stickstoffdioxid-Passivsammler [5, 6] bilden eine günstige Erweiterung des Messnetzes. Mit ihnen lässt sich zusätzlich zu den kontinuierlichen Messungen ein engmaschigeres

Netz an Messpunkten aufbauen. So wurden ab 1994 die apparativ aufwändigen und teuren Stichprobenmessungen mittels kontinuierlicher Messverfahren nach und nach durch Passivsammlermessungen ersetzt.

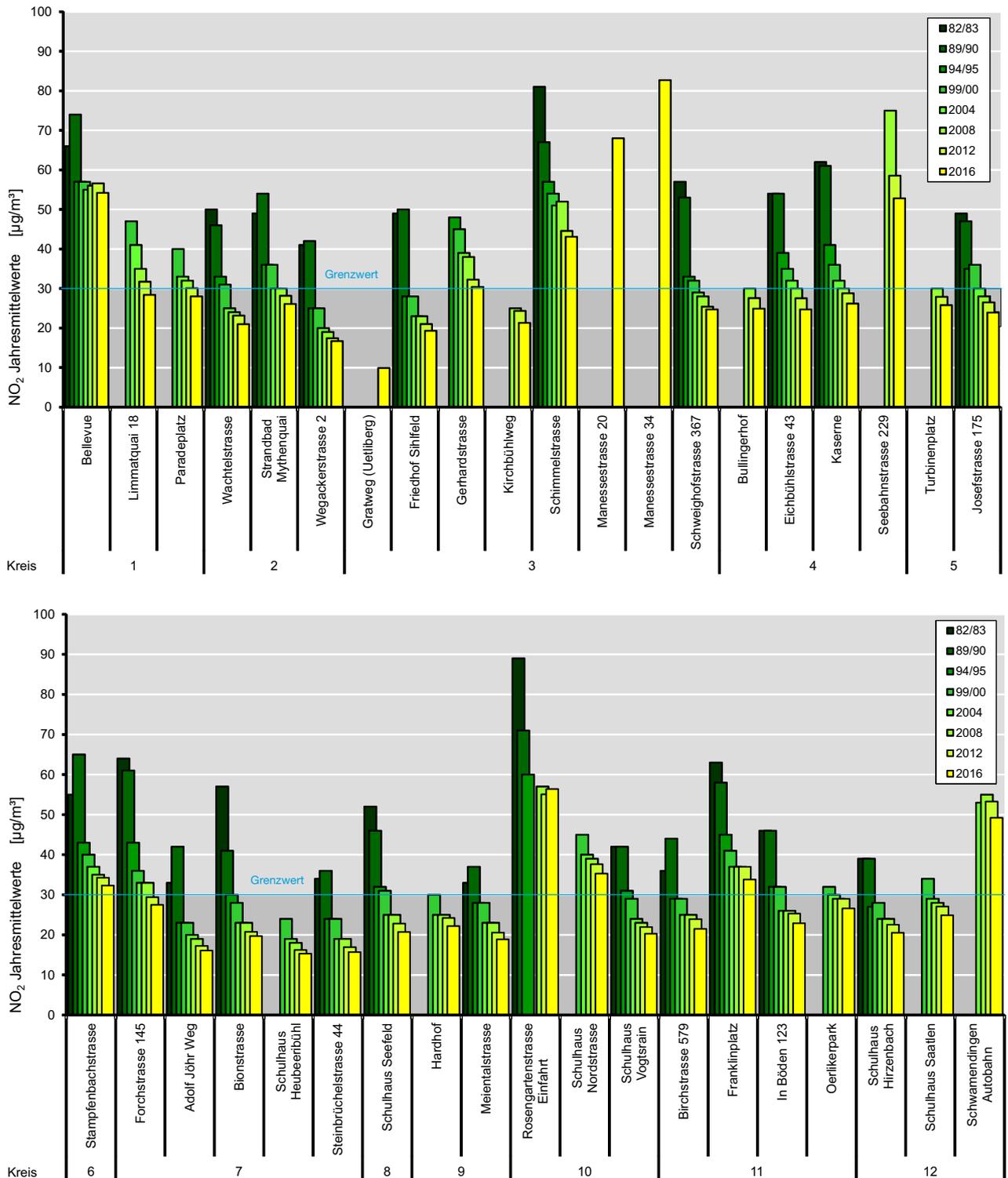


Abb. 6 Jahresmittelwerte Stickstoffdioxid nach Stadtkreisen an den zusätzlichen Messorten der Messkampagnen ab 1982/1983 (Stichproben- und Passivsammlermessungen) dunkelgraue Fläche = innerhalb Grenzwert:

Werden an den Dauermessstationen ebenfalls Passivsammler eingesetzt, lässt sich das Passivsammler-Messverfahren auf das in den Messstationen eingesetzte Referenzverfahren beziehen. Die Vergleichbarkeit der Daten aus den beiden Messverfahren kann so gewährleistet werden (vgl. Anhang A5).

Die Resultate der Passivsammler-Messungen zeigen an den mässig verkehrsexponierten und verkehrsfernen Messorten eine laufende Verbesserung der NO<sub>2</sub>-Belastungen. So liegen die aktuellen Messwerte an diesen Messorten im Bereich des Jahresgrenzwerts oder halten diesen deutlich ein. Entlang der städtischen Hauptverkehrsachsen hingegen liegen die NO<sub>2</sub>-Belastungen weiterhin deutlich über dem Jahresgrenzwert. Punktuell können NO<sub>2</sub>-Belastungen registriert werden, die über dem Doppelten des Grenzwerts liegen. Hinzu kommt, dass in den letzten 15 Jahren an diesen Messorten die NO<sub>2</sub>-Belastung deutlich geringer abgenommen hat als an den übrigen Messorten.

Die Hauptursachen dafür sind einerseits der Zusammenhang von NO<sub>2</sub>-Belastung und NO<sub>x</sub>-Belastung (vgl. Anhang A4), andererseits der zu hohe Stickoxid-Ausstoss von Dieselfahrzeugen, bei welchen bei Personenwagen von

Teilen der Automobilindustrie Emissionsvorschriften aktiv umgangen, Abgasreinigungen unter sehr grosszügiger Auslegung der Vorschriften zeitweise deaktiviert oder bei Lastwagen mittels so genannter Emulatoren/AdBlue-Killern aus Kostengründen ausgeschaltet werden.

### NO<sub>2</sub>-Belastung 2016

Erfreulicherweise ist die Belastung durch NO<sub>2</sub> seit der letzten Messkampagne 2012 weiter zurückgegangen, die Messwerte an den Messstationen des UGZ zeigen die tiefsten Belastungen seit Beginn der Messungen. Die Belastung an stark verkehrsexponierten Messorten liegt jedoch auch weiterhin deutlich über dem Langzeit-Grenzwert für das Jahresmittel.

Bei ungünstigen Witterungsbedingungen kommt es an den städtischen Hauptverkehrsachsen weiterhin zu Überschreitungen des Kurzzeit-Grenzwerts (Tagesmittelwert). Dieser wird heute jedoch in deutlich geringerem Ausmass überschritten als dies früher der Fall war. In den letzten zehn Jahren lagen die maximalen Tagesmittelwerte im Bereich von 80 bis 112 µg/m<sup>3</sup>, zwischen 1985 und 1990 noch bei 137 bis 250 µg/m<sup>3</sup>.

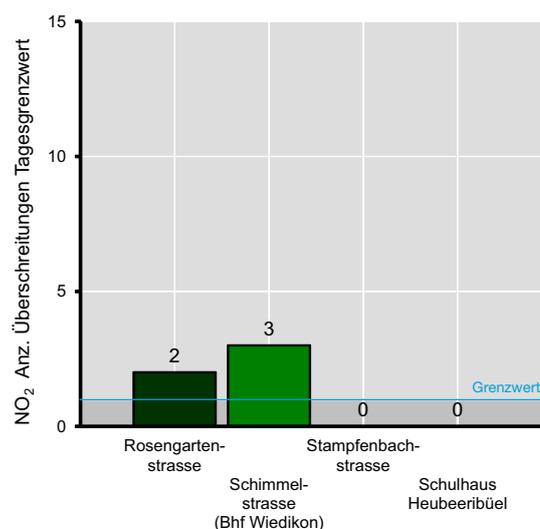
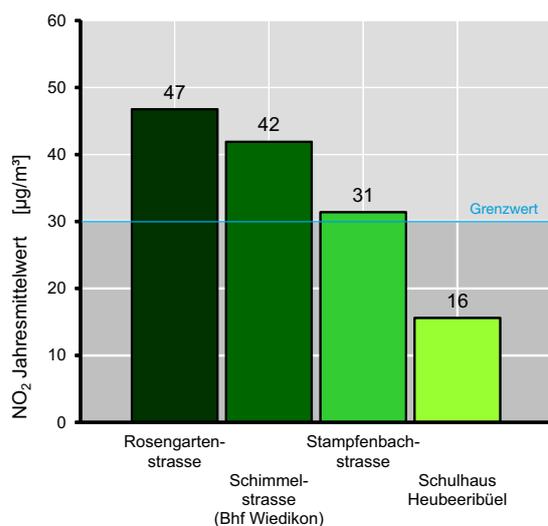


Abb. 7 Jahresmittelwerte und Anzahl Überschreitungen des Tagesgrenzwerts von Stickstoffdioxid 2016

**Bessere Beurteilungsmöglichkeiten dank hochaufgelöster Modellierung der NO<sub>2</sub>-Belastung**

Seit 2016 arbeitet der Umwelt- und Gesundheitsschutz der Stadt Zürich zusammen mit der Empa an einer hochaufgelösten Modellierung der Luftschadstoffbelastung, welche die Schadstoffausbreitung unter Berücksichtigung aktueller Wettersituationen und der Bebauung simuliert. Basis dazu bildet der städtische Emissionskataster, der 2016 fertig gestellt werden konnte [3].

Das Immissionsmodell wird im Moment im städtischen Umfeld implementiert und optimiert. Das Ziel ist, in Zukunft die Immissionsmodellierung auch kleinräumig im Rahmen von Verkehrsumlagerungen und grösseren Bauvorhaben anzuwenden, um deren Folgen auf die Luftbelastungssituation besser beurteilen zu können.

Ebenfalls denkbar wäre ein Einsatz für Prognosen der Luftbelastung in der Zukunft unter Berücksichtigung diverser Emissionsszenarien.

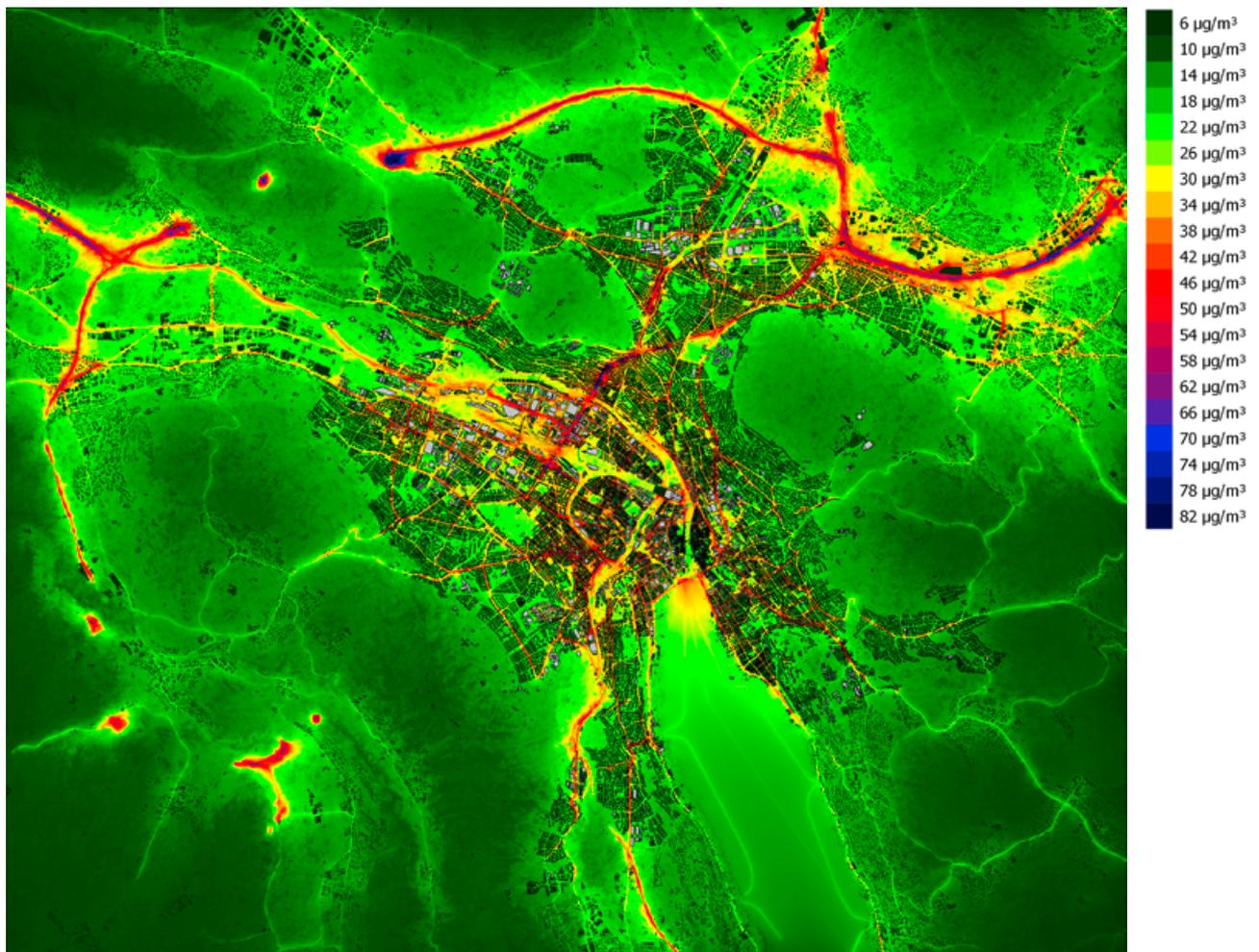


Abb. 8 Hochaufgelöste Immissionsmodellierung (Rastergrösse 10m) der Stickstoffdioxid-Belastung für 2016

## 5.3 FEINSTAUB PM10

Punktuell Überschreitungen des Langzeit-Grenzwerts und zu häufige Überschreitungen des Kurzzeit-Grenzwerts

### Entstehung

Feinstaub stammt aus einer grossen Anzahl unterschiedlichster Quellen. Beiträge zur Feinstaub-Belastung liefern praktisch alle Bereiche menschlicher Aktivitäten. Entsprechend handelt es sich beim Feinstaub um ein komplexes Gemisch verschiedenster chemischer Bestandteile unterschiedlichster Herkunft. Partikel aus Verbrennungsprozessen, mechanisch erzeugte Abriebpartikel und Partikel natürlichen Ursprungs gehören genauso dazu wie Partikel welche durch chemische Umwandlungen aus gasförmigen Vorläuferschadstoffen entstehen.

### Gesundheitliche Auswirkungen

Mehrere epidemiologische Studien in der Schweiz haben einen Zusammenhang zwischen der Luftbelastung durch feine Schwebepartikel und schädigenden Auswirkungen auf die Gesundheit belegt [7– 9]. Je kleiner die Partikel sind, umso tiefer werden sie eingeatmet. Während gröbere Partikel gar nicht eingeatmet oder bereits im Nasen- und Rachenraum aufgehalten werden, können kleinste Partikel den Kehlkopf passieren und über Luftröhre und Bronchien tief in die Lunge gelangen. Mit zunehmender Feinstaub PM10-Belastung treten vermehrt chronische Erkrankungen der Atemwege, wie beispielsweise Atemnot, Husten, Auswurf oder Atemwegsinfektionen auf. Damit verbunden sind Einschränkungen der Lungenfunktion, die Auslösung entzündlicher Reaktionen und Herz-/Kreislaufkrankungen. Hinzu kommt, dass Russpartikel und an Partikeln haftende chemische Verbindungen wie polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) teils als krebserregend und/oder erbgutschädigend eingestuft werden.

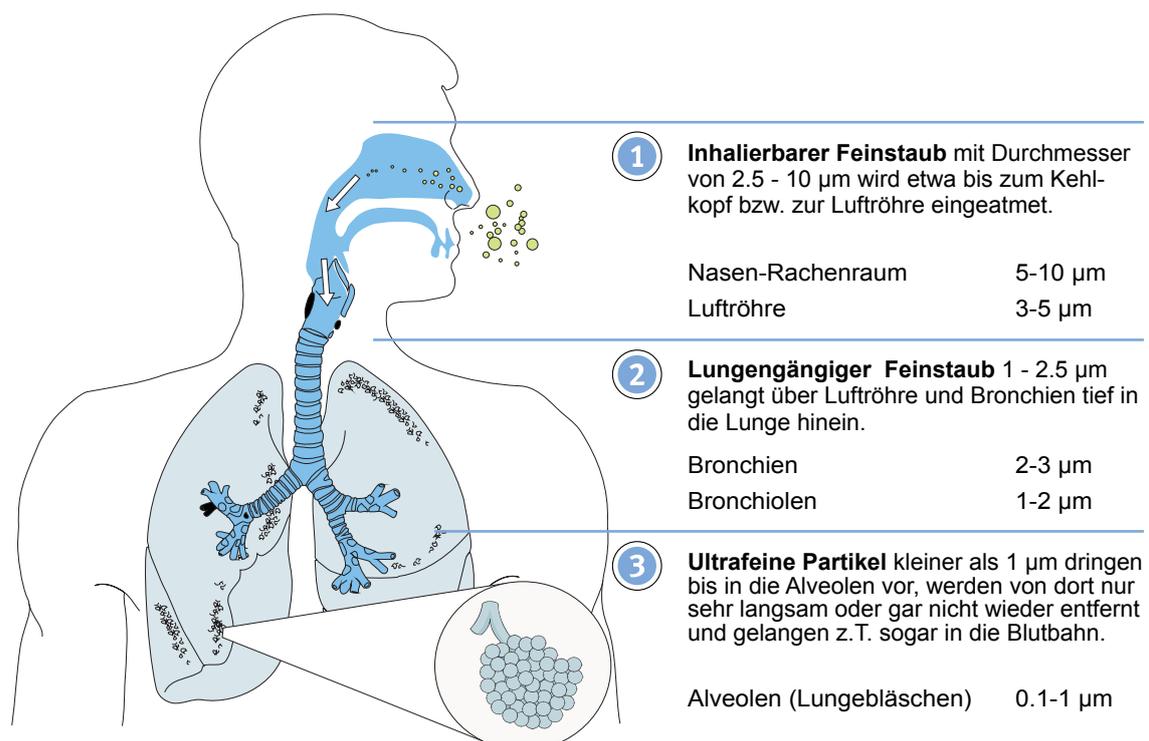


Abb. 9 Feinstaub PM10 – Grössenkategorien und Depositionsorte im menschlichen Atemtrakt

### Hauptverursacher Baugewerbe und Strassenverkehr

Feinstaub PM10 stammt aus einer grossen Zahl verschiedener Quellen [3, 10]. Die bedeutendsten Beiträge liefern dabei das Baugewerbe und der motorisierte Strassenverkehr, die zusammen für rund 70 % der gesamten Feinstaub-Emissionen der Stadt Zürich verantwortlich sind. Der Schienenverkehr und Feuerungsanlagen verursachen zusammen weitere 21 % der Emissionen.

