

Luftbilanz Stadt Zürich

Resultate der flächendeckenden Messkampagne

Bericht Nr. 20140124

Verfasser:

Jürg Brunner, Fachbereichsleiter
Markus Scheller, wissenschaftlicher Mitarbeiter

Fachbereich Labor

Zürich, März 2014

Gesundheits- und Umweltdepartement



Impressum

Herausgeberin

Stadt Zürich
Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich UGZ
Abteilung Umwelt
Fachbereich Labor
Walchestrasse 31
8021 Zürich

www.stadt-zuerich.ch/luft

Sachbearbeitung

Nina Meyer
Markus Scheller
Noël Rederlechner
Thomas von Allmen
Jürg Brunner

Titelbilder

THEMA Fotografie GmbH, Zürich
Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich, Fachbereich Labor

INHALTSVERZEICHNIS

Wie steht es um die Qualität der Umgebungsluft in der Stadt Zürich?.....	1
1 Zusammenfassung	2
2 Glossar	4
3 Einleitung.....	5
4 Messprogramm.....	8
5 Luftschadstoffe und Luftbelastung	13
5.1 Stickstoffdioxid	13
5.2 Feinstaub PM10	17
5.3 Feinstaub PM10 Inhaltsstoffe	21
5.4 Ozon	26
5.5 Kohlenmonoxid.....	30
5.6 Schwefeldioxid	32
5.7 Staubniederschlag.....	34
5.8 Flüchtige organische Verbindungen	37
6 Westumfahrung und FlaMaWest.....	39
7 Literatur	41
Anhänge.....	43

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

Wir alle haben ein vitales Interesse daran, zu wissen, mit welchen Schadstoffen und in welchen Konzentrationen unsere Umgebungsluft, die wir tagtäglich einatmen, belastet ist. Die Informationspflicht der Behörden ist denn auch bereits im Umweltschutzgesetz aus dem Jahre 1983 festgelegt worden: "Die Behörden informieren die Öffentlichkeit sachgerecht über den Umweltschutz und den Stand der Umweltbelastung" (Art. 6 USG).

In der Stadt Zürich ist der Fachbereich Labor des UGZ für die Überwachung und die Bewertung der Luftqualität 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 permanenten Messstationen periodisch flächendeckende Untersuchungen mit einem verdichteten Messnetz durchgeführt. Der vorliegende Bericht fasst die Resultate dieser breit angelegten Messkampagne 2012 zusammen.

Die im Bericht vorgestellten Daten zur Luftqualität in der Stadt Zürich sind einerseits für die Erfolgskontrolle der lufthygienischen Massnahmen von grosser Bedeutung. Andererseits bilden sie auch die Basis für die zielgerichtete Weiterentwicklung der Massnahmenplanung zur Verbesserung der städtischen Luftqualität.

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

Peter Bär

Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich

Leiter Abteilung Umwelt

1 Zusammenfassung

Seit Beginn der 80er-Jahre führt der Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ) im Abstand von jeweils einigen Jahren flächendeckende Kampagnen zur Erfassung der Luftqualität in der Stadt Zürich durch. Durch die räumliche Verdichtung der Immissionsmessungen sind langjährige Aussagen zur Luftbelastung an unterschiedlichsten Standorten möglich.

Eidgenössische Verordnungen, kantonale und kommunale Massnahmenpläne sowie Emissionsreduktionen im motorisierten Verkehr haben dazu geführt, dass die Emission von Schadstoffen im Laufe der Jahre massiv reduziert werden konnte. Dies hatte entsprechend positive Auswirkungen auf die Luftbelastung. Entgegen der in der Öffentlichkeit noch oft verbreiteten Meinung, dass sich die Luftqualität in der Stadt Zürich nicht verbessert oder gar verschlechtert habe, hat sich die Luftbelastung bei allen Luftschadstoffen in der Stadt Zürich in den letzten 25 Jahren deutlich verringert.

Die aktuelle Situation der Luftbelastung

Das Jahr 2012 zeichnete sich, wenn auch witterungsbegünstigt, durch die tiefsten Belastungen durch Stickstoffdioxid und Feinstaub PM10 seit Beginn der Messungen aus. Erstmals lag der Jahresmittelwert der Feinstaub PM10-Belastung am Messort Stampfenbachstrasse unter dem Grenzwert. Verschiedene Schadstoffe (z.B. Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid) stellen heute kein Problem mehr dar, die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung werden seit geraumer Zeit eingehalten.

Tab. 1 Überschreitungen der Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung am Messort Stampfenbachstrasse 1986 und 2012 (durchschnittliche städtische Belastung)

	1986	2012
Anz. Grenzwerte der LRV	18	18
Anz. eingehaltene Grenzwerte	3	12
Anz. überschrittene Grenzwerte	14	5
nicht erfasst	1	1

Die Resultate der aktuellen Messkampagne zeigen jedoch auch, dass insbesondere an zentralen und stark verkehrsexponierten Lagen die Luftbelastung durch Stickstoffdioxid und Feinstaub PM10 weiterhin (teilweise deutlich) über den entsprechenden Grenzwerten liegt.

Ebenfalls über den Grenzwerten liegt die Luftbelastung durch Ozon. Die Spitzenwerte liegen heute zwar deutlich unter denjenigen der 90er Jahre, um die Grenzwerte einhalten zu können ist jedoch eine weitere Reduktion der Vorläuferschadstoffe (Stickstoffdioxid und flüchtige organische Verbindungen) um mindestens 50% nötig. Da die Ozonbelastung in der Stadt Zürich nur teils hausgemacht, sondern massgeblich durch die Ozonbildung aus Emissionen regionaler, nationaler und internationaler Quellen beeinflusst wird, sind auch weiterhin gemeinsame Anstrengungen, auch auf internationaler Ebene, nötig.

Stand der Massnahmen

Konnte anfangs mit einigen grundlegenden technischen Massnahmen (z.B. Katalysatoren für Benzinmotoren, Low-NO_x-Technologie für Feuerungsanlagen) eine rasche und deutliche

Reduktion des Schadstoffausstosses erreicht werden, verlagert sich der Fokus bei aktuellen Massnahmenplänen auf eine Fülle von kleineren Massnahmen in allen massgeblichen Bereichen. In der Summe werden sie jedoch eine weitere Reduktion der Schadstoffemission zur Folge haben. Trotzdem ist es absehbar, dass auch mit den bisher in Kraft gesetzten Massnahmen zur Emissionsminderung die Immissionsgrenzwerte einzelner Schadstoffe nicht eingehalten werden können.

So lässt sich mit Ausnahme des Ozons bei allen Schadstoffen ab 1985 ein analoger Verlauf der Entwicklung der Luftbelastung ausmachen. In den Jahren 1985 bis 1995 ein starkes Absinken der Luftbelastung, gefolgt von einer zunehmenden Abflachung des positiven Trends (Abb. 1).