### Feinstaub PM10-Belastung wesentlich durch Quellen ausserhalb der Stadt beeinflusst

PM10-Partikel können in Folge ihrer Stabilität und geringen Sinkgeschwindigkeit lange in der Luft verbleiben und über grosse Distanzen verfrachtet werden. Dies hat zur Folge, dass importierte Anteile von Feinstaub PM10 aus überregionalen, nationalen und auch internationalen Emissionen die lokale Feinstaub-Belastung wesentlich beeinflussen. Diese machen an den Messorten in der Stadt Zürich zwischen 70 und 85 % der Gesamtbelastung im Jahresmittel aus.

Eine Folge des hohen Anteils an importiertem Feinstaub ist die relativ homogene Verteilung von Feinstaub PM10 über das ganze Stadtgebiet.

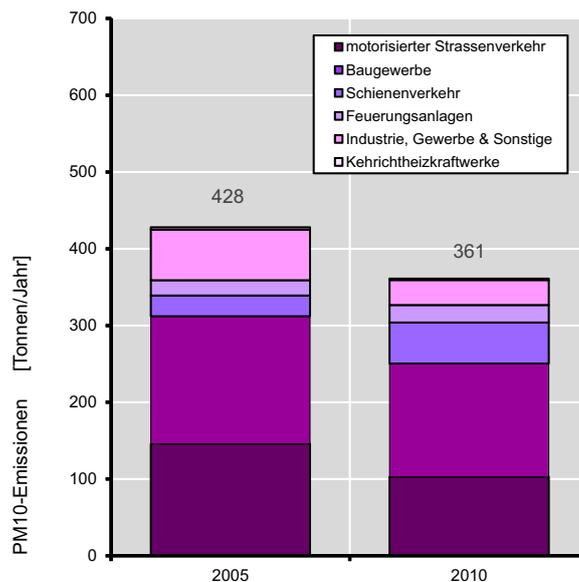


Abb. 10 Feinstaub PM10 Emissionen in der Stadt Zürich 2005 und 2010

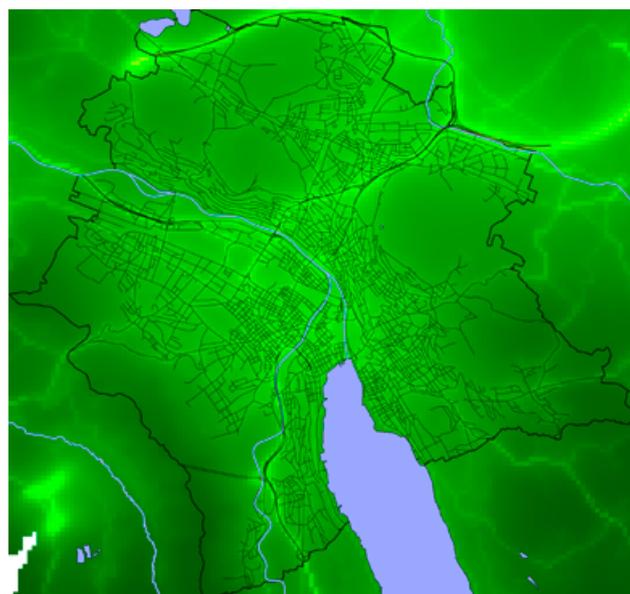
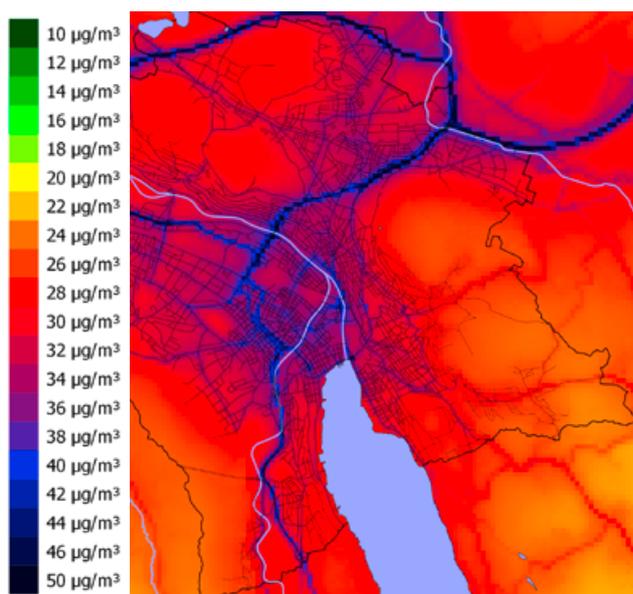


Abb. 11 Feinstaub PM10-Belastung in der Stadt Zürich 1990 und 2016

### In Zukunft wird eine weitere Verbesserung erwartet

Analog zur Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Belastung zeigt diejenige von Feinstaub PM10 ebenfalls die deutlichste Abnahme bis zum Jahre 2000. Danach flacht auch beim Feinstaub die positive Entwicklung ab. Im Gegensatz zum Stickstoffdioxid wird die Luftbelastung durch Feinstaub bis heute laufend geringer, so dass an den Messstationen des UGZ in den

letzten drei Jahren nur am Messort Rosengartenstrasse eine Überschreitung des Jahres-Grenzwerts zu verzeichnen war. Ebenfalls stark rückläufig ist die Zahl der Überschreitungen des Kurzzeit-Grenzwerts (Tagesmittelwert). Selbst bei ungünstigen Witterungsbedingungen wird der Grenzwert weniger und in deutlich geringerem Ausmass überschritten.

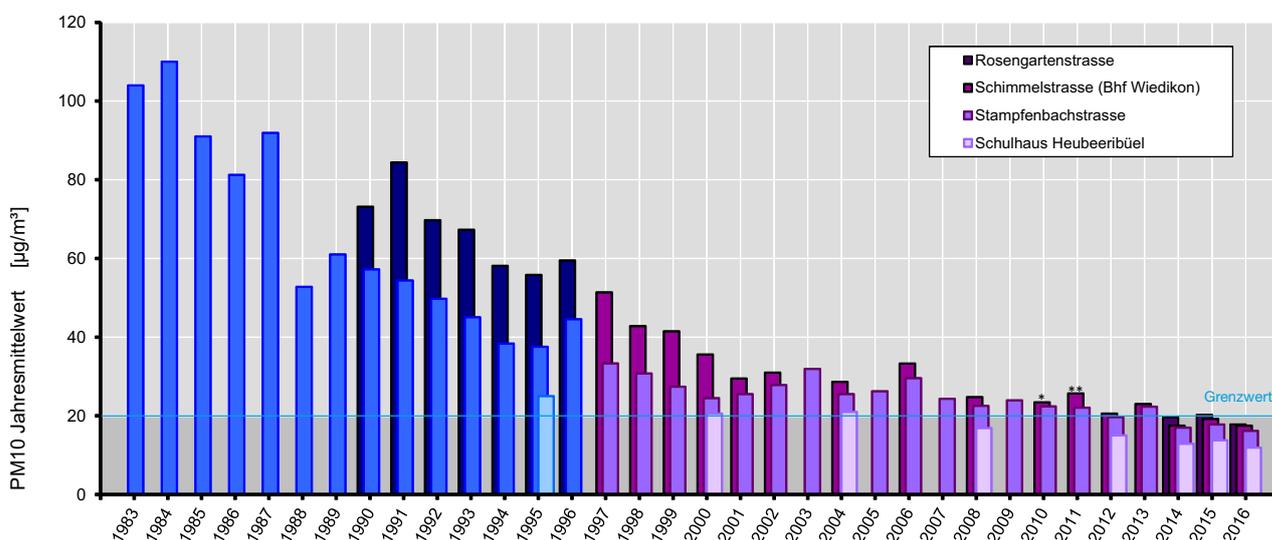


Abb. 12 Feinstaub Jahresmittelwerte an den kontinuierlichen Messstationen 1984 bis 2016 vor 1997 Messungen von Gesamt-Schwebstaub, ab 1997 Messung von Feinstaub PM10 (\*, \*\* Messwerte Schimmelstrasse beeinflusst durch die Umbauarbeiten und das neue Verkehrsregime im Anschluss an die Eröffnung der Westumfahrung Zürich)

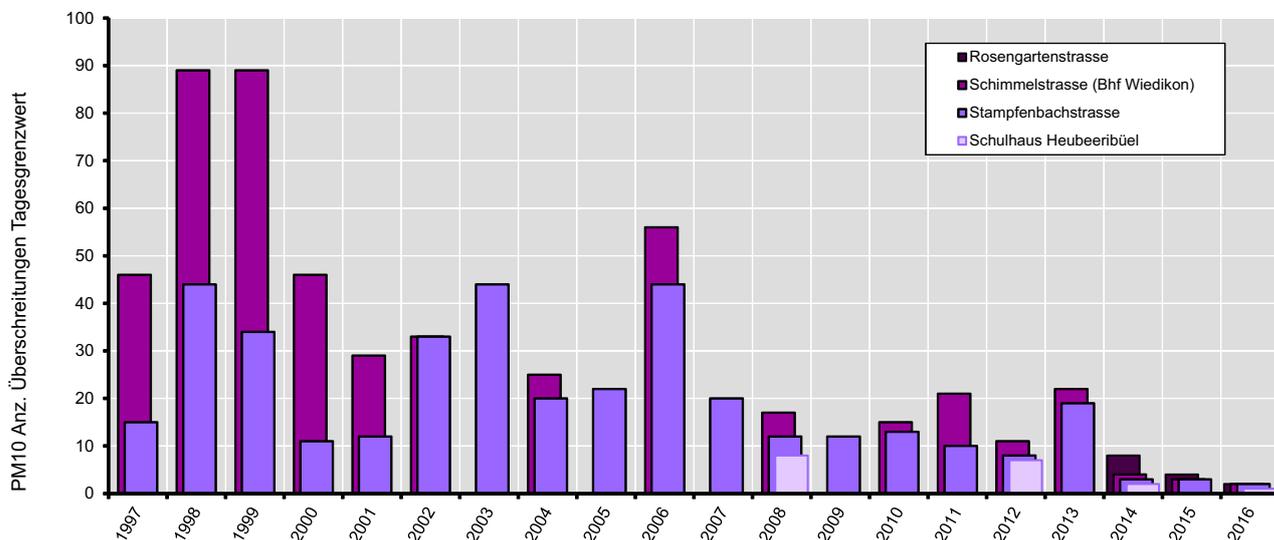


Abb. 13 Zahl der Überschreitungen des Feinstaub PM10-Kurzzeitgrenzwerts seit Beginn der Feinstaub PM10-Messungen

### Feinstaub PM10-Belastung 2016

Die chronische Belastung durch Feinstaub PM10 hat sich 2016 witterungsbegünstigt weiterhin gesenkt und steht aktuell auf dem tiefsten Niveau seit Messbeginn. Selbst an stark verkehrsexponierten Standorten wird der Jahresgrenzwert nur noch punktuell überschritten. Trotzdem bedeutet dies nicht, dass nun in den Bemühungen um weitere

Verbesserungen nachgelassen werden kann. Der Masterplan Umwelt formuliert die flächendeckende Einhaltung der Immissionsgrenzwerte bis 2025 [11].

Zu häufig kommt es immer noch zu Überschreitungen des Kurzzeitgrenzwerts (Tagesmittelwert) an zentraleren Lagen in der Stadt.

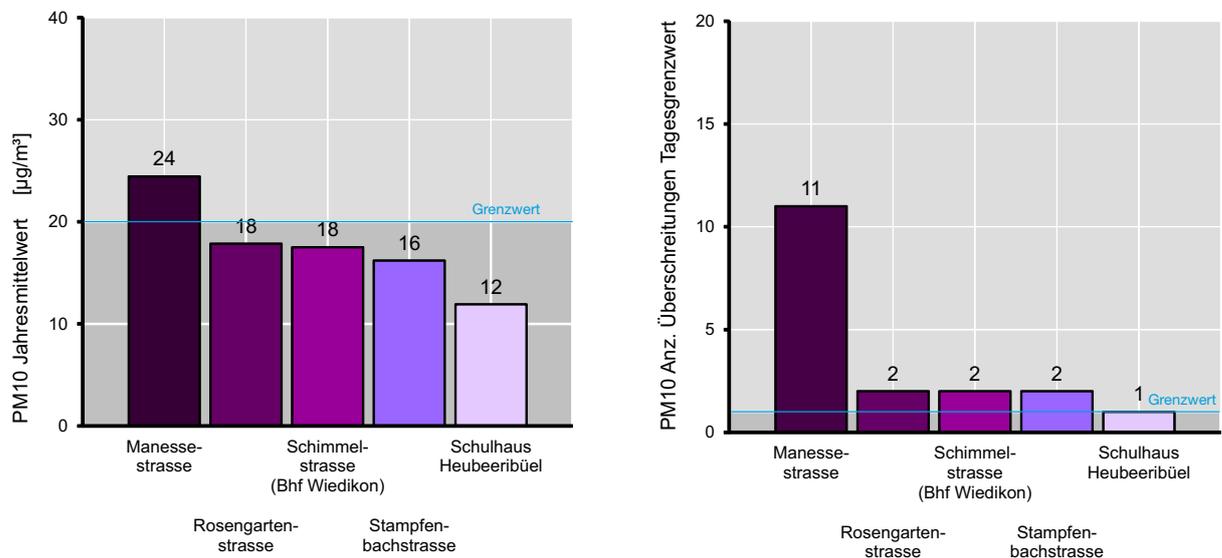


Abb. 14 Jahresmittelwerte und Anzahl der Überschreitungen des Tagesgrenzwerts von Feinstaub PM10 2016

## 5.4 FEINSTAUB PM2.5

### Eine zusätzliche neue Beurteilungsgrösse

Feinstaub PM2.5 beinhaltet den lungengängigen Anteil von Feinstaub PM10. In der Schweiz gibt es noch keinen Immissionsgrenzwert für Feinstaub PM2.5. Die WHO-Richtlinien [12] empfehlen einen Richtwert von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für Feinstaub PM2.5. Dieser wurde auch von der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (EKL) in ihrem Statusbericht zum Thema Feinstaub übernommen [13] und soll mit der Revision der LRV 2018 als zusätzlicher Grenzwert übernommen werden.

Der Gemeinderat der Stadt Zürich beauftragte den UGZ unter dem Stichwort «Verbesserung der Feinstaub-Messungen» damit, auch die Messung von PM2.5 aufzunehmen. Eine erste Stichprobenmessung erfolgte 2016 am Messort Schimmelstrasse und ergab einen Jahresmittelwert von  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , was knapp über dem WHO-Richtwert von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegt. Der Anteil von Feinstaub PM2.5 an PM10 beträgt 64 %. Gleichzeitig wurden im Rahmen des Geräte-Ersatzes kontinuierlich messende Feinstaub-Analysatoren beschafft,

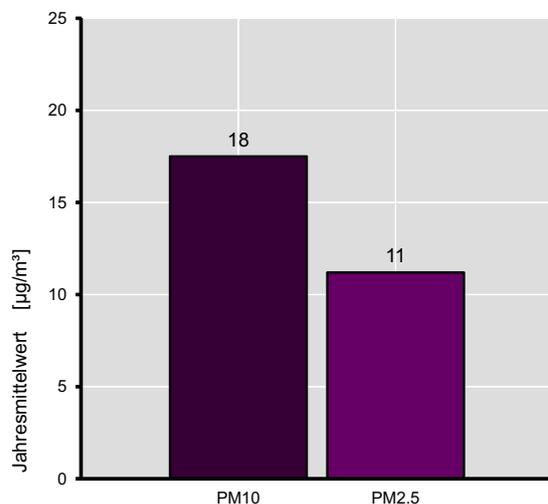


Abb. 15 Feinstaub PM10 und PM2.5 am Messort Schimmelstrasse 2016

welche in der Lage sind PM10 und PM2.5 simultan zu messen. In näherer Zukunft werden sämtliche Messstationen, an welchen bisher kontinuierliche PM-Messungen ausgeführt wurden, mit dem neuen Gerätetyp ausgerüstet werden.

## 5.5 FEINSTAUB PM10 INHALTSSTOFFE

### Russbelastung verringert, aber nach wie vor über den Zielwerten

Feinstaub PM10 ist ein Konglomerat von Partikeln aus unterschiedlichsten Quellen. Eine grobe Unterteilung lässt sich in Partikel aus Verbrennungsprozessen, Partikel aus mechanischen Prozessen, Partikel natürlichen Ursprungs und so genannte sekundäre Partikel, die aus gasförmigen Vorläufersubstanzen entstehen, machen. Von gesundheitlicher Relevanz ist dabei in erster Linie der elementare Kohlenstoff (Russ), der als krebserregend eingestuft ist.