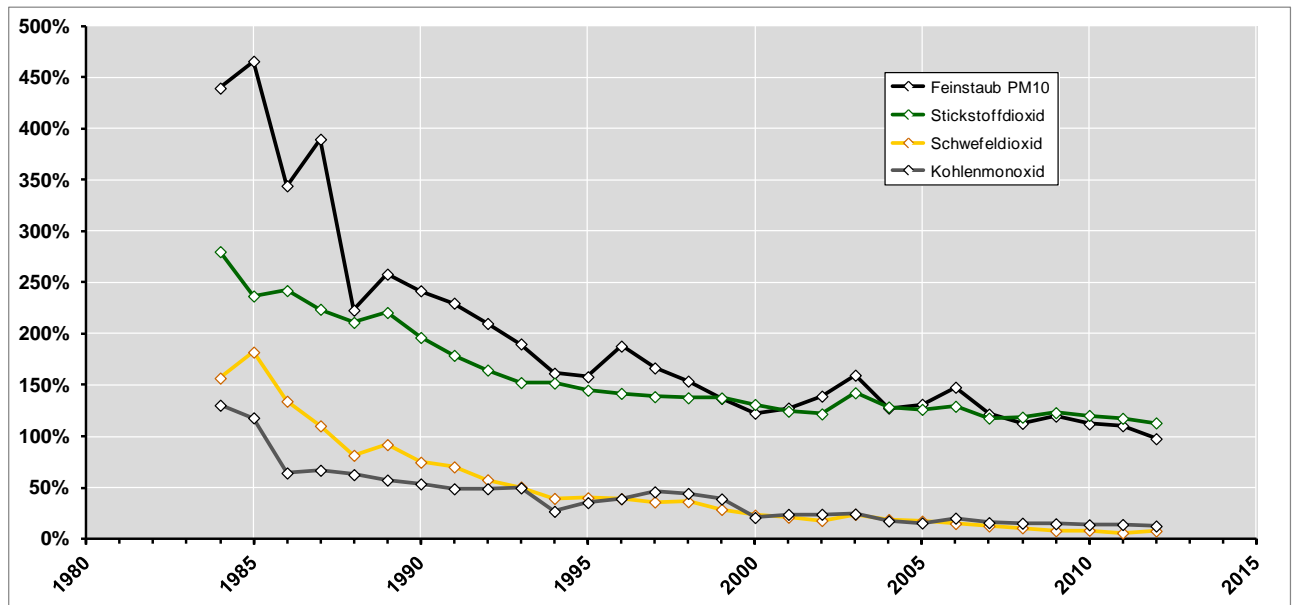


Abb. 1 Relative Schadstoffentwicklung bezüglich entsprechender Immissions-Grenzwerte am Messort Stampfenbachstrasse von 1984 bis 2012 ¹

Neue Problemfelder

Gleichzeitig öffnen sich auch neue Problemfelder, wie die oft übermässigen Partikelemissionen von Holzfeuerungen. Diese werden im Rahmen energetischer Sanierungen als Wärmeerzeuger mit einem nachhaltigen, weil erneuerbaren Energieträger, vermehrt genutzt.

Weiterhin Handlungsbedarf

Aller Bemühungen zur Senkung der Emissionen von Luftschadstoffen zum Trotz, reichen die bisher umgesetzten Massnahmen nicht aus, die Luftbelastung überall unter die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung zu senken. Es bleibt weiterhin ein grosser Handlungsbedarf. Die Annahme der Vision der 2000W-Gesellschaft im November 2008 und der Städteinitiative im September 2011 (Reduktion de Anteils des motorisierten Individualverkehrs am Gesamtverkehr um 10% in 10 Jahren) durch die Bevölkerung der Stadt Zürich wird ebenfalls zu einer weiteren Reduktion der Luftbelastung in der Stadt beitragen.

¹ Feinstaub PM10 vor 1997 abgeschätzt aus Vergleichsmessungen TSP/PM10

2 Glossar

<i>Al</i>	Aluminium
<i>Ca²⁺</i>	Calcium
<i>Cl</i>	Chlorid
<i>CO</i>	Kohlenmonoxid
<i>Co</i>	Kobalt
<i>Cr</i>	Chrom
<i>Cu</i>	Kupfer
<i>EC</i>	elementarer Kohlenstoff (E lemental C arbon)
<i>Emission</i>	Schadstoffausstoss
<i>Fe</i>	Eisen
<i>FlaMaWest</i>	flankierende Massnahmen zur Westumfahrung in der Stadt Zürich
<i>Immission</i>	Schadstoffeinwirkung
<i>K⁺</i>	Kalium
<i>LRV</i>	Luftreinhalte-Verordnung
<i>Mn</i>	Mangan
<i>Mo</i>	Molybdän
<i>N₂</i>	Stickstoff
<i>Na⁺</i>	Natrium
<i>NH₄⁺</i>	Ammonium
<i>Ni</i>	Nickel
<i>NO</i>	Stickstoffmonoxid
<i>NO₂</i>	Stickstoffdioxid
<i>NO₃⁻</i>	Nitrat
<i>NO_x</i>	Summe der Stickoxide
<i>O₂</i>	Sauerstoff
<i>O₃</i>	Ozon
<i>OC</i>	organischer Kohlenstoff (O rganic C arbon)
<i>PM10</i>	Feinstaub PM10 mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤ 10 µm (P articulate M atter ≤ 10 µm)
<i>Sb</i>	Antimon
<i>Sn</i>	Zinn
<i>SO₂</i>	Schwefeldioxid
<i>SO₄²⁻</i>	Sulfat
<i>Tl</i>	Thallium
<i>TSP</i>	Gesamtschwebstaub (T otal S uspended P articulates)
<i>UGZ</i>	Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich
<i>USG</i>	Umweltschutzgesetz
<i>Zn</i>	Zink

3 Einleitung

Die Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe sind gemäss Artikel 14 des schweizerischen Umweltschutzgesetzes (USG) [1] so festzulegen, dass ein umfassender Schutz von Mensch und 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. Es handelt sich bei den Grenzwerten der Luftreinhalteverordnung (LRV) [2] um Wirkungsschwellen unter welchen nach dem Stand der Wissenschaft keinerlei negative Effekte auf die Schutzobjekte zu erwarten sind.

Luftschadstoffe haben vielfältige Auswirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Ökosysteme sowie auf Materialien und Gebäude. Neben direkten gesundheitlichen Auswirkungen auf Organismen, beeinflussen sie düngend Pflanzengemeinschaften, gelöst als saurer Regen führen sie zu Veränderungen im Bodenhaushalt und Schädigungen von Gebäudefassaden.

Wegen der teils grossflächigen Grenzwertüberschreitungen und der entsprechend grossen Zahl exponierter Personen besteht seit Jahren ein erheblicher Handlungsbedarf bei den Schadstoffen Stickstoffdioxid (NO₂), Feinstaub PM₁₀ und Ozon (O₃).

Trotz der seit Beginn der Emissionsbeschränkungen in den 70er-Jahren erreichten Fortschritte auf dem Gebiet der Luftqualität, ist die Stadt Zürich weiterhin eines der Sanierungsgebiete der Schweiz aus lufthygienischer Sicht. In Zürich überlappt sich eine hohe Verkehrsdichte und zunehmend höhere Bevölkerungszahl mit der hohen Luftschadstoffdichte. An kaum einem anderen Ort unseres Landes sind so viele Menschen von übermässigen Belastungen betroffen wie in Zürich und seiner Agglomeration.