### 5.5.1 Elementarer und organischer Kohlenstoff (EC und OC)

Dieselmotoren stossen eine grosse Anzahl an Einzelsubstanzen aus, die teils gasförmig, teils partikelförmig vorliegen. Besonders feinteiligen Partikeln (10 – 500 nm) kommt dabei eine grosse gesundheitliche Bedeutung zu. Sie sind in erster Linie dafür verantwortlich, dass Dieselabgase ein wesentlich grösseres Gesundheitsrisiko darstellen als Abgase von Benzinmotoren. Hinzu kommt, dass Dieselmotoren ein Mehrfaches der Stickoxidemissionen eines Benzinmotors aufweisen. Mit dem Einsatz von Partikelfiltern kann die Anzahl der ultrafeinen Russpartikel um mindestens 95 % reduziert werden.

Die Praxistauglichkeit derartiger Systeme ist heute für alle Fahrzeugkategorien unbestritten.

Dieselmotoren werden als elementarer Kohlenstoff bestimmt. Die bestehenden Analysenreihen zeigen seit 2001 eine Abnahme auf rund ein Drittel der damaligen Belastung. Mit dem durch die EKL formulierten Zielwert von  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und der geforderten Reduktion auf 20 % der Belastung von 2013 in den folgenden 10 Jahren soll dem Problem vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden. Wie die Messreihen zeigen, nimmt die Belastung durch elementaren Kohlenstoff von Jahr zu Jahr ab. Ein Erreichen des Reduktionsziels ist angesichts der momentanen Entwicklung in näherer Zukunft eher unwahrscheinlich.

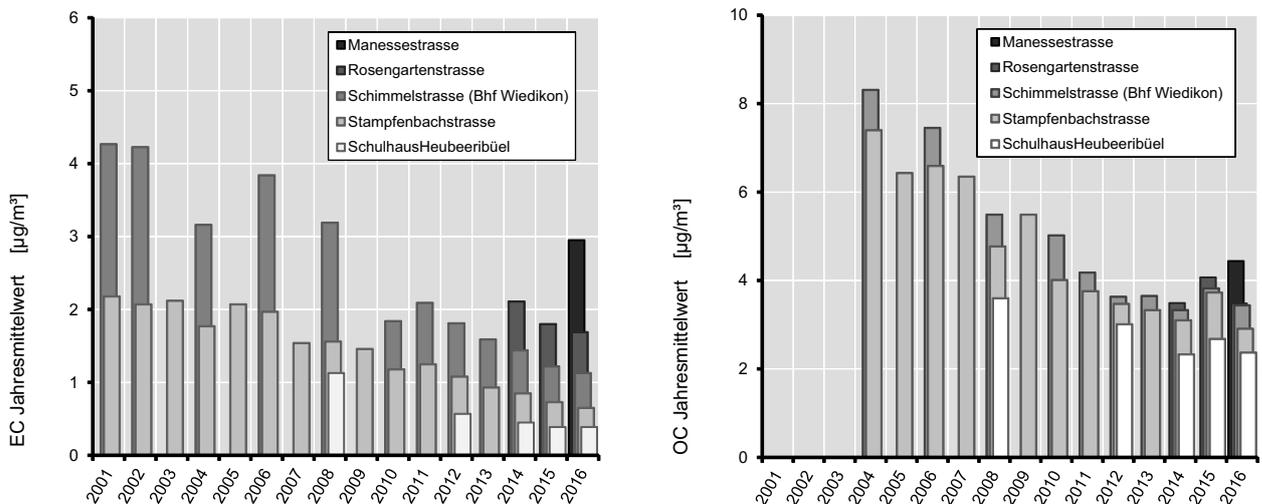


Abb. 16 Jahresmittelwerte des elementaren und des organischen Kohlenstoffs 2001 bis 2016

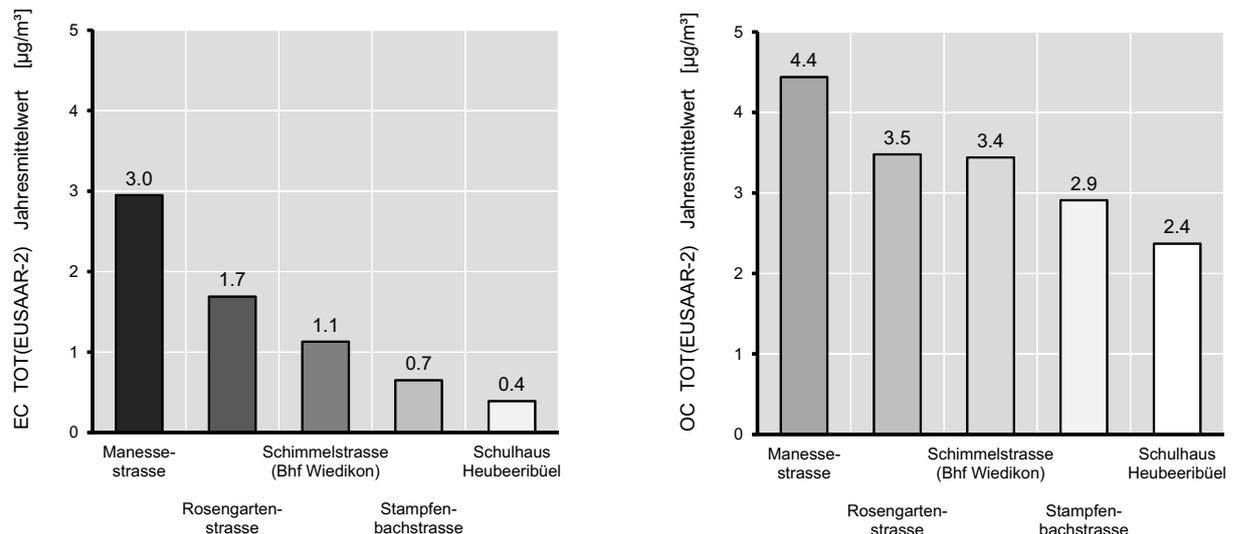


Abb. 17 Elementarer Kohlenstoff (EC) und organischer Kohlenstoff (OC) 2016

<sup>1</sup> 2001 bis 2003 nur Analytik des elementaren Kohlenstoffs

### 5.5.2 Schwermetalle und weitere Metalle

Neben dem elementaren Kohlenstoff gibt es noch eine Anzahl weiterer problematischer Substanzen im Feinstaub PM<sub>10</sub>. Die Schwermetalle Blei und Cadmium werden durch Grenzwerte in der LRV reglementiert. Daneben finden sich im Feinstaub weitere Metallanteile. Als Bestandteil des Feinstaubes gelangen sie über die Atemwege in den Körper, wo sie ihre gesundheitsschädigenden Auswirkungen entfalten können.

#### Blei und Cadmium

Seit die Kehrlichtheizkraftwerke mit Rauchgasreinigungen ausgerüstet und Bleiverbindungen als Benzinadditiv 1986 im Normalbenzin und im Jahr 2000 gänzlich verboten wurden, ist der Bleigehalt im Feinstaub rapide gesunken. Heute ist Blei im Feinstaub nur noch in Spuren nachweisbar. Die konsequente Eliminierung von Cadmium im Alltagsgebrauch hat dazu geführt, dass der Cadmium-Anteil im Feinstaub PM<sub>10</sub> laufend sinkt und heute deutlich unter dem Grenzwert der LRV liegt.

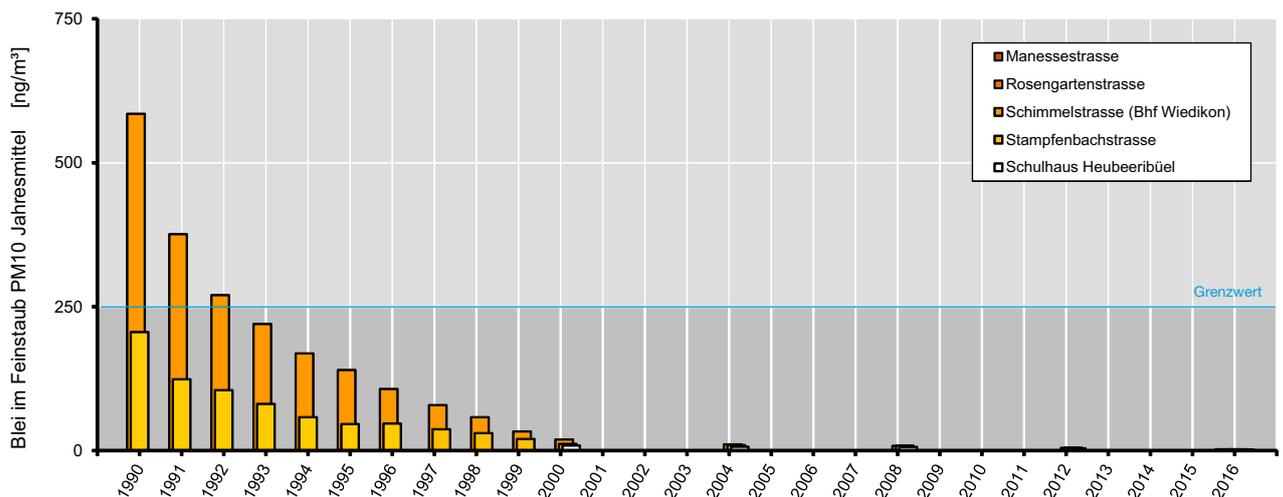


Abb. 18 Jahresmittelwerte von Blei im Feinstaub PM<sub>10</sub> von 1990 bis 2016<sup>2</sup>

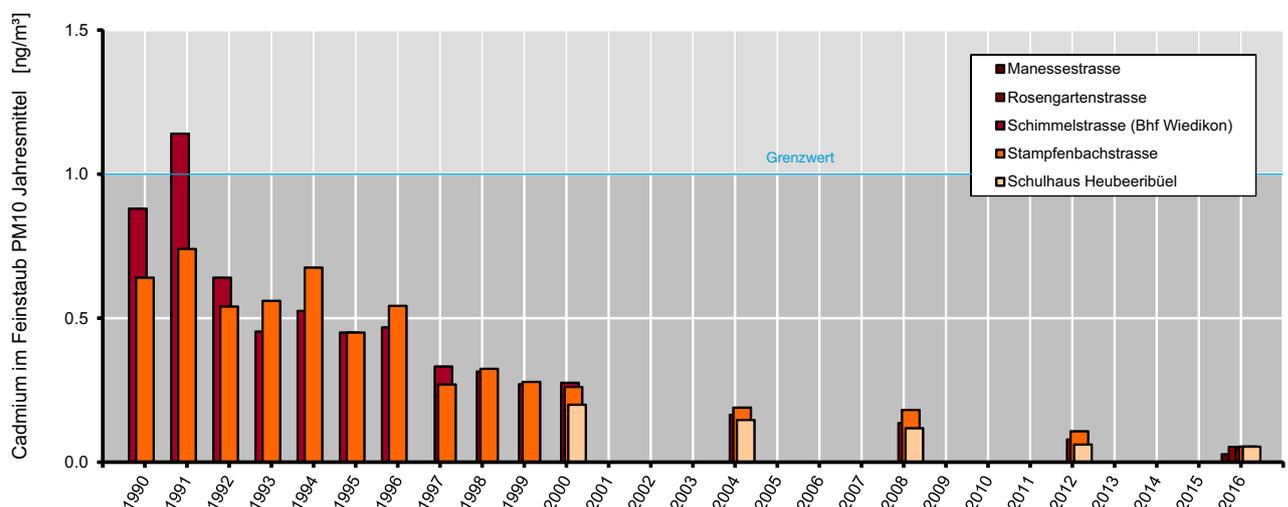


Abb. 19 Jahresmittelwerte von Cadmium im Feinstaub PM<sub>10</sub> von 1990 bis 2016<sup>2</sup>

<sup>2</sup> vor 1997: Blei- und Cadmiumbelastung im Gesamtschwebstaub (TSP)

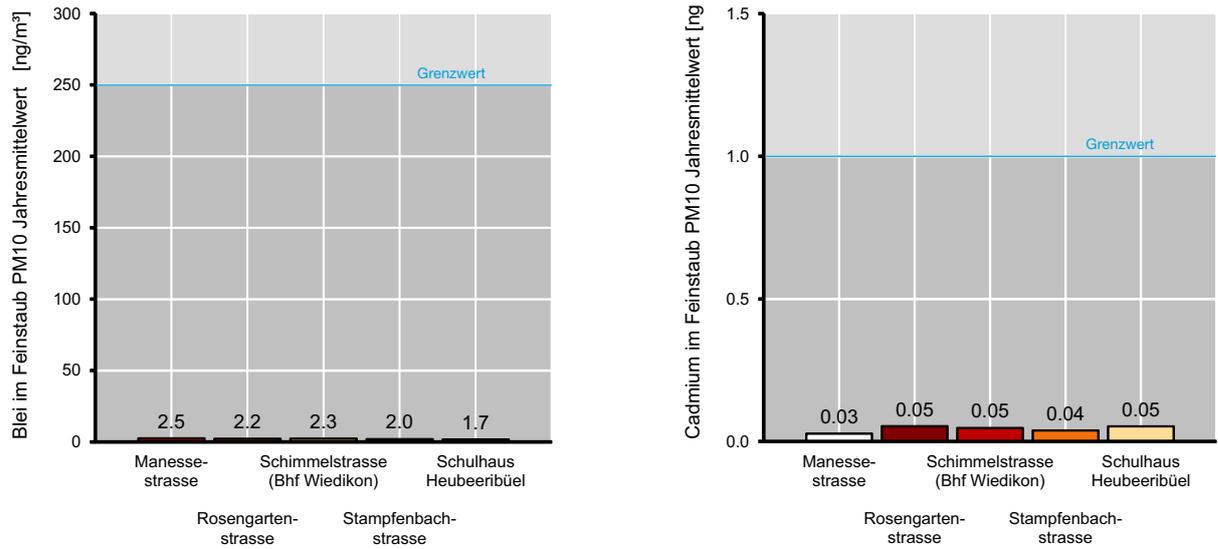


Abb. 20 Jahresmittelwerte Blei und Cadmium im Feinstaub PM10 2016 Die Grenzwerte werden deutlich eingehalten

**Weitere Metalle**

Neben den reglementierten Schwermetallen Blei und Cadmium finden sich im Feinstaub PM10 eine Reihe weitere Metalle, vor allem Eisen und auch Aluminium. Diese stammen in erster Linie aus Abriebprozessen des Strassen- und Schienenverkehrs.

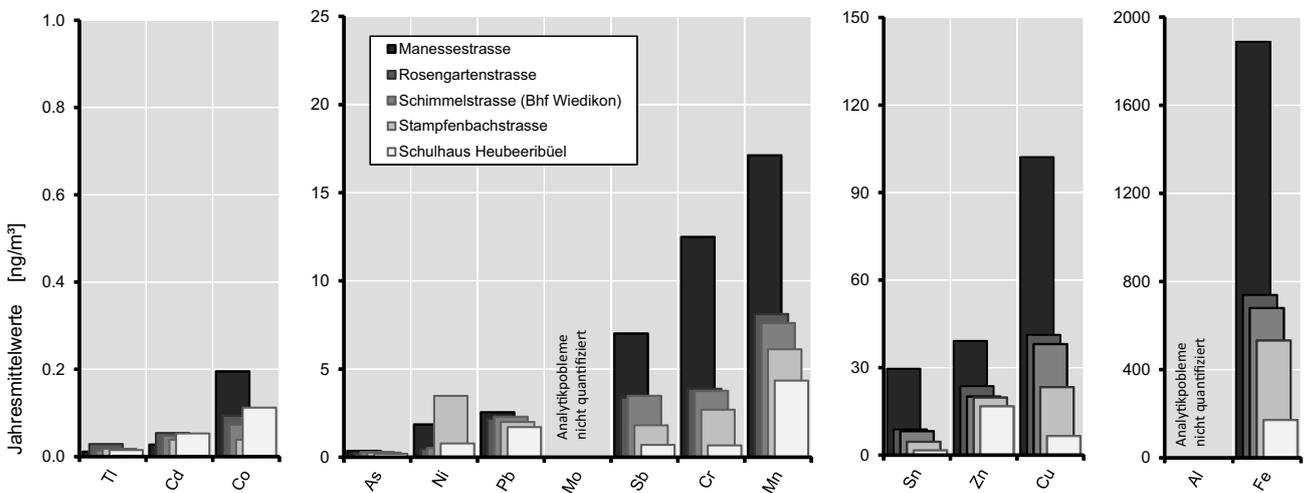


Abb. 21 Metallanteile am Feinstaub PM10 2016

### 5.5.3 Ionen (Salze)

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil im Feinstaub PM10 sind Salze, welche vorwiegend aus der chemischen Umwandlung gasförmiger Vorläuferschadstoffe ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ) 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, also in die Stadt importiert wird.

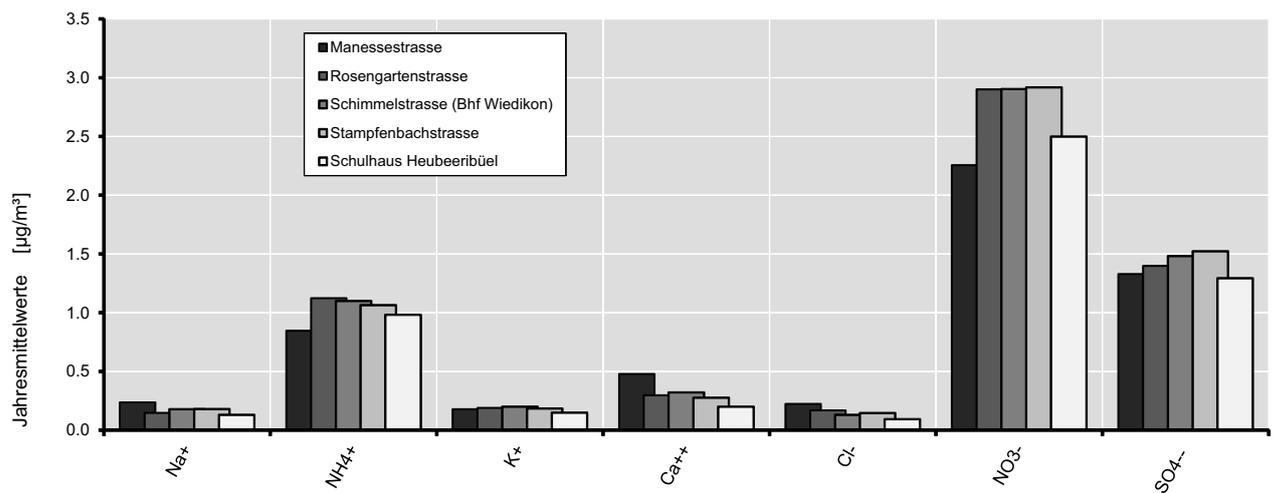


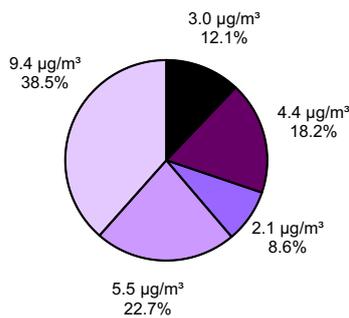
Abb. 22 Jahresmittelwerte der Ionengehalte im Feinstaub PM10 an den städtischen Messorten 2016  
Die Konstanz über das Stadtgebiet deutet auf in die Stadt importierte Feinstaub-Anteile hin

### 5.5.4 Zusammensetzung von Feinstaub

Mit den Daten der vorhergehenden Abschnitte lässt sich die Zusammensetzung der Feinstaub-Belastung auf der Basis der verschiedenen Fraktionen genauer betrachten. Die untersuchten Anteile machen rund zwei Drittel der Gesamtbelastung aus. Im nicht identifizierten Anteil finden sich Bestandteile wie Pneu- und Bremsabrieb oder auch Feinstaub natürlichen Ursprungs, beispielsweise Sahara-Staub und Pollenfragmente.

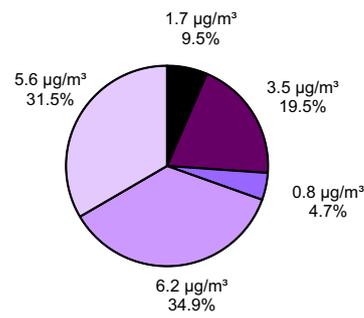
Die ähnliche Grössenordnung verschiedener Fraktionen, insbesondere der Salze, weist darauf hin, dass ein wesentlicher Teil der Feinstaub-PM10-Belastung nicht lokalen Ursprungs ist, sondern in die Stadt importiert wird. Im Gegensatz dazu zeigt insbesondere der elementare Kohlenstoff einen direkten Bezug zum Verkehrsaufkommen am jeweiligen Messort.

**Manessestrasse**

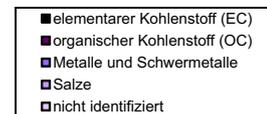


PM10 Jahresmittelwert: 24.4 µg/m³

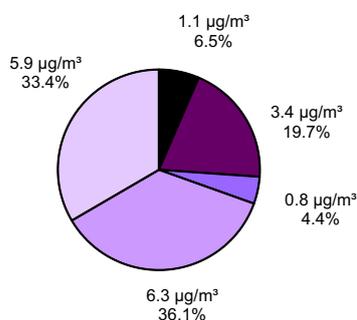
**Rosengartenstrasse**



PM10 Jahresmittelwert: 17.9 µg/m³

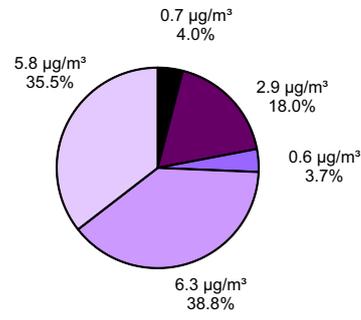


**Schimmelstrasse (Bhf Wiedikon)**



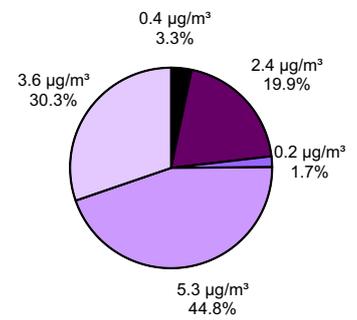
PM10 Jahresmittelwert: 17.5 µg/m³

**Stampfenbachstrasse**



PM10 Jahresmittelwert: 16.2 µg/m³

**Schulhaus Heubeebühl**



PM10 Jahresmittelwert: 11.9 µg/m³

Abb. 23 Zusammensetzung der Feinstaub-Belastung an den städtischen Messorten 2016

## 5.6 OZON



### Tiefere Spitzenbelastungen – Grenzwerte weiterhin überschritten

Ozon 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Stark erhöhte Ozonkonzentrationen treten in Bodennähe während anhaltender sommerlicher Schönwetterlagen mit erhöhten Temperaturen auf.

#### Entstehung

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

Die wichtigsten Ozonvorläufer sind Stickoxide (vgl. 5.1) und flüchtige organische Verbindungen (VOC). Aus den Auspuffen motorisierter Fahrzeuge wird ein ideales Gemisch dieser Schadstoffe ausgestossen. Unter intensiver UV-Einstrahlung bei hohen Temperaturen werden Ozon, andere Oxidantien (oxidierend wirkende Substanzen) und so genannte sekundäre Aerosole (Partikel) durch komplexe photochemische Prozesse aus den Vorläuferschadstoffen gebildet. Ozon ist die Leitsubstanz für Sommer- resp. Photosmog.

Ozon ist in höheren Luftschichten sehr langlebig und kann in Abhängigkeit der Wetterlage über weite Distanzen verfrachtet werden. So tragen die Emissionen der Vortage in der Schweiz, im europäischen Umfeld und nach neueren Erkenntnissen der gesamten nördlichen Erdhemisphäre wesentlich zur aktuellen Ozonbelastung bei. Durch vertikale 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, welche nicht durch den lokalen Schadstoffausstoss verursacht wird und entsprechend durch lokale Massnahmen zur Reduktion der Vorläuferschadstoffe nicht beeinflusst werden kann.

#### Gesundheitliche Auswirkungen

Die schädlichen Effekte von Ozon auf Mensch, Tier und Pflanze beruht auf seiner hohen Oxidationskraft. Ozon entfaltet seine 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.

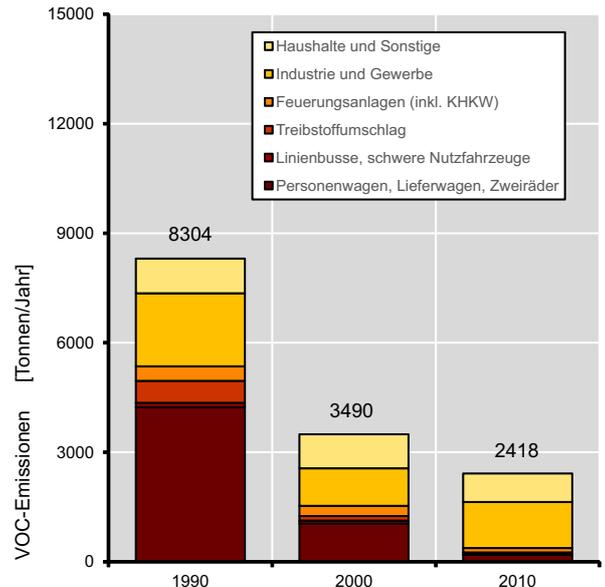
**Emissionen flüchtiger, organischer Verbindungen sind immer noch zu hoch**

Der lokale Beitrag zur Ozonbelastung wird in erster Linie durch die Stickoxid-Emissionen des motorisierten Strassenverkehrs (vgl. 5.1) und die VOC-Emissionen von Industrie, Gewerbe und privater Haushalte verursacht [3, 14].

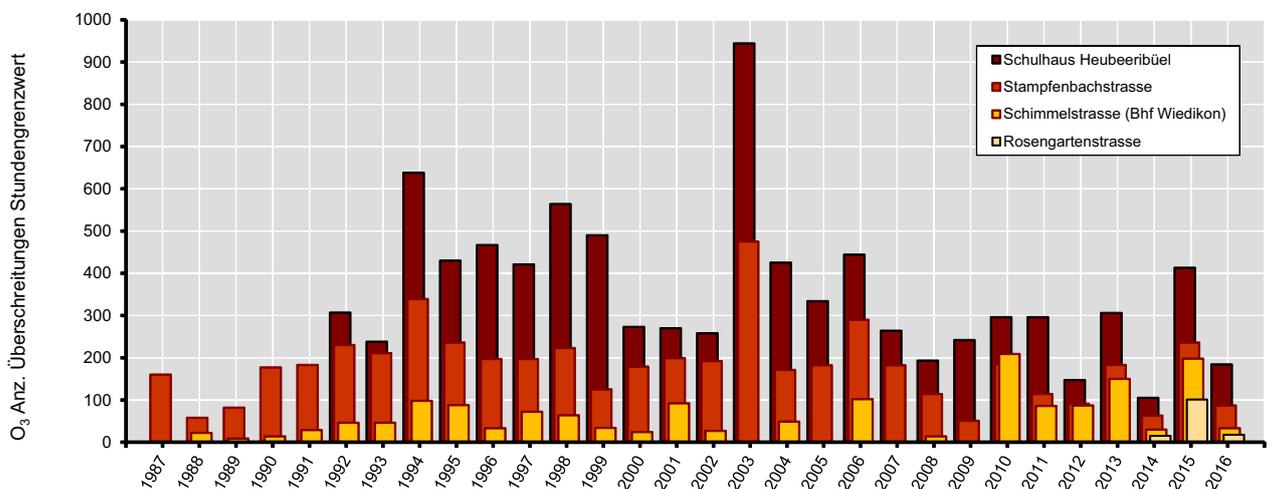
Obwohl die NOx- und VOC-Emissionen der Stadt Zürich seit 1990 um rund Zweidrittel abgenommen haben, reichen diese Reduktionen gerade mal aus, die Ozon-Spitzenbelastungen zu brechen.

**Tiefere Spitzenbelastungen**

Die Zahl der Überschreitungen des Ozon-Stundengrenzwertes ist stark abhängig von der jeweiligen Wettersituation im Sommerhalbjahr. Heisse Sommer führen zwangsläufig zu einer grossen Zahl an Überschreitungen. Über die Jahre lässt sich einerseits eine Abnahme in der Höhe der Spitzenbelastungen beobachten, andererseits zeigen witterungsmässig vergleichbare Sommer heute eine deutlich geringere Zahl an Überschreitungen des Stundengrenzwertes als noch vor 15 Jahren. Deutlich wird dies beim Vergleich der beiden Hitzesommer 2003 und 2015 (vgl. Abb. 25). Die Zahl der Überschreitungen war 2015, trotz ähnlicher Wettersituation nur rund halb so gross wie 2003. Spitzenbelastungen über 200 µg/m³ konnten in den letzten zehn Jahren, selbst bei günstigem «Ozonwetter» keine mehr beobachtet werden.



**Abb. 24 VOC-Emissionen nach Verursachergruppen 1990 bis 2010**  
Während 1990 noch rund 50% der Emission flüchtiger, organischer Verbindungen vom Strassenverkehr verursacht wurden, dominieren heute die Emissionen aus Industrie und Gewerbe, sowie der Haushalte.



**Abb. 25 Anzahl Überschreitungen des Stunden-Grenzwerts für Ozon 1987 bis 2016**

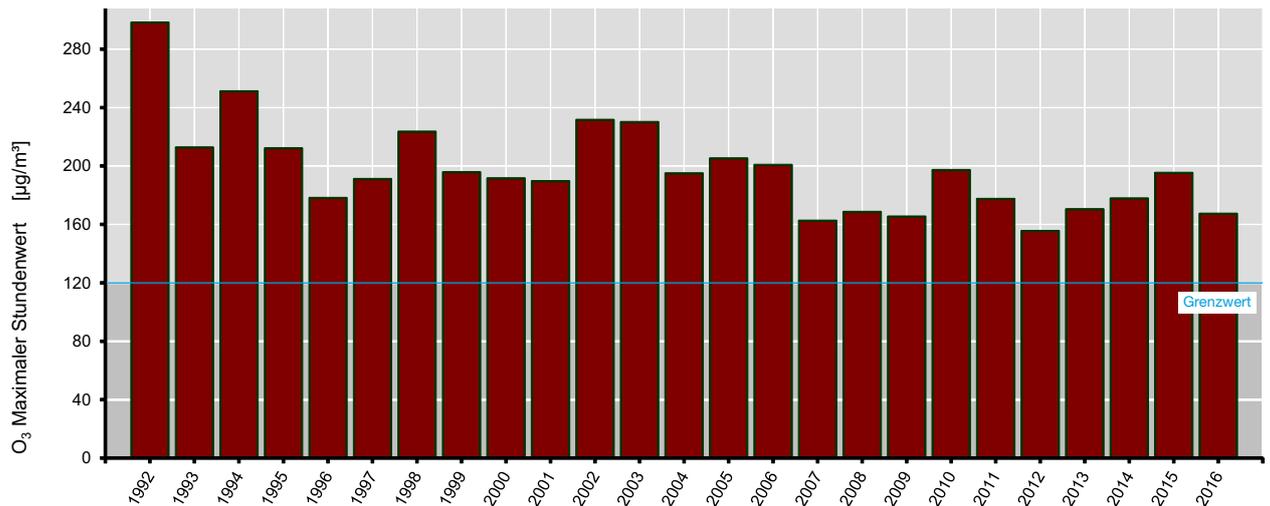


Abb. 26 Maximale Ozonstundenwerte in der Stadt Zürich 1992 bis 2016

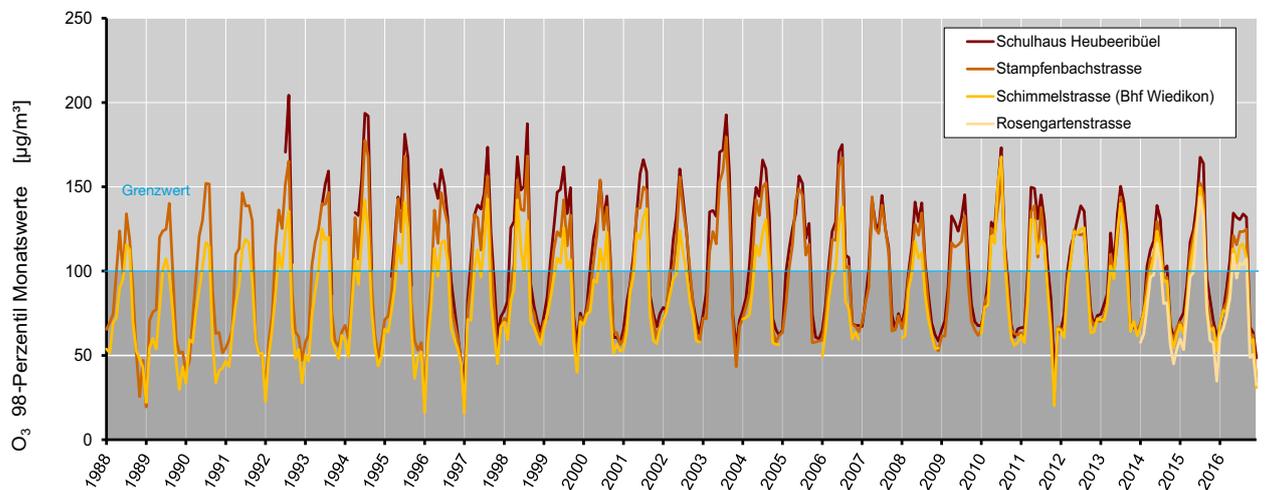


Abb. 27 Verlauf der 98-Perzentil-Monatswerte für Ozon 1988 bis 2016

Die tieferen Ozonbelastungen lassen sich auch im Verlauf der 98-Perzentil-Monatswerte (vgl. Tab. 1 und Anhang A1) beobachten. Lagen die Spitzenwerte an den städtischen Messstationen zwischen 1992 und 2006 jedes Jahr über  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , war dies in den letzten 10 Jahren nur noch während drei Jahren der Fall (vgl. Abb. 27).

**Ozon-Belastung 2016 stark vom Wetter beeinflusst**

Die Ozonbelastung schwankt auf Grund der ausgeprägten Wetterabhängigkeit von Jahr zu Jahr. 2016 war geprägt durch deutlich zu milde und feuchte Wintermonate, gefolgt von einem ausgeprägt nassen Frühling bis Frühsommer. Der Sommer 2016 kam erst ab Mitte Juli so richtig in Fahrt, das

warme Wetter hielt sich in der Folge bis Ende September. Der späte Sommerbeginn und die nachlassende Sonneneinstrahlung im August und September führten zu unterdurchschnittlichen Ozonbelastungen mit einer geringeren Anzahl an Überschreitungen des Stundengrenzwerts als üblich.