Die Überwachung der Luftqualität in der Stadt Zürich

In städtischen Gebieten gelangen Gesundheit gefährdende 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 Zürich. Dabei kommt das folgende Überwachungskonzept zur Anwendung:

- Dauerbetrieb von kontinuierlichen Messstationen an charakteristischen Standorten, welche verschiedene Stufen der Luftbelastung repräsentieren (gegenwärtig drei Messorte)
- Einsatz günstiger Messsysteme (Passivsammler) an festen Messorten und Messorten im Zusammenhang mit besonderen Fragestellungen
- Immissionsmessungen mit einer mobilen Messstation im Zusammenhang mit städtebaulichen Entwicklungen und Fragestellungen (z.B. Zürcher Westumfahrung und FlaMaWest, Überdachung Autobahn Schwamendingen)
- Periodische Durchführung von flächendeckenden Untersuchungen um die räumliche Auflösung zu verbessern. Diese Verdichtung des Messnetzes erfolgt mit vereinfachten Verfahren oder mittels Stichprobenerhebungen

Der kontinuierliche Stationsbetrieb bildet das Rückgrat des Überwachungsauftrags. Die Resultate geben lückenlos Auskunft über die zeitliche Entwicklung und damit den Erfolg von Massnahmen zur Reduktion der Luftbelastung. Die ergänzenden flächendeckenden Kampagnen liefern detailliertere Informationen über die Belastungsunterschiede auf Stadtgebiet und stellen zudem einen Quartierbezug her.

Um die Bevölkerungsexposition abschätzen zu können, muss dort gemessen werden, wo sich Menschen längere Zeit aufhalten. Dazu zählen in erster Linie die Wohngebiete, welche in der Stadt je nach Lage und Exposition unterschiedlich hoch belastet sind. Von Bedeutung ist zudem die Immissionssituation in Grünzonen und Naherholungsgebieten.

Messkampagne 1982/1983

In den Jahren 1982 und 1983 erfolgte erstmals eine umfassende Untersuchung der Immissionen im gesamten Gebiet der Stadt Zürich [3]. Die Resultate, welche noch vor in Kraft treten der schweizerischen Luftreinhalte-Verordnung (LRV) erhoben wurden, ermöglichten eine nach Lage und Schadstoff differenzierte Abschätzung der damals bedenklich hohen Exposition der Bevölkerung. Sie bildeten eine wichtige Grundlage für die Luftreinhalte-Politik der folgenden Jahre (Massnahmenplanung auf nationaler, kantonaler und kommunaler Ebene).

Messkampagne 1989/1990

Die nächste ähnlich angelegte flächendeckende Untersuchung erfolgte 1989/1990 [4], drei Jahre nach dem Erlass der LRV (1986) und dem allmählichem Wirksamwerden der eingeleiteten Emissionsbegrenzungen. Ihre Ergebnisse dokumentierten bereits erste Erfolge bei den Schadstoffen Schwefeldioxid und Gesamt-Schwebestaub, jedoch konnte bei Stickstoffdioxid noch keine eindeutige Entlastung festgestellt werden. Selbst in verkehrsfernen Wohngebieten wurde damals der Jahresmittel-Grenzwert nicht eingehalten.

Messkampagne 1994/1995

Die nächste Flächenuntersuchung 1994/1995 zeigte auch bei diesem Schadstoff einen deutlichen Rückgang der Luftbelastung [5]. Der Grenzwert für das Jahresmittel blieb jedoch immer noch an 12 der 28 Messpunkte klar überschritten. Die höchsten Jahresmittelwerte von Stickstoffdioxid wurden an stark befahrenen Strassenabschnitten in zentralen Lagen der Stadt, aber auch an den wichtigsten Einfallskorridoren registriert. Das Stadtzentrum blieb grossflächig über dem Grenzwert belastet. Beim erstmals in die Kampagne einbezogenen Ozon wurde hauptsächlich am Stadtrand ein hohes Überschreitungsausmass festgestellt. Das in der LRV festgeschriebene Sanierungsziel, nämlich das Beseitigen aller übermässigen Immissionen bis 1994, konnte bei beiden Problemstoffen Stickstoffdioxid und Ozon bei weitem nicht erreicht werden.

Messkampagne 1999/2000

1998 wurden mit der Revision der LRV die Standards für Schwebestaub neu definiert. Anlass bot eine Neubewertung der Gesundheitsrisiken, welche von einatembaren Partikeln ausgehen. Die Immissionsgrenzwerte für Gesamt-Schwebestaub (TSP) wurden in der Folge aufgehoben und durch weit strengere Grenzwerte für Feinstaub PM₁₀ (Partikeln mit einem Durchmesser <10 µm) ersetzt. Erste Messungen ab 1997 an den Dauermessstationen wiesen nach, dass diese verschärften Immissionsgrenzwerte in der Stadt Zürich sehr deutlich überschritten werden. Besonders nahe stark befahrener Strassen überraschte die Höhe der Überschreitungen. Damit trat neben Stickstoffdioxid und Ozon ein weiterer Schadstoff in den Blickpunkt des Interesses. Informationen über die räumliche Verteilung von Feinstaub konnten 1999/2000 in der nächsten flächendeckenden Messkampagne gewonnen werden [6]. Der sehr hohe Aufwand für die

Messungen von Feinstaub PM₁₀ erlaubte jedoch nur eine sparsame Besetzung mit zusätzlichen Messeinrichtungen. Das Hauptziel der Untersuchung bestand deshalb in der Auslotung der Spannweite der PM₁₀-Belastung. Da vor allem Messdaten am unteren Ende der Skala fehlten, wurden zwei zusätzliche Messstellen an peripheren Lagen ohne direkte Verkehrseinwirkung in Betrieb genommen. Wie bei den früheren Kampagnen lag der weitere Schwerpunkt bei Stickstoffdioxid, das erstmals ausschliesslich mit so genannten Passivsammlern [7, 8] erfasst wurde.

Messkampagnen 2004, 2008 und 2012

In den folgenden Messkampagnen 2004 [9], 2008 [10] und aktuell 2012 erfolgten die Untersuchungen auf das Kalenderjahr bezogen und dokumentieren die laufende Verbesserung der Luftqualität. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag bei den Problemschadstoffen Feinstaub PM₁₀ und Stickstoffdioxid. Bei den PM₁₀-Inhaltsstoffen wurde analog den vorhergehenden Messkampagnen der Russanteil, die in der LRV begrenzten Schwermetalle Blei und Cadmium und die Anteile an Metallen und Salzen, resp. Anionen und Kationen in PM₁₀ erfasst.

Die an Schwebstaub gebundenen toxischen Schwermetalle werden seit 2000 nur noch im Rahmen der Messkampagnen erfasst, da ihre Grenzwerte überall in der Stadt Zürich eingehalten werden. Dasselbe gilt für den Staubbiederschlag und die damit verbundenen Depositionen von Blei, Cadmium und Zink. So wurden auch 2012 die Schwermetall-Anteile im Staubbiederschlag wieder in das Messprogramm aufgenommen, um aktuelle Daten zur Verfügung zu haben.

4 Messprogramm

Im Rahmen der Messkampagne 2012 erfolgten Immissionsmessungen an insgesamt 38 Messorten, verteilt über das gesamte Stadtgebiet (Abb. 1). Zusätzlich zu den drei Messstationen mit kontinuierlichen Messgeräten wurde ein dichtes Netz von Messorten mit NO₂-Passivsammlern, verteilt über das gesamte Stadtgebiet, eingerichtet. Dieses Messnetz beinhaltet einerseits die Messorte früherer Messkampagnen, andererseits wurden auch die Dauermessorte in die Messkampagne einbezogen.