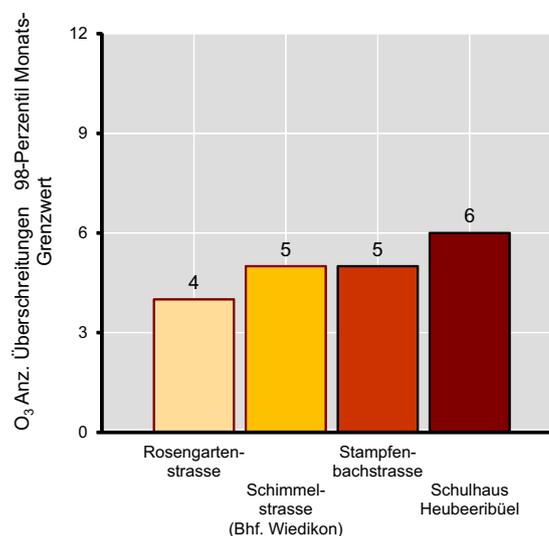
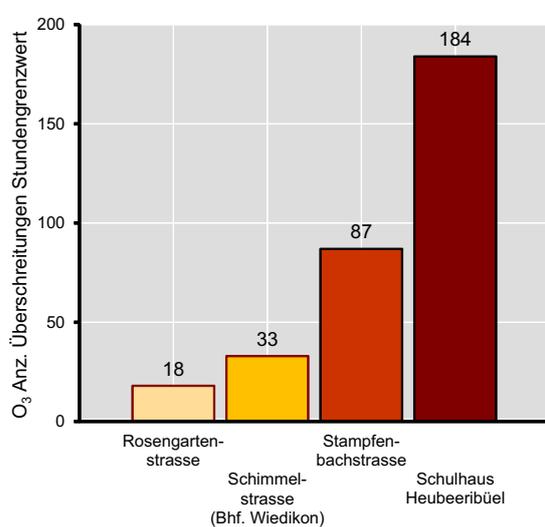


Abb. 28 Anzahl Überschreitungen des Stunden-Grenzwerts und des 98-Perzentil-Monats-Grenzwerts für Ozon 2016

## 5.7 KOHLENMONOXID CO

### Entstehung

Kohlenmonoxid (CO) entsteht bei Verbrennungsprozessen, wenn ungenügend Sauerstoff für die Verbrennung zur Verfügung steht. Es kann in fast allen Verbrennungsabgasen nachgewiesen werden.

### Gesundheitliche Auswirkungen

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

### Geringere Emissionen dank moderner Motoren und Feuerungsanlagen

In der Stadt Zürich wird Kohlenmonoxid in erster Linie vom motorisierten Strassenverkehr (65 % der Emissionen) ausgestossen. 22 % der Emissionen stammen aus Feuerungsanlagen [3,15].

### Belastungen auf tiefem Niveau

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

Auf Grund der geringen Unterschiede zwischen den Messstationen wurde die CO-Messung am Messort Schimmelstrasse 2016 eingestellt und wird in Zukunft nur noch am Messort Stampfenbachstrasse weitergeführt werden.

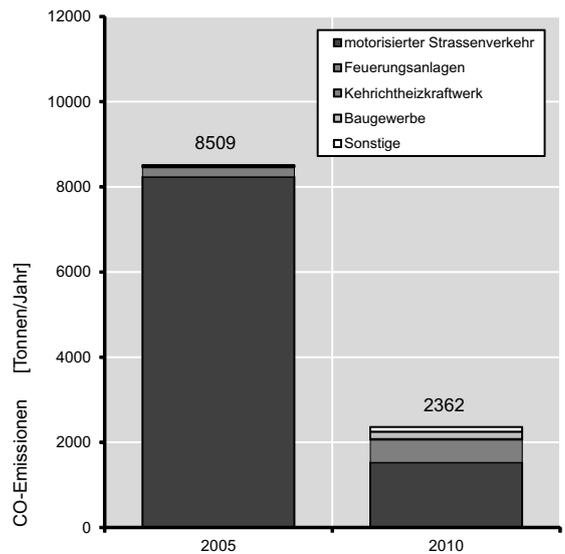


Abb. 29 CO-Emissionen nach Verursachergruppen 2005 und 2010

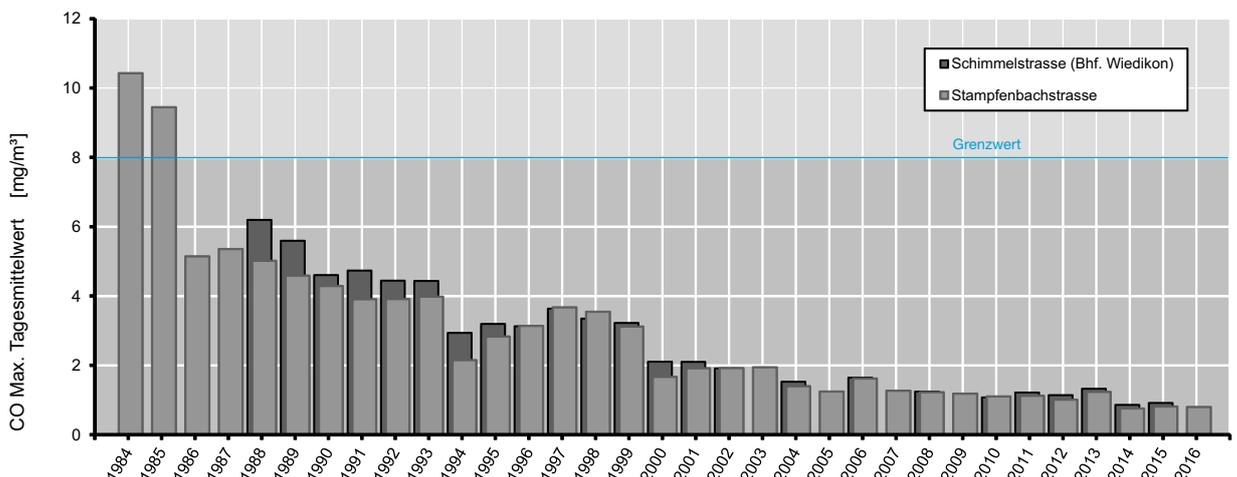


Abb. 30 Entwicklung des maximalen Tageswerts für Kohlenmonoxid 1984 bis 2016

## 5.8 SCHWEFELDIOXID SO<sub>2</sub>

Schwefeldioxid kaum noch nachweisbar

### Entstehung

Alle fossilen Brenn- und Treibstoffe enthalten in unterschiedlichem Umfang Schwefelanteile. Bei ihrer Verbrennung entsteht Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>).

### Gesundheitliche und Umweltauswirkungen

In Verbindung von SO<sub>2</sub> mit Wasser entsteht schweflige Säure und Schwefelsäure. Diese sind wesentliche Bestandteile von saurem Regen. Erhöhte Konzentrationen von SO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> verursachten Abbau des Blattgrüns (Chlorophyll) geschädigt, saurer Regen hat Versauerung von Böden und Gewässern zur Folge und greift Gebäudefassaden an.

### Massive Verbesserung dank Entschwefelung

SO<sub>2</sub> wird in erster Linie von Feuerungsanlagen freigesetzt. Einen kleinen Beitrag liefern auch die Kehrichtheizkraftwerke in der Stadt Zürich.

Die zunehmende Entschwefelung bei der Raffinierung von Brenn- und Treibstoffen hat zur Folge, dass heute kaum

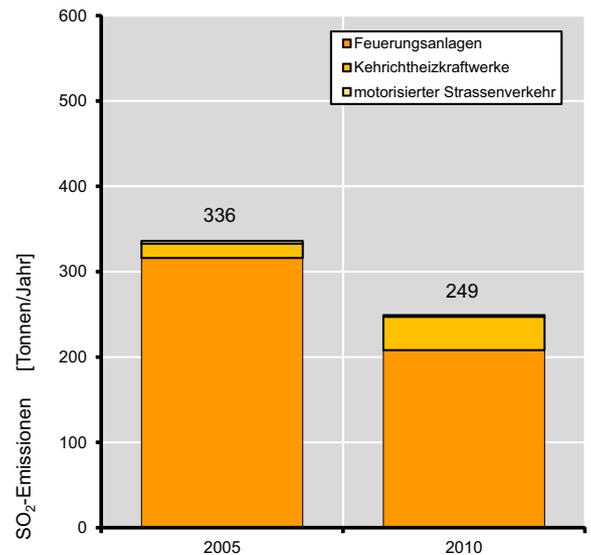


Abb. 31 SO<sub>2</sub> Emissionen in der Stadt Zürich 2005 und 2010

noch SO<sub>2</sub> ausgestossen wird.

### Belastung heute sehr tief

Seit Beginn der Messungen in den frühen 70er Jahren hat sich die Luftbelastung durch SO<sub>2</sub> massiv gebessert. Seit Mitte der 90er Jahren werden keine Überschreitungen von Grenzwerten mehr verzeichnet. In Folge der äusserst kleinen Konzentrationen in der Aussenluft und der geringen Unterschiede zwischen den Messorten wurde 2016 die Messung von SO<sub>2</sub> am Messort Schimmelstrasse (Bhf Wiedikon) eingestellt.

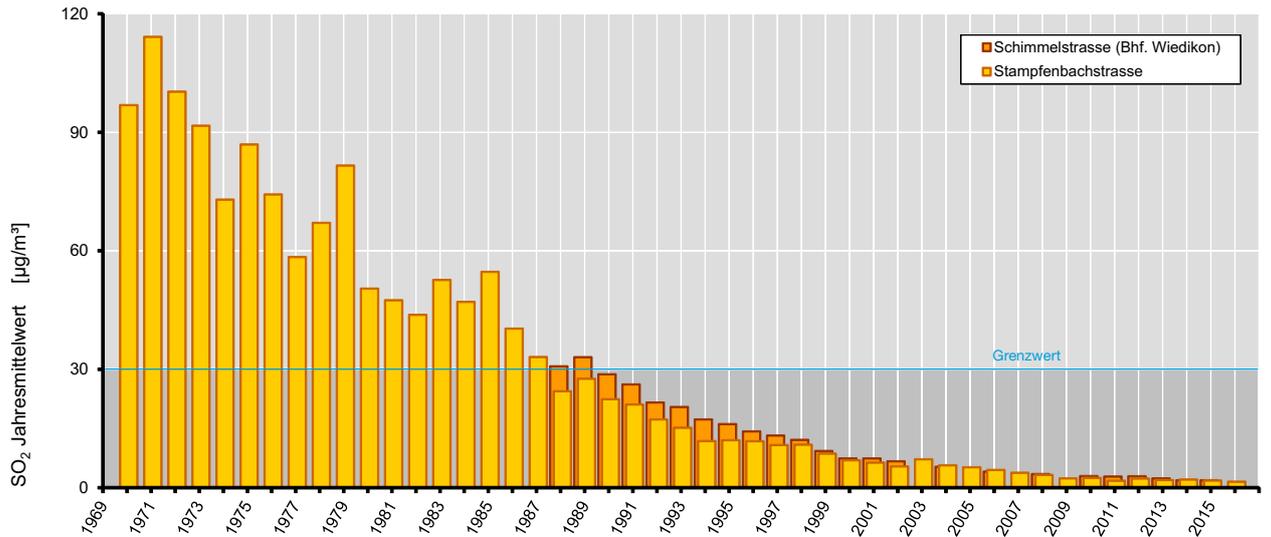


Abb. 32 Entwicklung der Schwefeldioxid-Belastung (Jahresmittelwerte) 1969 bis 2016

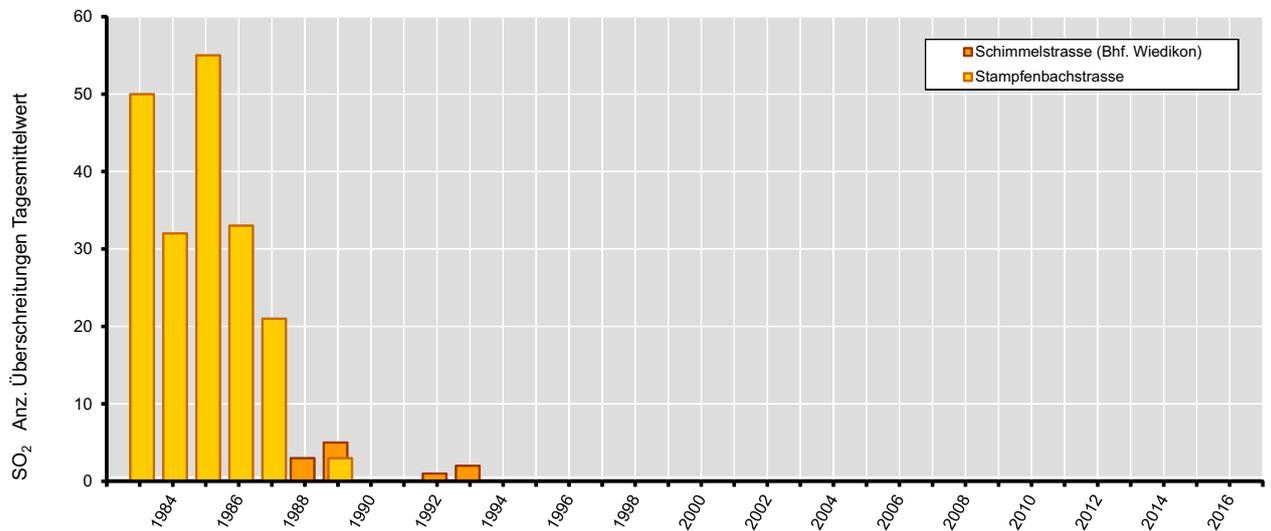


Abb. 33 Anzahl Überschreitungen des Kurzzeit-Grenzwerts (Tagesmittel) für Schwefeldioxid in der Stadt Zürich seit Messbeginn

## 5.9 STAUBNIEDERSCHLAG

### Erfolgreicher Bodenschutz

Die chemische Zusammensetzung des Staubniederschlags weist eine ähnliche Komplexität auf wie diejenige des Feinstaubes. Relevante Inhaltsstoffe sind in erster Linie Schwermetalle und persistente Stoffe mit umweltschädigender Wirkung (z.B. Dioxine).

Staubniederschlag besteht aus groben Partikeln, welche nicht eingeatmet werden und deshalb kaum direkte Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben.

Indirekt stellen Schwermetalle im Staubniederschlag ein Gesundheitsrisiko dar, indem sie sich in Böden und Pflanzen über lange Zeit anreichern und über die Nahrungskette aufgenommen werden können. Sie beeinträchtigen zudem die Bodenfruchtbarkeit.

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

### Einträge haben in den letzten dreissig Jahren stark abgenommen

Seit dem Jahr 2000 wird der Staubniederschlag nur noch im Rahmen der periodischen Messkampagnen (alle 4 Jahre) erfasst.

Die Schwermetalleinträge von Cadmium und Blei haben im selben Zeitraum massiv abgenommen und liegen heute klar unter den Grenzwerten. Dies als Folge der konsequenten Eliminierung dieser Schwermetalle aus dem Alltagsgebrauch. Etwas anders sah die Situation beim Zinkeintrag aus. Noch im Jahr 2008 wurde der Grenzwert am Messort Schimmelstrasse/Bhf Wiedikon überschritten. Seither hat sich die Situation weiter entschärft und auch für Zink wurden in diesem Zeitraum keine Überschreitungen des Grenzwerts mehr registriert.