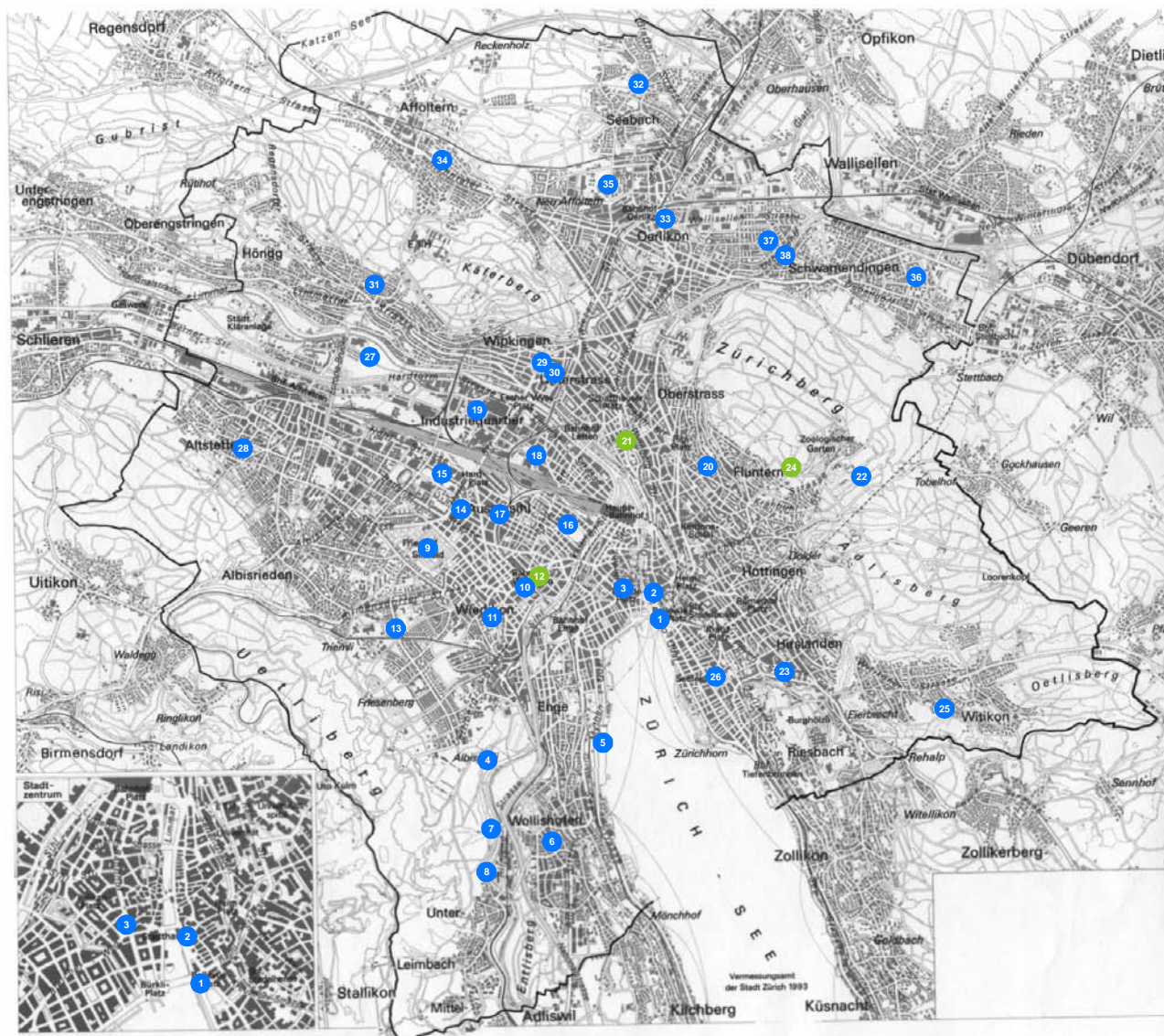






























































Abb. 2 Übersicht der Messorte der Messkampagne 2012
 grün: kontinuierliche Messstationen
 blau: Passivsammlermessorte

















Im Folgenden werden die einzelnen Messorte genauer beschrieben. Dabei wird auf die geografische Lage, die administrative Einteilung, wie auch auf die Expositionssituation eingegangen. Falls Daten vorhanden sind, werden auch die durchschnittlichen täglichen Fahrzeugzahlen angegeben.

Tab. 2 Details zu Lage und Exposition der Messorte

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehr- und Siedlungseinfluss (vgl. Anhang A3)	Details zum Messort Fahrzeugzahlen
1	Bellevue Seite Uto-Quai Kreis 1 Hochschulen 683'580 246'770	 	verkehrsreicher, zweiseitig bebauter Platz im Zentrum ca. 64'000 Fz/Tag, hohe Fussgängerdichte
2	Limmatquai 18 (ehemals Elsässer) Laterne an Kirchgasse Kreis 1 Rathaus 683'465 247'075	 	Kleiner Platz an verkehrsberuhigter Strasse mit einseitiger Bebauung Kein Durchgangsverkehr, 4'000 Fz/d
3	Paradeplatz Bahnhofstrasse 23 Kreis 1 City 683'115 247'165	 	Messort am nördlichen Rand des Paradeplatzes Verkehrsfrei (Zubringer)
4	Höcklerweg bei Kurve vor Steigung Kreis 2 Leimbach 681'483 244'182	 	Hintergrundmessort verkehrsfrei
5	Strandbad Mythenquai Eingangsbereich Kreis 2 Enge 682'812 245'459	 	Messort im Park am See Distanz zur (abgeschirmten) Hauptverkehrsachse 40 m 25'000 Fz/d
6	Wachtelstrasse (bisher Speerstrasse) Wachtelstrasse 17 Kreis 2 Wollishofen 682'250 244'144	 	Wohnquartier am Stadtrand geringer Lokalverkehr Verkehrs- und Umgebungslärm
7	Wegackerstrasse 2 Kreis 2 Leimbach 681'425 243'310	 	Wohnquartier am Stadtrand (Sihltal) geringer Lokalverkehr
8	Zwirnerstrasse 52 direkt an Sihlufer Kreis 2 Leimbach 681'429 243'702	 	Hintergrundmessort direkt an der Sihl Hangwindsituation geringer Lokalverkehr
9	Friedhof Sihlfeld Nähe Kapelle A Kreis 3 Sihlfeld 680'800 247'650	 	Park in Stadtmitte sämtlicher Verkehr in mehr als 100 m Distanz
10	Gerhardstrasse Gerhardstrasse 5 Kreis 3 Sihlfeld 681'915 247'185	 	wenig befahrene Strasse Abstand zur Schimmelstrasse 75 Meter Schimmelstr., 27'500 Fz/Tag

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehr- und Siedlungseinfluss (vgl. Anhang A3)	Details zum Messort Fahrzeugzahlen
11	Kirchbühlweg Kirchbühlweg 7 Kreis 3 Alt-Wiedikon 681'502 246'827	 	kleine Quartierstrasse in leicht erhöhter Lage sehr geringer Lokalverkehr
12	Schimmelstrasse Seebahnstrasse 33 Kreis 3 Sihlfeld 681'960 247'245	 	stark befahrene Durchgangsachse 27'500 Fz./Tag
13	Schweighofstrasse 367 Kreis 3 Friesenberg 680'330 246'670	 	Messort an Hauptachse, leichte Hanglage 8'000 Fz./Tag
14	Bullingerhof Kreis 4 Hard 681'091 248'129	 	begrünter städtischer Innenhof (Hintergrund) stark befahrene Strassen mehr als 100 m entfernt der Hof ist verkehrsfrei
15	Eichbühlstrasse Eichbühlstrasse. 43 Kreis 4 Hard 680'884 248'572	 	Hintergrundmessort im Bereich Güterbahnhof Wenig Verkehr
16	Kaserne (NABEL) Kanongasse 20 Kreis 4 Langstrasse 682'450 247'990	 	kleiner Park in Stadtmitte Standort der NABEL-Station stärker befahrene Strassen > 50m entfernt der Hof ist verkehrsfrei
17	Seebahnstrasse 229 Kreis 4 Langstrasse 681'591 248'060	 	stark befahrene Hauptverkehrsachse einseitig bebaut (Bahneinschnitt) 24'500 Fz./Tag
18	Josefstrasse 175 (bisher Neugasse) Kreis 5 Gewerbeschule 682'030 248'830	 	Innenhof einer Wohnüberbauung verkehrsfrei
19	Turbinenplatz Kreis 5 Escher Wyss 681'470 249'325	 	Platz (14'000 m ²) umgeben von mässig befahrenen Strassen stärker befahrene Strassen > 100m entfernt
20	Bionstrasse Bionstrasse 10 Kreis 6 Oberstrass 684'130 248'680	 	Hanglage, schwacher Wohnverkehr sehr geringer Lokalverkehr

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehr- und Siedlungseinfluss (vgl. Anhang A3)	Details zum Messort Fahrzeugzahlen
21	Stampfenbachstrasse Stampfenbachstrasse 144 Kreis 6 Unterstrass 683'140 249'040	 	Abstand zu Strassenrand ca. 3m mittel stark befahrene Strasse 9'000 Fz./Tag
22	Adolf Jöhr Weg Kreis7 Hottingen 686'005 248'575	 	in Waldlichtung auf Wegkreuzung 180 m Abstand zu mässig befahrenen Strassen verkehrsfrei
23	Forchstrasse 145 Kreis 7 Hirslanden 684'992 246'135	 	Messort an Hauptachse, beidseitig bebaut 18'000 Fz./Tag
24	Schulhaus Heubeeribüel Heubeeriweg 30 Kreis 7 Fluntern 685'135 248'470	 	Stadttrand, erhöhte Lage geringer Lokalverkehr
25	Steinbrüchelstrasse 44 Kreis 7 Witikon 687'052 245'664	 	Wohnquartier am Stadtrand geringer Lokalverkehr
26	Schulhaus Seefeld Tuggenerweg Kreis 8 Mühlebach 684'421 245'797	 	an Fussweg am Rande des Pausenplatzes gelegen 75 m Abstand zu starkbefahrener Strasse verkehrsfrei
27	Hardhof an Gehweg Kreis 9 Altstetten 679'994 250'009	 	innerhalb Park-/Sportanlage 250 m Abstand zur Autobahn verkehrsfrei
28	Meientalstrasse Stampfenbrunnenstrasse 34 Kreis 9 Altstetten 678'485 248'885	 	Wohnquartier am Stadtrand stärker befahrene Strassen mehr als 150 m entfernt geringer Lokalverkehr
29	Rosengartenstrasse Einfahrt Nordstrasse 270 Kreis 10 Wipkingen 682'092 249'943	 	an stark befahrener Durchgangsachse bei der Einfahrt zum Schulgelände 48'000 Fz./Tag
30	Schulhaus Nordstrasse (Pausenplatz) Kreis 10 Wipkingen 682'120 249'905	 	auf Pausenplatz des Schulhauses Nordstrasse 40 m Abstand zu den stark befahrenen Strassen verkehrsfrei, beeinflusst durch Umgebungsverkehr

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehr- und Siedlungseinfluss (vgl. Anhang A3)	Details zum Messort Fahrzeugzahlen
31	Schulhaus Vogtsrain Ferd. Hodler Strasse. 30 Kreis 10 Höngg 680'080 251'957	 	Hanglage kein Durchgangsverkehr, geringer Lokalverkehr
32	Birchstrasse 579 Birchstrasse / Buchwiesen Kreis 11 Seebach 683'290 253'365	 	schwach befahrene Strasse am Stadtrand geringer Lokalverkehr
33	Franklinplatz Kreis 11 Oerlikon 683'420 251'578	 	verkehrsreicher Platz, hohe Fussgängerdichte beidseitig bebaut 10'000 Fz/Tag
34	In Böden 123 In Böden 123 Kreis 11 Affoltern 680'920 252'459	 	Sackgasse, 100 m Distanz zur Wehntalerstrasse geringer Lokalverkehr
35	Oerlikerpark neben Pavillon Kreis 11 Oerlikon 682'958 252'135	 	im Oerlikerpark, an Birchstrasse Busverkehr (2 Linien)
36	Schulhaus Hirzenbach Grosswiesenstrasse 149 Kreis 12 Hirzenbach 686'735 250'932	 	Neben Schulhaus 40 m bis zur nächsten Strasse mit Lokalverkehr verkehrsfrei
37	Schulhaus Saatlen Tramstrasse 210 Kreis 12 Saatlen 684'900 251'445	 	Messort in locker überbautem Schulareal 200 m Distanz zur Autobahn mit 85'000 Fz/d verkehrsfrei
38	Schwamendingen Autobahn Luegislandstrasse 53c Kreis 12 Schwamendingen Mitte 684'077 251'202	 	direkt an der A1, beim Übergang Saatlenstrasse 85'000 Fz/Tag



kein bis geringer Verkehrseinfluss



mässiger Verkehrseinfluss



starker Verkehrseinfluss



kein bis geringer Siedlungseinfluss



mässiger Siedlungseinfluss



starker Siedlungseinfluss

5 Lufts Schadstoffe und Luftbelastung

Lufts Schadstoffe wirken sich je nach Konzentration und Einwirkungsdauer negativ auf Gesundheit und unsere Umwelt aus. Die zentrale Rolle beim Ausstoss von Luftverunreinigungen (Emission) 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 langfristig auch zu Klimaveränderungen.

Bei den Lufts Schadstoffen 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 wesentlich durch hausgemachte Emissionen aus Strassenverkehr, Wärmeerzeugung und den Emissionen von Industrie und Gewerbe bestimmt. Langlebige Schadstoffe, welche über weite Strecken verfrachtet werden können, weisen zudem einen beträchtlichen "Importanteil" auf (z.B. Ozon, Feinstaub PM10).

5.1 Stickstoffdioxid

Stickoxide (NO_x) entstehen als unerwünschte Nebenprodukte bei Verbrennungsvorgängen. Bei sehr hohen Temperaturen können Stickstoff (N_2) und Sauerstoff (O_2) 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_2) umgewandelt wird. Die Summe von NO und NO_2 wird als NO_x bezeichnet. In der schweizerischen Luftreinhalte-Verordnung (LRV) sind nur für NO_2 Immissionsgrenzwerte festgelegt.