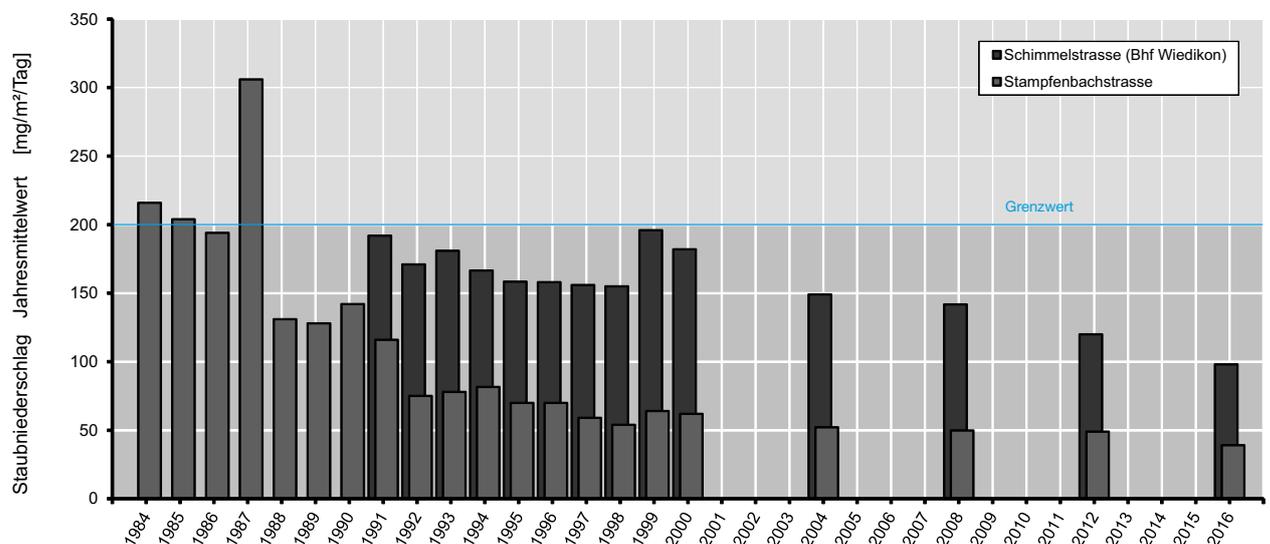


Abb. 34 Staubniederschlag von 1984 bis 2016

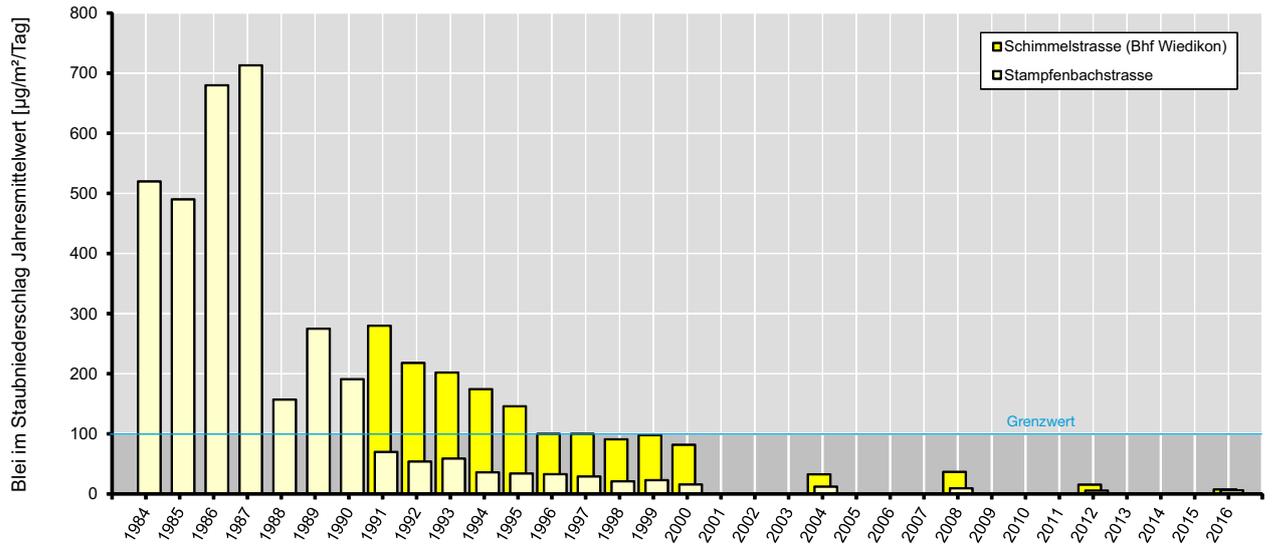


Abb. 35 Blei im Staubniederschlag von 1984 bis 2016

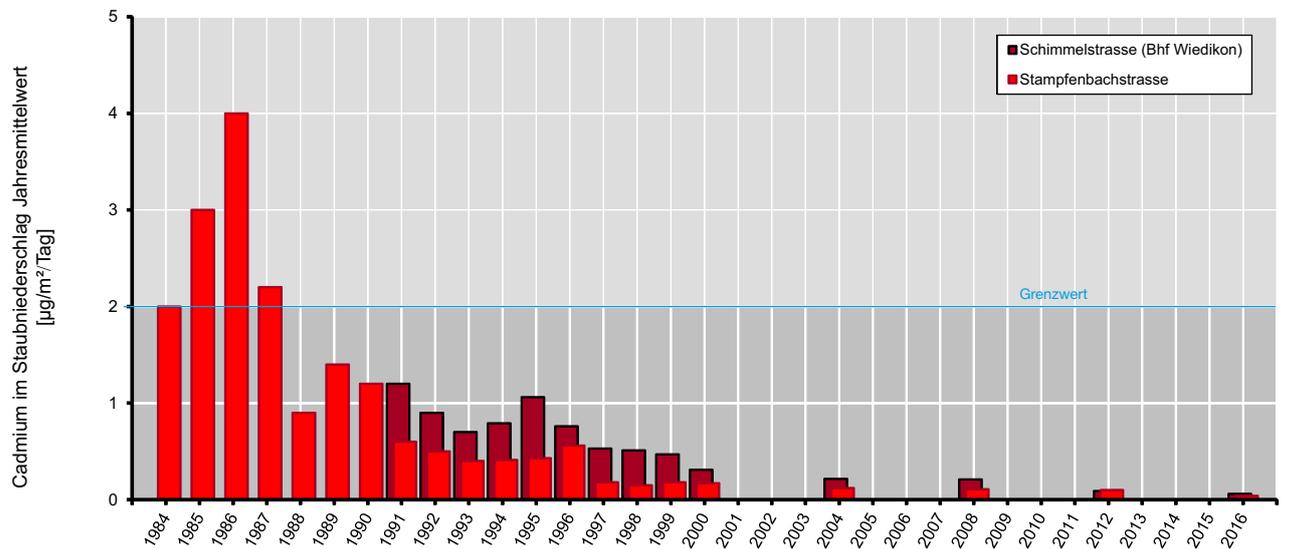


Abb. 36 Cadmium im Staubniederschlag von 1984 bis 2016

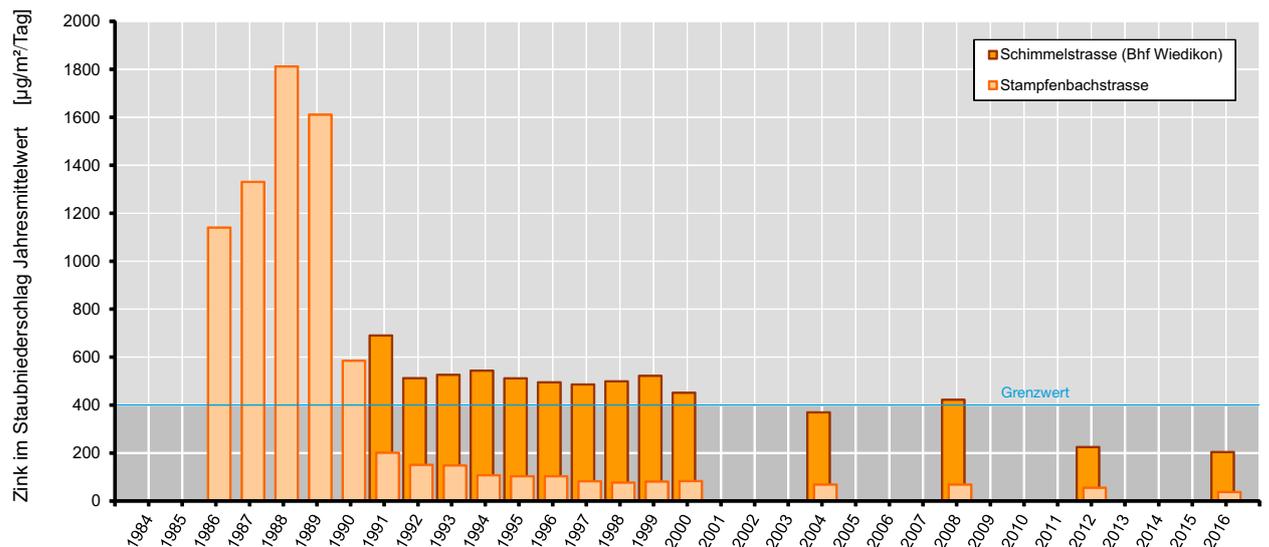


Abb. 37 Zink im Staubniederschlag von 1984 bis 2016

## 5.10 FLÜCHTIGE ORGANISCHE VERBINDUNGEN VOC

Flüchtige organische Verbindungen (VOC) sind neben den Stickoxiden wichtige Vorläufer der Ozonbildung im Sommer. Sämtliche Strategien zur Senkung der Ozonbelastung setzen deshalb richtigerweise auch bei der Reduktion dieser Vorläuferschadstoffe an.

Eine besondere Stellung nimmt innerhalb der VOC das kanzerogene Benzol ein. Die Luftbelastung durch Benzol konnte in den letzten 20 Jahren massiv reduziert werden. Die starke Abnahme ist einerseits auf die Anwendung immer effizienterer Gasrückführungssysteme bei Tank- und Umfüllvorgängen und andererseits durch die Limitierung des maximalen Benzolgehalts im Benzin auf 1 % [1] zurückzuführen.

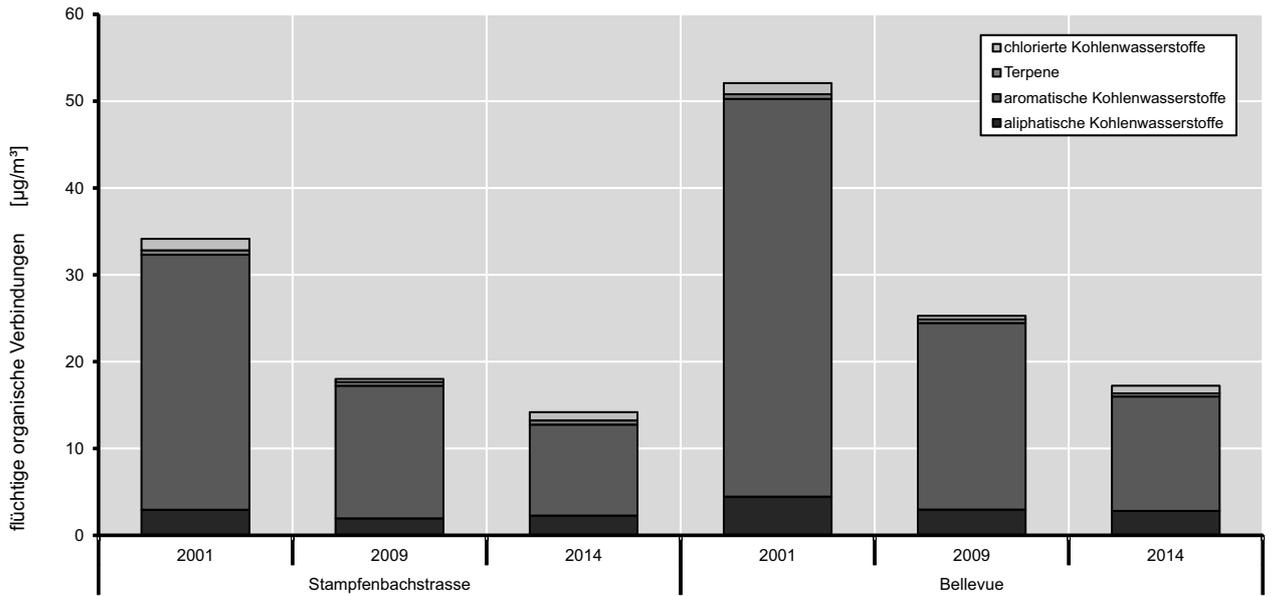


Abb. 38 VOC-Belastung nach Stoffklassen 2001 bis 2014

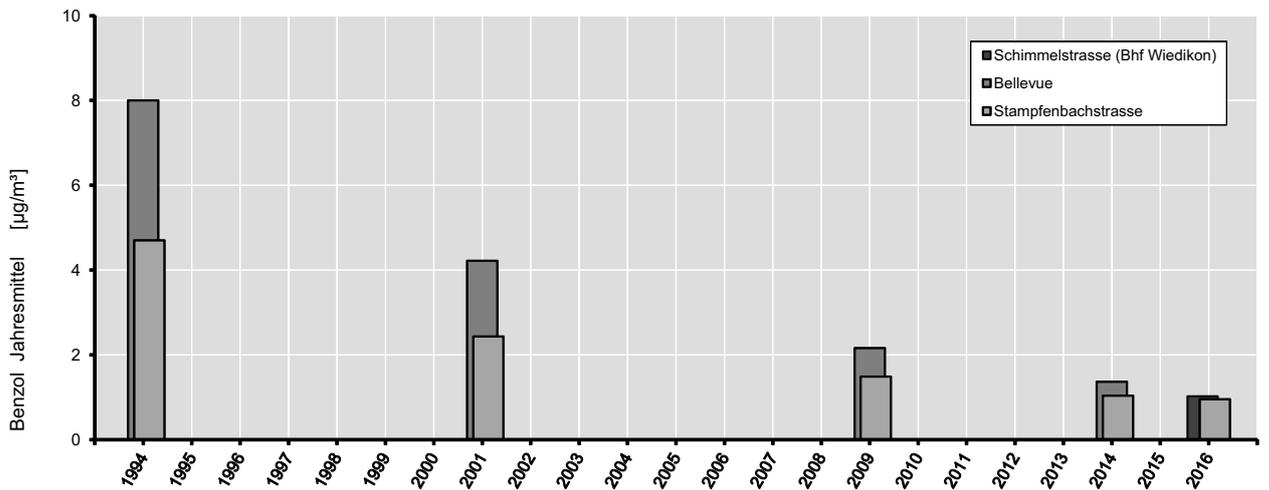


Abb. 39 Benzolbelastung in der Stadt Zürich 1994 bis 2016

## 6 PROJEKT- MESSUNGEN

### 6.1 Standortbestimmung vor der Einhausung der Autobahn in Schwamendingen

In Zürich-Schwamendingen wird das Quartier Saaten durch den Autobahnabschnitt A1.4.4 durchschnitten. Mit der Realisierung der Einhausung Schwamendingen wird sich die lufthygienische Situation in der näheren Umgebung der A1.4.4 deutlich verbessern. Die Verkehrsemissionen dieser Strasse werden zukünftig nur noch über die Portale emittiert. Die Messungen von 2015 dienen als Vormessungen und Standortbestimmung für den ursprünglichen Zustand vor der Einhausung. Nach Erstellung der Einhausung wird eine weitere Messung an möglichst der gleichen Stelle, die neue Belastungssituation erfassen.

		2003	2005	2007	2009	2015
<b>NO<sub>2</sub></b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	51	49	50	50	47
<b>PM10</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	34	29	26	25	20
<b>EC</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	3.0	3.2	2.6	2.8	1.4

Tab. 2 Jahresmittelwerte Schwamendingen (vgl. Abb. 1 Messort Nr. 39)

### 6.2 Vormessungen vor dem Ausbau der Nordumfahrung Zürich

Zwischen 1990 und 2012 hat sich die Fahrleistung auf den Schweizer Nationalstrassen mehr als verdoppelt [16]. Die 1985 eröffnete Nordumfahrung von Zürich kam schnell an ihre Kapazitätsgrenzen und Staus gehören zum Alltag. Mit über 100'000 Fahrzeugen pro Tag ist dies eine der meistbefahrenen Strassen der Schweiz. Seit Mitte 2016 sind die Arbeiten zum Ausbau der Nordumfahrung im Gang. Bis zum Jahr 2025 soll sie auf sechs Spuren ausgebaut und der Gubristunnel um eine neue Tunnelröhre erweitert werden. Die täglichen Staus sollen nach diesem Ausbau der Vergangenheit angehören.

Mit dem Ausbau der Nordumfahrung auf sechs Spuren steigt ihre Kapazität markant an. Eine Kapazitätserhöhung führt stets zu einer Verkehrszunahme.

		2016
<b>NO<sub>2</sub></b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	26
<b>PM10</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	15
<b>EC</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	0.7

Tab. 3 Jahresmittelwerte Blumenfeldstrasse (vgl. Abb. 1 Messort Nr. 40).

Wenn der Trend der Fahrleistungszunahme der letzten Jahre in Zukunft anhält, werden sich die Verkehrszahlen weiter erhöhen, wie dies nach dem Ausbau des Baregg-Tunnels bereits der Fall war [17].

Mit Vormessungen in Zürich-Affoltern (Unter-Affoltern) soll die Luftbelastungssituation vor dem Ausbau der Nordumfahrung dokumentiert und mit Nachmessungen nach Abschluss des Ausbaus die Folgen bezüglich der Luftbelastung analysiert werden.

NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Alte Mühlacker-Str. 14</b>	30	30	28	28	28	26	27	24
<b>Frohühlstrasse (A20)</b>	-	47	45	43	45	42	43	41
<b>Frohühlstrasse 9</b>	-	33	32	31	32	30	31	28
<b>Horensteinstrasse</b>	-	34	33	33	34	31	32	28
<b>Horensteinstrasse (A20)</b>	-	-	-	-	-	44	46	41
<b>Katzenseestrasse</b>	42	44	43	41	43	39	40	-
<b>Wehntalerstrasse 116</b>	-	-	-	-	-	-	-	35
<b>Wehntalerstrasse 580</b>	-	-	-	-	-	-	-	38

Tab. 4 NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte Passivsammlermessungen (vgl. Abb. 1 Messorte Nr. 41ff)

## 7 LITERATUR

- [1] Schweiz. Eidgenossenschaft, Luftreinhalte-Verordnung (LRV), Stand am 1. April 2017, SR 814.318.142.1, Bern, 1985, [www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.318.142.1.de.pdf](http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.318.142.1.de.pdf)
- [2] Schweiz. Eidgenossenschaft, Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG), Stand am 1. Januar 2017, SR 814.01, Bern, 1983, [www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.01.de.pdf](http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.01.de.pdf)
- [3] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Emissionskataster für Luftschadstoffe der Stadt Zürich (mapLuft), 2016
- [4] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), NOx-Emissionsreduktionen in der Stadt Zürich 1990 bis 2000 nach Verursacherguppen, 2000
- [5] Jürg Brunner und Susanne Schlatter, Messung von Stickstoffdioxid mit Passivsammlern des Palmes-Typs – Praktische Erfahrungen und Resultate aus der Stadt Zürich, der Ostschweiz und dem Fürstentum Liechtenstein (OSTLUFT), VDI-Berichte, 1656, 407 – 420, 2002
- [6] E. D. Palmes et al., Personal Sampler for Nitrogen Dioxide, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 37, (10), 570 – 577, 1976
- [7] 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
- [8] BUWAL, Schwebestaub – Messung und gesundheitliche Bewertung, Schriftreihe Umwelt, Bd. Nr. 270, BUWAL, 1996
- [9] C. Braun-Fahrländer und L. Grize, Swiss Study Childhood Allergy and Respiratory Symptoms with Respect to Air Pollution and Climate (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
- [10] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), PM10-Emissionen in der Stadt Zürich 2005, 2008
- [11] Gesundheits- und Umweltdepartement der Stadt 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](https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/departement/strategie_politik/umweltpolitik/umweltpolitik/mpu-2017.html)
- [12] 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](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf)
- [13] Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL), Feinstaub in der Schweiz 2013 – Statusbericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene, Bern, 2014, [http://www.ekl.admin.ch/fileadmin/ekl-dateien/themen/Feinstaub\\_in\\_der\\_Schweiz\\_2013.pdf](http://www.ekl.admin.ch/fileadmin/ekl-dateien/themen/Feinstaub_in_der_Schweiz_2013.pdf)
- [14] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), VOC-Emissionsreduktionen in der Stadt Zürich 1990 bis 2000, 2000
- [15] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Kohlenmonoxid-Emissionen in der Stadt Zürich 2002 und 2005, 2005
- [16] Bundesamt für Strassen ASTRA, Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen, 2013, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch)
- [17] Schütz G., Die Baregg – ein verkehrspolitisches Symbol, Umwelt Aargau, (Nr. 50), 4, 2010
- [18] CEN, Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Ozon mit Ultraviolett-Photometrie – Luftqualität, CEN 14625, Berlin, 2012
- [19] CEN, Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenz – Luftqualität, CEN 14211, Brüssel, 2012
- [20] CEN, Passivsammler zur Bestimmung der Konzentration von Gasen und Dämpfen – Anforderungen und Prüfverfahren – Teil 2: Spezifische Anforderungen und Prüfmethode – Aussenluftqualität, CEN 13528-2, Brüssel, 2002
- [21] CEN, Passivsammler zur Bestimmung der Konzentration von Gasen und Dämpfen – Anforderungen und Prüfverfahren – Teil 1: Allgemeine Anforderungen – Aussenluftqualität, CEN 13528-1, Brüssel, 2002
- [22] CEN, Passivsammler zur Bestimmung der Konzentration von Gasen und Dämpfen – Teil 3: Anleitung zur Auswahl, Anwendung und Handhabung – Aussenluftqualität, CEN 13528-3, Berlin, 2004