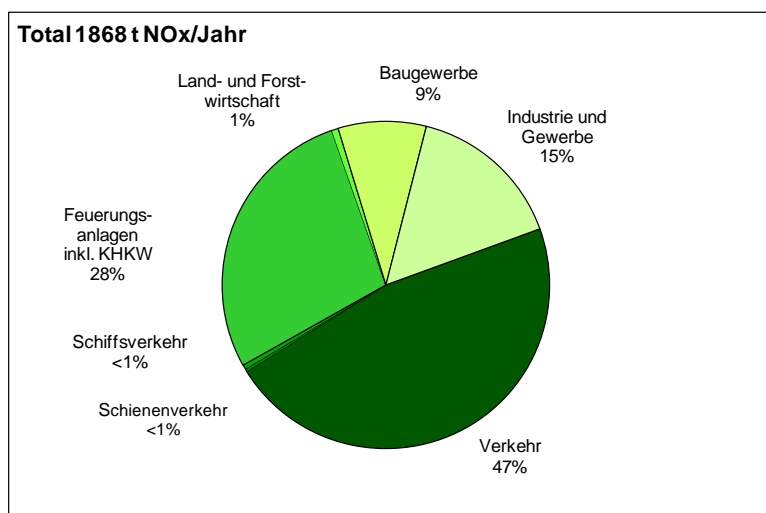


Abb. 3 Stickoxid-Emissionen 2010 [11]

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 Atemweg-Erkrankungen. Eingeatmetes Stickstoffdioxids wird in der Lunge teilweise absorbiert und kann als giftiges Nitrit ins Blut gelangen.

Gemäss letzten Erhebungen (2010) beträgt in der Stadt Zürich der gesamte jährliche Ausstoss an Stickoxiden rund 1'900 Tonnen (Abb. 3) und liegt dabei noch bei rund 36% der Emissionen von 1990 [12]. Zu den Gesamtemissionen trägt der motorisierte Strassenverkehr 47% bei. In der Stadt Zürich ist die NO₂-Belastung weitgehend hausgemacht, die Immissionen werden in erster Linie durch die eigenen NO_x-Emissionen aus Verkehr und Feuerungen verursacht. Entsprechend seinem hohen Beitrag und der bodennahen Freisetzung der Abgase, bestimmt im Wesentlichen der motorisierte Strassenverkehr das Belastungsmuster.

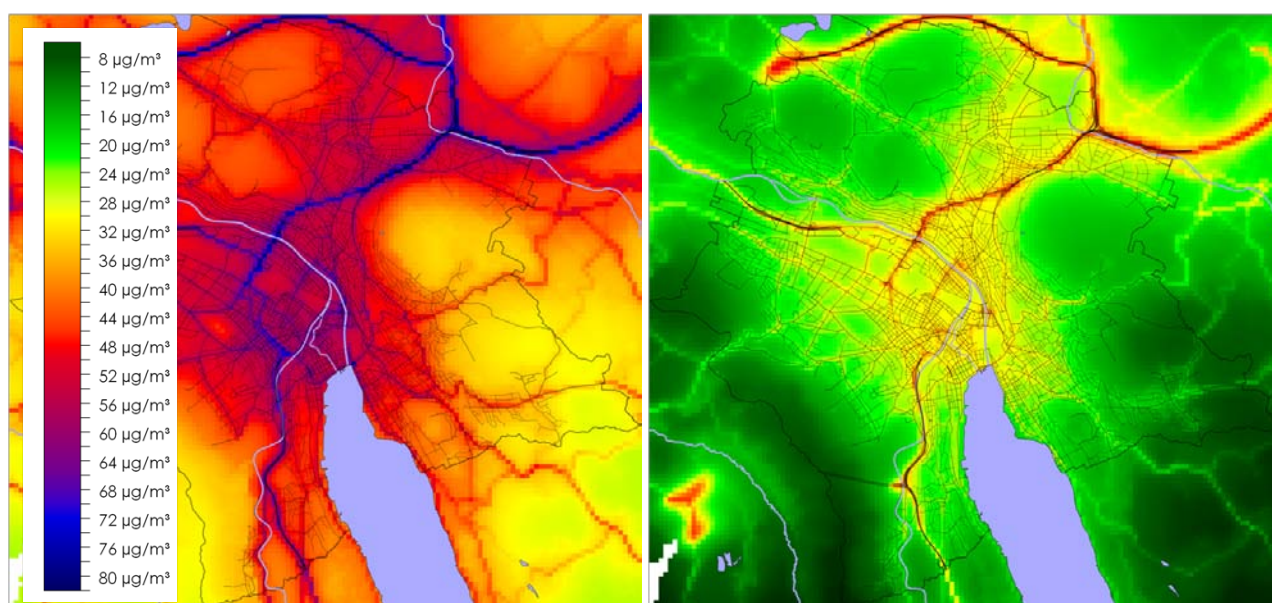


Abb. 4 Modellierte Stickstoffdioxid-Belastungen 1990 und 2012

Die deutliche Reduktion der Stickoxid-Emissionen hat entsprechend Auswirkungen auf die Luftbelastung durch Stickstoffdioxid. Ein Vergleich des Zustands von 1990 mit 2012 (Abb. 4) macht dies augenfällig. Trotzdem verbleibt weiterhin Handlungsbedarf, denn entlang städtischer Hauptverkehrsachsen und in dicht bebauten Zentrumslagen wird der Langzeitgrenzwert für NO₂ weiterhin und teilweise auch massiv überschritten.

5.1.1 Langzeitentwicklung

Die chronische Belastung durch NO₂ ist geprägt durch eine starke Abnahme der Belastung bis Mitte der 90er-Jahre. Diese positive Entwicklung hat sich in den folgenden Jahren deutlich abgeschwächt und die Messwerte zeigen in den letzten zehn Jahren nur noch eine geringfügig abnehmende Tendenz. Dies lässt sich in den Langzeitentwicklungen (Abb. 5) gut beobachten.

Aus der Reihe fallen dabei die Jahre 2003 und 2006, welche durch lang anhaltende Winterinversionen und überdurchschnittlich schöne und heisse Sommer geprägt waren. Diese ausserordentlichen Wetterbedingungen schlagen sich insbesondere in der hohen Zahl der Überschreitungen des Tagesgrenzwerts nieder (Abb. 6).