- [23] Cercl'Air, Stickstoffdioxidmessung mit Passivsammlern – Aussenluftqualität, Cercl'Air Empfehlung Nr. 25, Herisau, 2004
- [24] Jürg Brunner, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Messunsicherheit eines Stickstoffdioxid-Jahresmittels aus Passivsammlermessungen mit Passivsammlern des Palmes-Typs – Teil I: Theoretische Grundlagen: Messunsicherheit der Kalibration eines Messverfahrens auf das entsprechende Referenzverfahren, Zürich, 2008
- [25] Jürg Brunner, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Messunsicherheit eines Stickstoffdioxid-Jahresmittels aus Passivsammlermessungen mit Passivsammlern des Palmes-Typs – Teil II: Anwendung: Bestimmung der Messunsicherheit der UGZ-Passivsammler für Stickstoffdioxid, Zürich, 2008
- [26] CEN, Automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM10, PM2.5) – Aussenluft, CEN 16450, Brüssel, 2015
- [27] CEN, Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM10- oder PM2.5-Massenkonzentration des Schwebstaubes – Aussenluft, CEN 12341, Brüssel, 2014
- [28] CEN, Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Schwefeldioxid mit Ultraviolett-Fluoreszenz – Luftqualität, CEN 14212, Brüssel, 2012
- [29] CEN, Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid mit nicht-dispersiver Infrarot-Fotometrie – Luftqualität, CEN 14626, Berlin, 2012
- [30] CEN, Leitfaden zur Messung von auf Filtern abgeschiedenem elementarem Kohlenstoff (EC) und organisch gebundenem Kohlenstoff (OC) – Aussenluftqualität, CEN/TR 16243, Berlin, 2011

## A1 Immissions-Grenzwerte der LRV [1]

Schadstoff	Immissionsgrenzwert	Statistische Definition
<b>Schwefeldioxid SO<sub>2</sub></b>	30 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	100 µg/m <sup>3</sup>	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m <sup>3</sup>
	100 µg/m <sup>3</sup>	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
<b>Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub></b>	30 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	100 µg/m <sup>3</sup>	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m <sup>3</sup>
	80 µg/m <sup>3</sup>	J24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
<b>Kohlenmonoxid CO</b>	8 mg/m <sup>3</sup>	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
<b>Ozon O<sub>3</sub></b>	100 µg/m <sup>3</sup>	98 % der ½-h-Mittelwerte eines Monats ≤ 100 µg/m <sup>3</sup>
	120 µg/m <sup>3</sup>	1-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
<b>Schwebestaub<sup>1</sup> PM10</b>	20 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	50 µg/m <sup>3</sup>	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
<b>Blei (Pb)</b> im Schwebestaub PM10	500 ng/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
<b>Cadmium (Cd)</b> im Schwebestaub PM10	1.5 ng/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
<b>Staubniederschlag insgesamt</b>	200 mg/(m <sup>2</sup> -Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
<b>Blei (Pb)</b> im Staubniederschlag	100 µg/(m <sup>2</sup> -Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
<b>Cadmium (Cd)</b> im Staubniederschlag	2 µg/(m <sup>2</sup> -Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
<b>Zink (Zn)</b> im Staubniederschlag	400 µg/(m <sup>2</sup> -Tag)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
<b>Thallium (Tl)</b> im Staubniederschlag	2 µg/(m <sup>2</sup> -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».

<sup>1</sup> Feindisperse Schwebestoffe mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm.

### Erläuterung zu Grenzwerten und Alarmwerten

Die Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe sind gemäss Artikel 14 des schweizerischen Umweltschutzgesetzes (USG) [2] 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. Unterhalb dieser wirkungsorientierten Schwellen sind nach dem Stand der Wissenschaft keine negativen Effekte auf die Schutzobjekte zu erwarten.

Bei diesen wirkungsorientierten Schwellen handelt es sich nicht um Alarmwerte. Alarm- oder Warnwerte haben eine andere Funktion. Steigt die Konzentration eines Schadstoffs auf alarmierend hohe Werte, besteht eine akute gesundheitliche Gefahr für die Allgemeinbevölkerung. In solchen Krisen-

situationen dienen Alarmwerte oft zur Auslösung von Sofortmassnahmen, wie z.B. Teil-Fahrverbote und/oder Betriebs-schliessungen. Damit soll versucht werden, den Schaden einiger-massen zu begrenzen. Alarmwerte sind erheblich höher angesetzt als Immissionsgrenzwerte im Sinne der LRV. Sie bieten denn auch keinen dauerhaften Schutz des Menschen und seiner Umwelt.

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 Krebs erzeugende Wirkung in der LRV begrenzt.

## A2 Liste der Messorte der Messkampagne 2016

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehrseinfluss	Siedlungseinfluss	Details zum Messort Fahrzeugzahlen
1	<b>Bellevue</b> Seite Uto-Quai Kreis 1 Hochschulen 2683580 1246772			<ul style="list-style-type: none"> <li>– verkehrsreicher, zweiseitig bebauter Platz im Zentrum</li> <li>– ca. 50'000 Fz./Tag, hohe Fussgängerdichte</li> </ul>
2	<b>Limmatquai 18</b> Laterne an Kirchgasse Kreis 1 Rathaus 2683465 1247074			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kleiner Platz, mit einseitiger Bebauung</li> <li>– Kein Durchgangsverkehr, 2'600 Fz./Tag</li> </ul>
3	<b>Paradeplatz</b> Bahnhofstrasse 23 Kreis 1 City 2683110 1247188			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Messort am nördlichen Rand des Paradeplatzes</li> <li>– Verkehrsfrei (Zubringer)</li> </ul>
4	<b>Wachtelstrasse</b> Wachtelstrasse 17 Kreis 2 Wollishofen 2682250 1244142			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wohnquartier am Stadtrand</li> <li>– geringer Lokalverkehr</li> </ul>
5	<b>Strandbad Mythenquai</b> Eingangsbereich Kreis 2 Enge 2682813 1245459			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Messort im Park am See</li> <li>– Distanz zur Hauptverkehrsachse: 40 m</li> <li>– 24'450 Fz./Tag</li> </ul>
6	<b>Wegackerstrasse 2</b> Kreis 2 Leimbach 2681427 1243301			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wohnquartier am Stadtrand (Sihltal)</li> <li>– geringer Lokalverkehr</li> </ul>
7	<b>Gratweg (Uetliberg)</b> Kreis 3 Wiedikon 2679403 1245220			<ul style="list-style-type: none"> <li>– im Wald 150m Distanz zum Sendeturm</li> <li>– Hintergrundmessort, auf 830 m. ü. M.</li> </ul>
8	<b>Friedhof Sihlfeld</b> Nähe Kapelle A Kreis 3 Sihlfeld 2680807 1247621			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Park in Stadtmitte</li> <li>– sämtlicher Verkehr in mehr als 100 m Distanz</li> </ul>
9	<b>Gerhardstrasse</b> Gerhardstrasse 5 Kreis 3 Sihlfeld 2681922 1247191			<ul style="list-style-type: none"> <li>– wenig befahrene Strasse</li> <li>– Abstand zur Schimmelstrasse: 75 Meter</li> <li>– Schimmelstr., 27'500 Fz./Tag</li> </ul>
10	<b>Kirchbühlweg</b> Kirchbühlweg 7 Kreis 3 Alt-Wiedikon 2681503 1246827			<ul style="list-style-type: none"> <li>– kleine Quartierstrasse in leicht erhöhter Lage</li> <li>– sehr geringer Lokalverkehr</li> </ul>

 kein bis geringer Verkehrseinfluss  
 mässiger Verkehrseinfluss  
 starker Verkehrseinfluss

 kein bis geringer Siedlungseinfluss  
 mässiger Verkehrseinfluss  
 starker Verkehrseinfluss

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehrseinfluss	Siedlungseinfluss	Details zum Messort Fahrzeugzahlen
11	<b>Schimmelstrasse</b> Seebahnstrasse 33 Kreis 3 Sihlfeld 2681943 1247245			– stark befahrene Durchgangsachse – 27'700 Fz./Tag
12	<b>Manessestrasse 20</b> an Hausmauer Kreis 3 Wiedikon 2682051 1247040			– bei der Brandwache Manesse – 68'500 Fz./Tag
13	<b>Manessestrasse 34</b> Kreis 3 Wiedikon 2682011 1246986			– direkt bei der Auffahrt zur Sihlhochstrasse – 68'500 Fz./Tag
14	<b>Schweighofstrasse 367</b> Kreis 3 Friesenberg 2680331 1246667			– Messort an Hauptachse, leichte Hanglage – 14'500 Fz./Tag
15	<b>Bullingerhof</b> Kreis 4 Hard 2681093 1248129			– begrünter städtischer Innenhof (Hintergrund) – stark befahrene Strassen mehr als 100 m entfernt – der Hof ist verkehrsfrei
16	<b>Eichbühlstrasse 43</b> Kreis 4 Hard 2680883 1248571			– Hintergrundmessort im Bereich Güterbahnhof – Wenig Verkehr
17	<b>Kaserne</b> Kanonengasse 20 Kreis 4 Langstrasse 2682447 1247992			– kleiner Park in Stadtmitte – Standort der NABEL-Station – stärker befahrene Strassen > 50 m entfernt – der Hof ist verkehrsfrei
18	<b>Seebahnstrasse 229</b> Kreis 4 Langstrasse 2681593 1248060			– stark befahrene Hauptverkehrsachse – einseitig bebaut (Bahneinschnitt) – 19'500 Fz./Tag
19	<b>Turbinenplatz</b> Kreis 5 Escher Wyss 2681477 1249328			– Platz (14'000 m <sup>2</sup> ) – umgeben von mässig befahrenen Strassen – stärker befahrene Strassen > 100 m entfernt
20	<b>Josefstrasse 175</b> Kreis 5 Gewerbeschule 2682031 1248826			– Innenhof einer Wohnüberbauung – verkehrsfrei
21	<b>Stampfenbachstrasse</b> Stampfenbachstrasse 144 Kreis 6 Unterstrass 2683148 1249020			– Abstand zu Strassenrand ca. 3 m – mittel stark befahrene Strasse – 7'000 Fz./Tag
22	<b>Forchstrasse 145</b> Kreis 7 Hirslanden 2684993 1246135			– Messort an Hauptachse, beidseitig bebaut – 20'000 Fz./Tag
23	<b>Adolf Jöhr Weg</b> Kreis 7 Hottingen 2686010 1248548			– in Waldlichtung auf Wegkreuzung – 180 m Abstand zu mässig befahrenen Strassen – verkehrsfrei

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehrseinfluss	Siedlungseinfluss	Details zum Messort Fahrzeugzahlen
24	<b>Bionstrasse</b> Bionstrasse 10 Kreis 6 Oberstrass 2684130 1248677			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hanglage</li> <li>– sehr geringer Lokalverkehr</li> </ul>
25	<b>Schulhaus Heubeeribüel</b> Heubeeriweg 30 Kreis 7 Fluntern 2685137 1248473			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stadtrand, erhöhte Lage</li> <li>– geringer Lokalverkehr</li> </ul>
26	<b>Steinbrüchelstrasse 44</b> Kreis 7 Witikon 2687053 1245664			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wohnquartier am Stadtrand</li> <li>– geringer Lokalverkehr</li> </ul>
27	<b>Schulhaus Seefeld</b> Tuggenerweg Kreis 8 Mühlebach 2684422 1245798			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rande des Pausenplatzes gelegen</li> <li>– 75 m Abstand zu starkbefahrener Strasse</li> <li>– verkehrsfrei</li> </ul>
28	<b>Hardhof</b> an Gehweg Kreis 9 Altstetten 2679995 1250009			<ul style="list-style-type: none"> <li>– innerhalb Park-/Sportanlage</li> <li>– 250 m Abstand zur Autobahn</li> <li>– verkehrsfrei</li> </ul>
29	<b>Meientalstrasse</b> Stampfenbrunnenstrasse 34 Kreis 9 Altstetten 2678485 1248885			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wohnquartier am Stadtrand</li> <li>– stark befahrene Strassen mehr als 150 m entfernt</li> <li>– geringer Lokalverkehr</li> </ul>
30	<b>Rosengartenstr. Einfahrt</b> Nordstrasse 270 Kreis 10 Wipkingen 2682095 1249941			<ul style="list-style-type: none"> <li>– an stark befahrener Durchgangssachse</li> <li>– bei der Einfahrt zum Schulgelände</li> <li>– 59'500 Fz./Tag</li> </ul>
31	<b>Schulhaus Nordstrasse</b> (Pausenplatz) Kreis 10 Wipkingen 2682121 1249911			<ul style="list-style-type: none"> <li>– auf Pausenplatz des Schulhauses Nordstrasse</li> <li>– 40 m Abstand zu den stark befahrenen Strassen</li> <li>– verkehrsfrei, beeinflusst durch Umgebungsverkehr</li> </ul>
32	<b>Schulhaus Vogtsrain</b> Ferd.-Hodler-Strasse. 30 Kreis 10 Höngg 2680079 1250957			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hanglage</li> <li>– kein Durchgangsverkehr, geringer Lokalverkehr</li> </ul>
33	<b>Birchstrasse 579</b> Birchstrasse / Buchwiesen Kreis 11 Seebach 2683290 1253365			<ul style="list-style-type: none"> <li>– schwach befahrene Strasse am Stadtrand</li> <li>– geringer Lokalverkehr</li> </ul>
34	<b>Franklinplatz</b> Kreis 11 Oerlikon 2683421 1251583			<ul style="list-style-type: none"> <li>– verkehrsreicher Platz, hohe Fussgängerdichte</li> <li>– beidseitig bebaut</li> <li>– 10'000 Fz./Tag</li> </ul>

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehrseinfluss	Siedlungseinfluss	Details zum Messort Fahrzeugzahlen
35	<b>In Böden 123</b> In Böden 123 Kreis 11 Afoltern 2680921 1252459			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sackgasse, 100 m Distanz zur Wehntalerstrasse</li> <li>– geringer Lokalverkehr</li> </ul>
36	<b>Oerlikerpark</b> neben Pavillon Kreis 11 Oerlikon 2682960 1252135			<ul style="list-style-type: none"> <li>– im Oerlikerpark, an Birchstrasse</li> <li>– Busverkehr (2 Linien)</li> </ul>
37	<b>Schulhaus Hirzenbach</b> Grosswiesenstrasse 149 Kreis 12 Hirzenbach 2686740 1250946			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Neben Schulhaus</li> <li>– 40 m bis zur nächsten Strasse mit Lokalverkehr</li> <li>– verkehrsfrei</li> </ul>
38	<b>Schulhaus Saatlen</b> Tramstrasse 210 Kreis 12 Saatlen 2684900 1251445			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Messort in locker überbautem Schulareal</li> <li>– 200 m Distanz zur Autobahn mit 85'000 Fz./Tag</li> <li>– 100 m Distanz zur Saatlenstr. mit 3'000 Fz./Tag</li> </ul>
39	<b>Schwamendingen Autobahn</b> Luegislandstrasse 53c Kreis 12 Schwamendingen 2685110 1251320			<ul style="list-style-type: none"> <li>– direkt an der A1, beim Übergang Saatlenstrasse</li> <li>– 85'000 Fz./Tag</li> </ul>
40	<b>Blumenfeldstrasse 96</b> Kreis 11 Afoltern 2680531 1253314			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Im Bereich Unteraffoltern</li> <li>– Abstand zur Autobahn: 200 m</li> <li>– 110'000 Fz./Tag</li> </ul>
41	<b>Alte Mühlacker-Str. 14</b> Kreis 11 Afoltern 2680619 1253138			<ul style="list-style-type: none"> <li>– neben Pferdehof</li> <li>– Hintergrundmessort</li> <li>– verkehrsfrei (Zufahrt zum Hof)</li> </ul>
42	<b>Frohühlstrasse (A20)</b> Kreis 11 Seebach 2684099 1253678			<ul style="list-style-type: none"> <li>– am Rande der bebauten Zone</li> <li>– an Brücke über Autobahn, 6 Meter über Fahrbahn</li> <li>– 110'000 Fz./Tag</li> </ul>
43	<b>Frohühlstrasse 9</b> Kreis 11 Seebach 2680349 1252713			<ul style="list-style-type: none"> <li>– am Rande der bebauten Zone</li> <li>– Abstand zur Autobahn 130 m</li> <li>– 110'000 Fz./Tag</li> </ul>
44	<b>Horensteinstrasse</b> Kreis 11 Afoltern 2680551 1253517			<ul style="list-style-type: none"> <li>– am Rande der bebauten Zone</li> <li>– Abstand zur Autobahn 75 m</li> <li>– 110'000 Fz./Tag</li> </ul>
45	<b>Horensteinstrasse (A20)</b> Kreis 11 Afoltern 2680510 1253627			<ul style="list-style-type: none"> <li>– ausserhalb bebauter Zone</li> <li>– an Brücke über Autobahn, 6 Meter über Fahrbahn</li> <li>– 110'000 Fz./Tag</li> </ul>
46	<b>Katzenseestrasse</b> Kreis 11 Afoltern 2679974 1253399			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Am Rande des bebauten Gebietes</li> <li>– Abstand zur Autobahn: 30 m</li> <li>– 110'000 Fz./Tag</li> </ul>