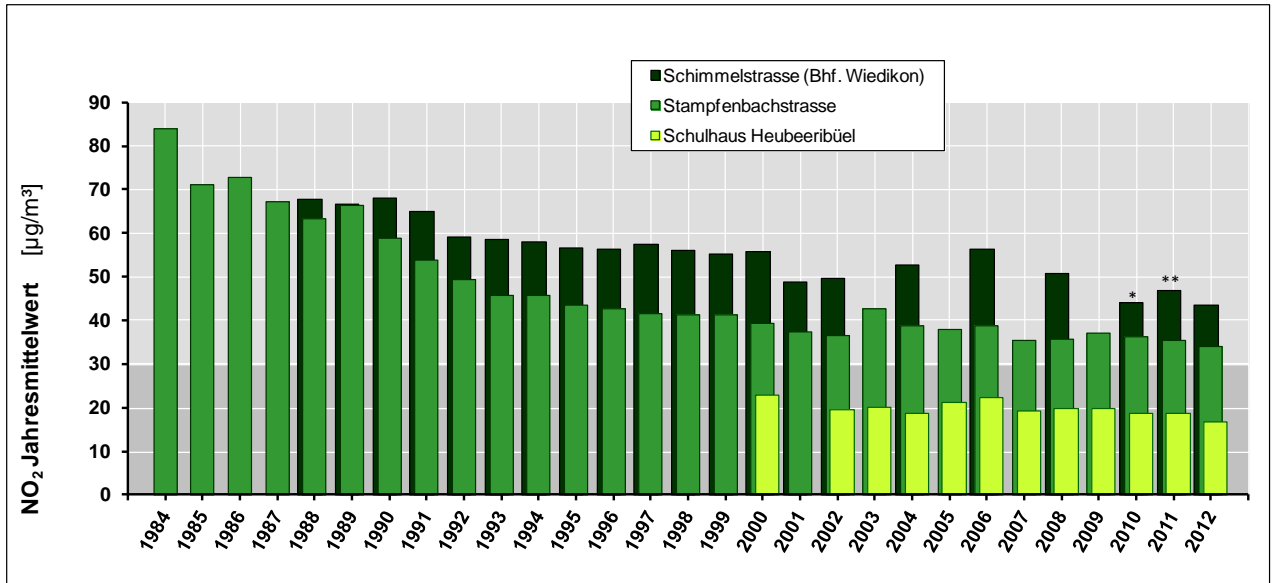


Abb. 5 Jahresmittelwerte Stickstoffdioxid von 1984 bis 2012 ²

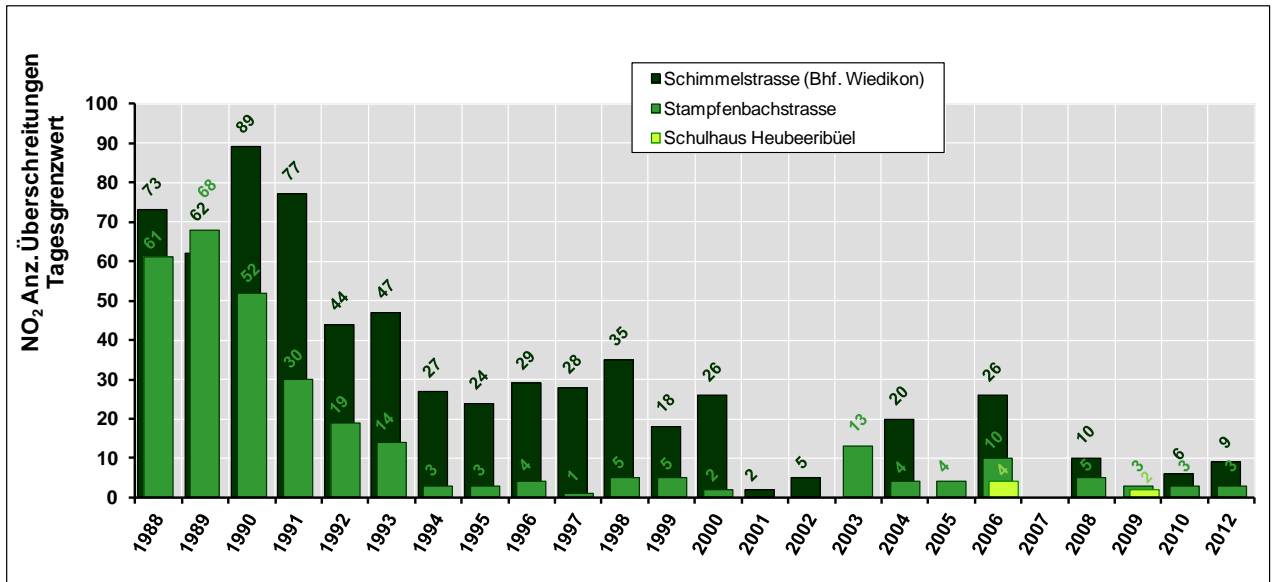


Abb. 6 Anzahl Überschreitungen des Stickstoffdioxid-Kurzzeit-Grenzwerts von 1988 bis 2012

5.1.2 Passivsammlermessungen

Mit dem Einsatz von NO₂-Passivsammlern [8, 13] lässt sich ein engmaschiges Netz an Messpunkten aufbauen. So wurden bereits im Rahmen der Messkampagne 1994/1995 die Stichprobenmessungen mit kontinuierlichen Messgeräten teilweise und ab der Messkampagne 1999/2000 systematisch durch dieses kostengünstigere und weniger aufwändige Messverfahren ersetzt. Die Messungen an den kontinuierlichen Messstationen werden ebenfalls mit Passivsammlern begleitet. Dies bietet die Möglichkeit das Passivsammlermessverfahren auf die kontinuierlichen Messungen zu beziehen und gewährleistet eine direkte Vergleichbarkeit der beiden Messverfahren (vgl. A5)

² Messort Schimmelstrasse beeinflusst durch die Eröffnung der Westumfahrung Zürich und den folgenden baulichen Massnahmen im Rahmen FlaMaWest (* Bauarbeiten, einspurige Verkehrsführung, ** Inbetriebnahme des neuen Verkehrsregimes)

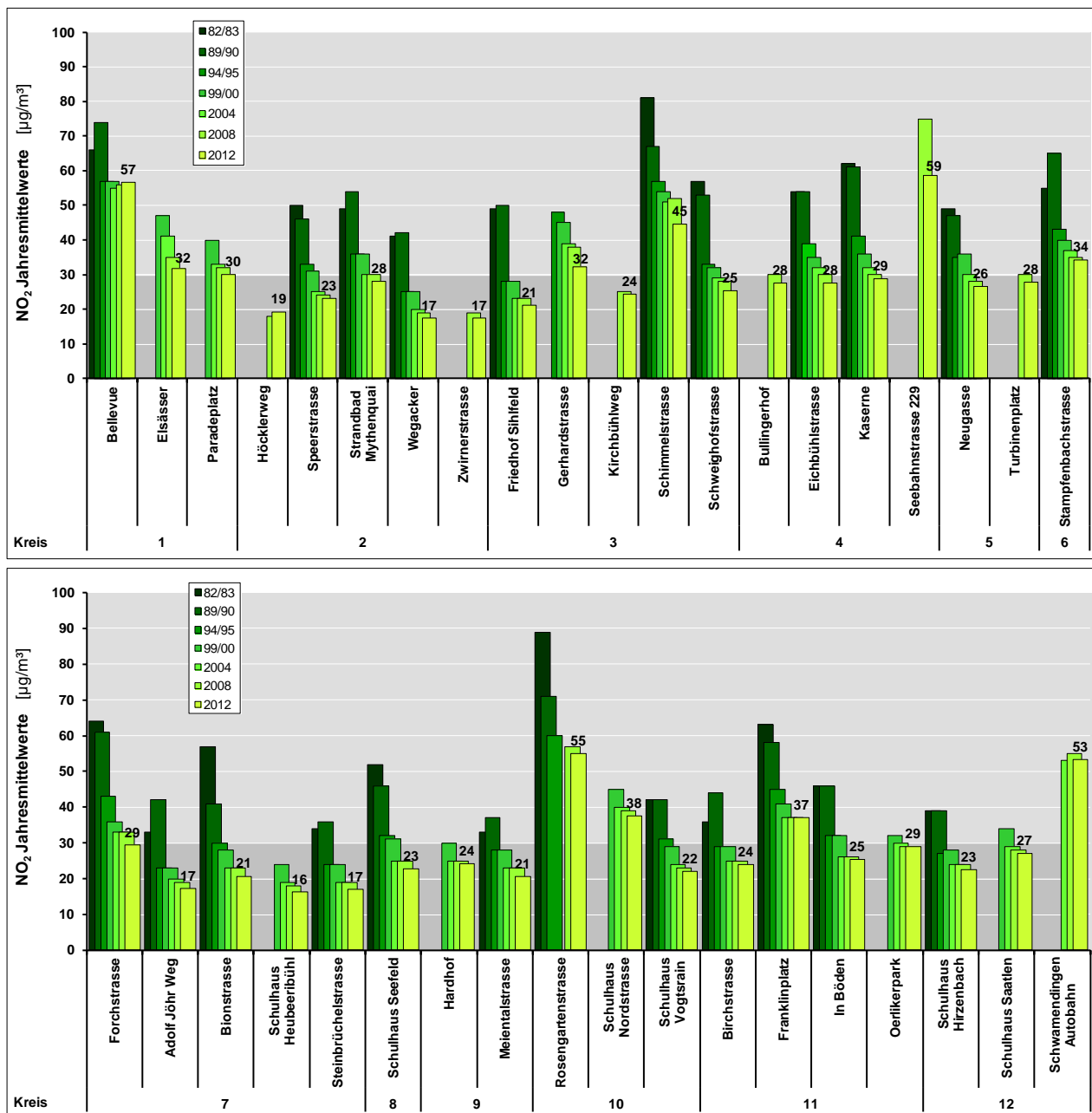


Abb. 7 Jahresmittelwerte Stickstoffdioxid aus Stichprobenmessungen früherer Messkampagnen und Passivsammler-Messungen