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehrseinfluss	Siedlungseinfluss	Details zum Messort Fahrzeugzahlen
47	<b>Wehntalerstrasse 116</b> Kreis 11 Oerlikon 2682731 1250876			<ul style="list-style-type: none"> <li>– stark befahrene Strasse durch Wohnquartier</li> <li>– direkt am Strassenrand</li> <li>– 17'500 Fz./Tag</li> </ul>
48	<b>Wehntalerstrasse 580</b> Kreis 11 Affoltern 2680349 1252713			<ul style="list-style-type: none"> <li>– stark befahrene Strasse durch Wohnquartier</li> <li>– direkt am Strassenrand</li> <li>– 25'000 Fz./Tag</li> </ul>

## A3 Messverfahren und Messunsicherheiten

### A3.1 Ozon-Messungen

Die Messung von Ozon erfolgt mittels Ultraviolett-Fotometrie gemäss CEN 14625 [18]. Die erweiterte Messunsicherheit ( $k=2$ ) eines Stundenmittelwerts beim Grenzwert ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) beträgt  $4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

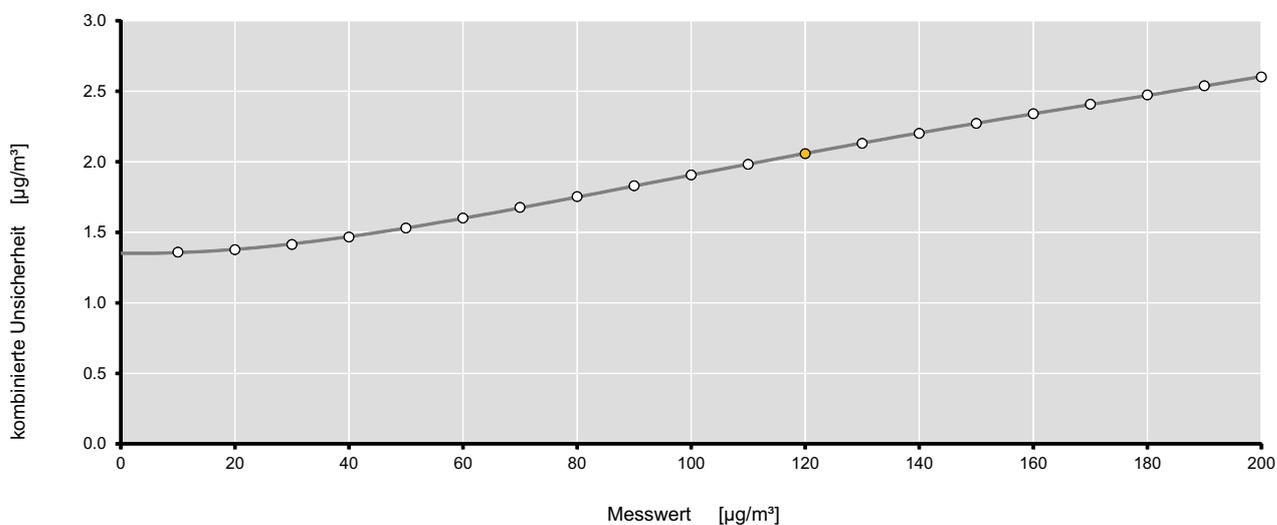


Abb. 40 Kombinierte Messunsicherheit der Ozonmessung (Stundenmittelwert) in Abhängigkeit des Messwerts

### A3.2 Stickoxid-Messungen

Die kontinuierlichen Messungen von Stickoxiden erfolgen mit dem Chemilumineszenz-Messverfahren gemäss CEN 14211 [19]. Die erweiterte Messunsicherheit ( $k=2$ ) eines Tagesmittelwerts beim Grenzwert ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) beträgt  $4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , diejenige des Jahresmittelwerts beim Grenzwert ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) beträgt  $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Die Stickstoffdioxid-Messungen mit Passivsammlern basieren auf den entsprechen Normen und Empfehlungen [20-23]. Die erweiterte Unsicherheit eines Passivsammlerwerts ( $k=2$ ) für den Jahresmittelwert Stickstoffdioxid beim Grenzwert beträgt  $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [24, 25].

### A3.3 Feinstaub-Messungen

Schichtdicken-Messung auf der Basis CEN 16450 [26] bezogen auf ein Referenzverfahren nach Konvention (gravimetrische Bestimmung) gemäss CEN 12341 [27]. Die Bestimmung der Messunsicherheit dieses Verfahrens ist in Arbeit.

### A3.4 Weitere Messmethoden

Schwefeldioxid	Ultraviolett-Fluoreszenz CEN 14212 [28]
Kohlenmonoxid	Nicht-dispersive Infrarot-Fotometrie CEN 14626 [29]
EC/OC	Thermo-optische Transmission TOT(EUSAAR-2) nach CEN/TR 16243 [30]
Ionen (Salze)	Ionenchromatografie (IC)
VOC	Gaschromatografie/Massenspektrometrie (GC/MS)
Metallanalytik	Feinstaub-Proben: ICP/MS und F-AAS (Fe) Staubniederschlagsproben: G-AAS

## A4 NO<sub>x</sub> – NO<sub>2</sub> – Umwandlung

Die Abnahme von NO<sub>2</sub> im Lauf der Jahre fällt an stark verkehrsexponierten Messorten im Verhältnis zur Abnahme der Summe der Stickoxide NO<sub>x</sub> deutlich geringer aus als an wenig bis kaum verkehrsorientierten Messorten. Zwischen 1989 und 2015 nahm die NO<sub>x</sub>-Belastung an der Schimmelstrasse rund 2.5mal so stark ab wie am Messort Dübendorf. Im gleichen Zeitraum nahm die NO<sub>2</sub>-Belastung an den beiden Messorten jedoch im Verhältnis nur 1.2 mal so stark ab.

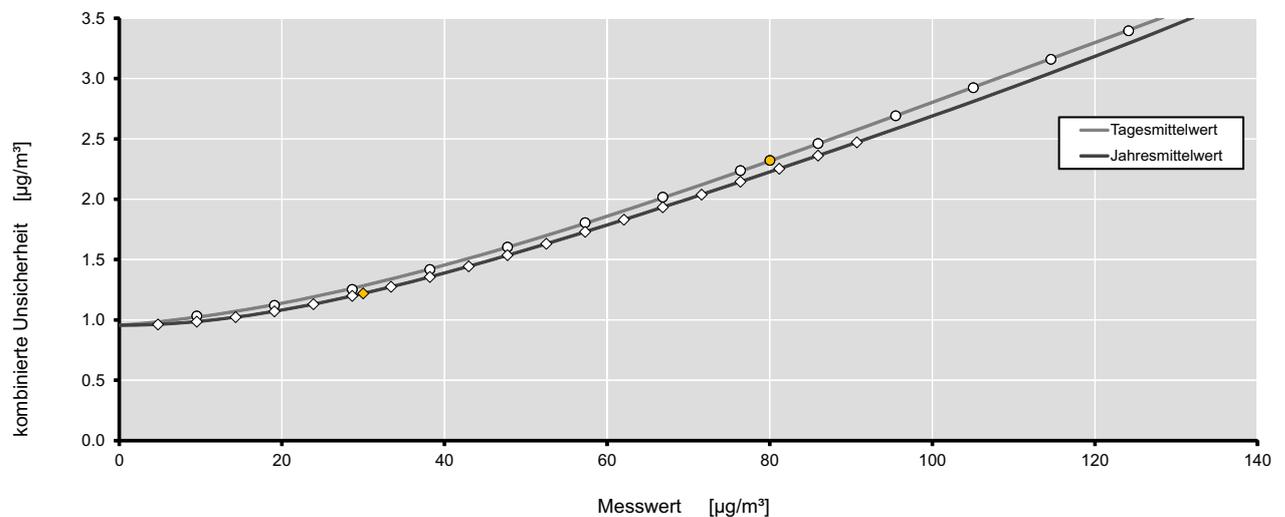


Abb. 41 Kombinierte Messunsicherheit der Stickoxidmessung in Abhängigkeit des Messwerts

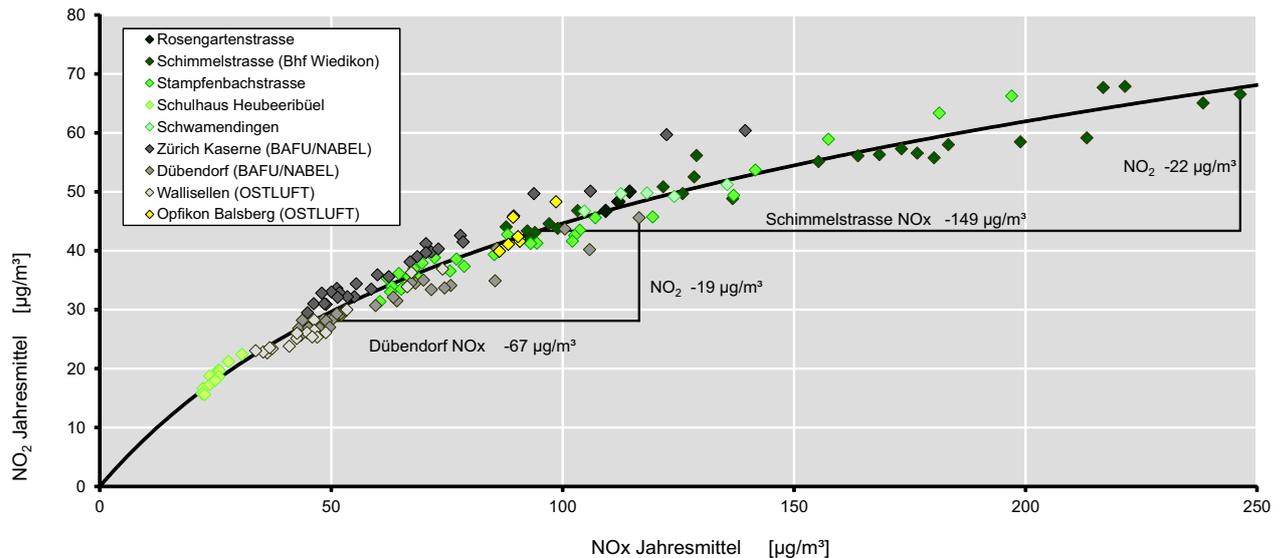


Abb. 42 Jahresmittelwerte  $\text{NO}_2$  in Abhängigkeit der  $\text{NO}_x$ -Jahresmittelwerte von Messstationen im Grossraum Zürich seit Messbeginn an den jeweiligen Messorten. (Datenquellen: Zürich Kaserne, Dübendorf/BAFU, NABEL – Wallisellen, Opfikon/OSTLUFT)

## A5 $\text{NO}_2$ -Passivsammler Validierung

Die Vergleichbarkeit der Messungen von  $\text{NO}_2$  mittels Passivsammlern mit den kontinuierlichen Messungen mit dem Referenzverfahren wird gewährleistet durch den Bezug

von Periodenmesswerten der Passivsammler mit den entsprechenden Messwerten des Referenzverfahrens an allen Messstationen.

Der Vergleich der so bereinigten Passivsammler-Jahresmittelwerte mit den Jahresmitteln der Messstationen 2016 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Messverfahren.

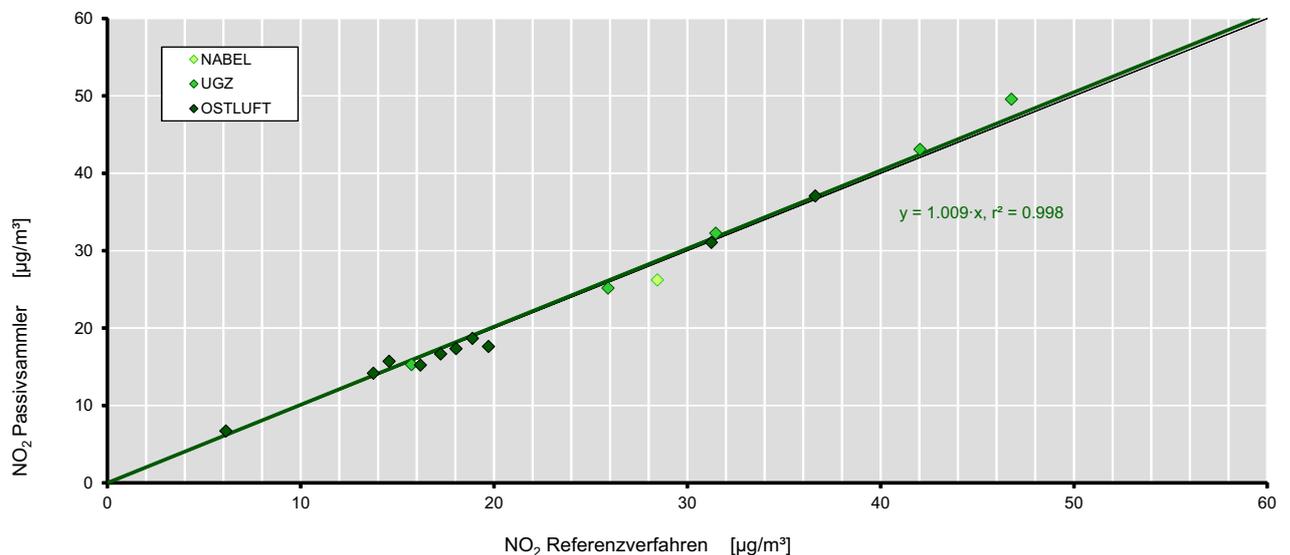
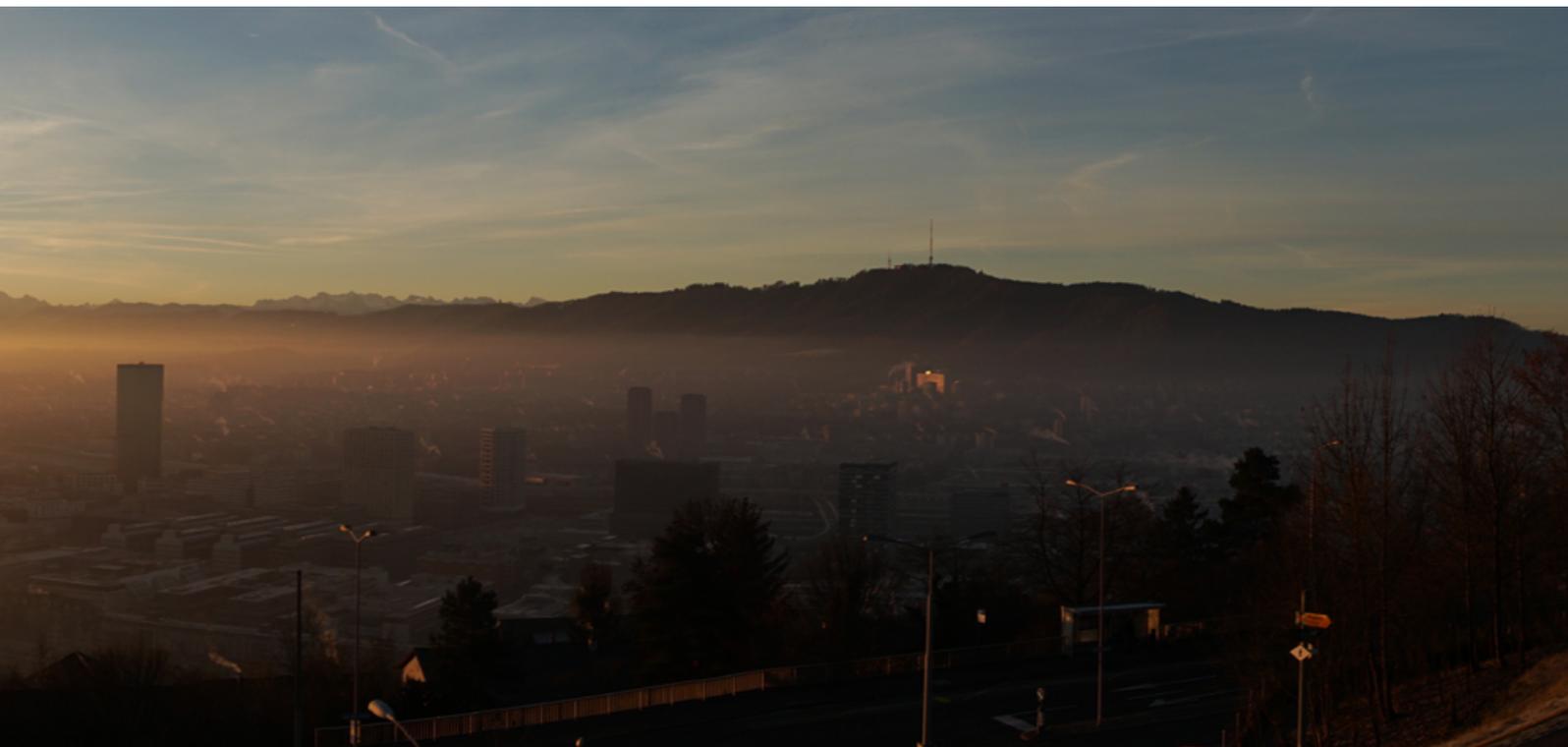


Abb. 43 Vergleich der Jahresmittelwerte 2016 zwischen Passivsammlern und Referenzverfahren (Daten UGZ, BAFU/NABEL, OSTLUFT)





## **Impressum**

### **Herausgeberin**

Stadt Zürich  
Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich UGZ  
Geschäftsbereich Umwelt  
Messung Luftqualität  
Walchestrasse 31  
8021 Zürich  
[www.stadt-zuerich.ch/luft](http://www.stadt-zuerich.ch/luft)

### **Redaktion**

Jürg Brunner, Leiter Messung Luftqualität  
Markus Scheller, wissenschaftlicher Mitarbeiter

### **Sachbearbeitung**

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

### **Titelfoto**

Sonnenaufgang über Winterinversion in Zürich  
am 9. Dezember 2016, Jörg Sintermann, AWEL

### **Grafik**

Liz Ammann, Grafik Design