Die Resultate der Passivsammlermessungen und der kontinuierlichen Messungen zeigen, dass sich die NO₂-Belastung seit Beginn der 80er-Jahre insbesondere an verkehrsabgewandten Messorten deutlich verbessert hat. So liegen die aktuellen Messwerte im Bereich des Langzeitgrenzwerts oder halten diesen deutlich ein. Sie zeigen auch, dass die Abnahme an verkehrsexponierten Messorten deutlich geringer ausfällt.

Der Grund für die geringere Abnahme von NO₂ an verkehrsexponierten Standorten liegt in der Abhängigkeit der NO₂-Belastung von der Belastung durch die Summe der Stickoxide NO_x. Werden die Daten sämtlicher Messstationen im Raum Zürich betrachtet, zeigt der Vergleich der Daten der Messorte Schimmelstrasse und Dübendorf (NABEL) im Zeitraum von 1988 bis 2012 eine um den Faktor 2.7 grössere Abnahme der Stickoxide NO_x, während die Abnahme der NO₂-Belastung nur um den Faktor 1.3 höher ist (vgl. Tab. 3 und A4).

Tab. 3 NO_x- und NO₂-Abnahme zwischen 1988 und 2012

	NO _x -Abnahme µg/m ³	NO ₂ -Abnahme µg/m ³
Schimmelstrasse (Bhf Wiedikon)	154	23
Dübendorf (BAFU/NABEL)	58	18
Verhältnis Schimmelstrasse/Dübendorf	2.7	1.3

5.1.3 Luftbelastung 2012

An allen städtischen Messorten mit kontinuierlicher Messung der Stickoxide wurden 2012 die tiefsten Belastungen durch NO₂ seit Beginn der Messungen an den jeweiligen Orten registriert. Sie zeigen jedoch exemplarisch, dass an Zentrumslagen mit mässigem Verkehr und an Hauptverkehrsachsen der Langzeit-Grenzwert für das Jahresmittel weiterhin nicht eingehalten werden kann.

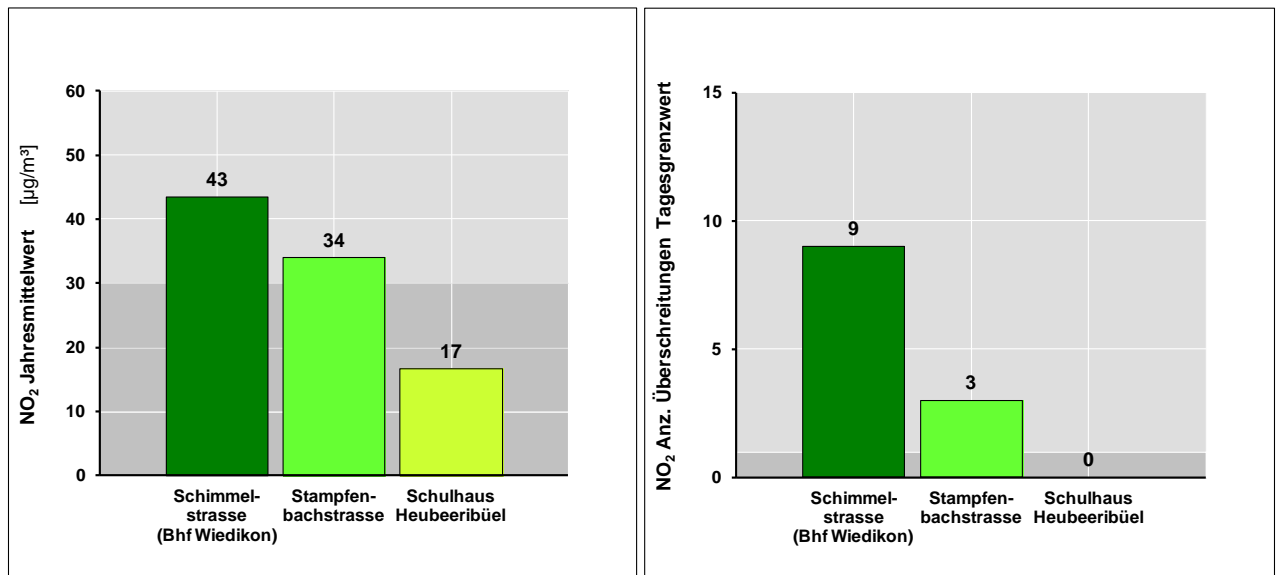


Abb. 8 Jahresmittelwerte und Anzahl Überschreitungen des Tagesmittelwerts für Stickstoffdioxid 2012 an den kontinuierlichen Messstationen in der Stadt Zürich

Trotz deutlich tieferer chronischer Belastung kann es bei ungünstigen Wetterbedingungen weiterhin zu Überschreitungen des Kurzzeit-Grenzwerts kommen. Dieser wird jedoch heute zu einem deutlich geringeren Ausmass überschritten als dies noch in den späten 80er-Jahren der Fall war. In den letzten zehn Jahren lagen die maximalen Tageswerte im Bereich von 80 bis 103 µg/m³, zwischen 1985 und 1990 noch bei 137 bis 250 µg/m³.

5.2 Feinstaub PM₁₀

Die Ergebnisse mehrerer epidemiologischer Studien in der Schweiz [14-16] haben gezeigt, dass feine Schwebeteilchen eine schädigende Wirkung auf die Gesundheit haben. Generell gilt: Je kleiner die Partikel, umso tiefer werden sie eingeatmet (Abb. 9). Während gröbere Teilchen entweder gar nicht eingeatmet oder bereits im Nasen-, Rachenraum herausgefiltert werden, kann ein Teil des Feinstaubes den Kehlkopf passieren (Partikel kleiner ca. 5 µm) und gelangt über Luftröhre, Bronchien und Bronchiolen tiefer in die Lunge. Partikel mit einem mittleren Durchmesser

kleiner als etwa $1\ \mu\text{m}$ dringen bis in die tiefsten Bereiche der Lunge vor und werden teilweise in den Lungenbläschen (Alveolen) abgelagert. Von dort werden sie nur sehr langsam wieder entfernt. Laut neueren medizinischen Erkenntnissen können kleinste Teilchen wegen ihrer geringen Grösse Zellmembranen durchdringen und in die Blutbahn übertreten.

Mit zunehmender PM₁₀-Langzeitbelastung treten vermehrt chronische Erkrankungssymptome der Atemwege auf, wie beispielsweise Atemnot, Husten, Auswurf oder Atemweg-Infektionen. Damit verbunden sind Einschränkungen der Lungenfunktion, die Auslösung entzündlicher Reaktionen und Herz-/Kreislaufkrankungen.

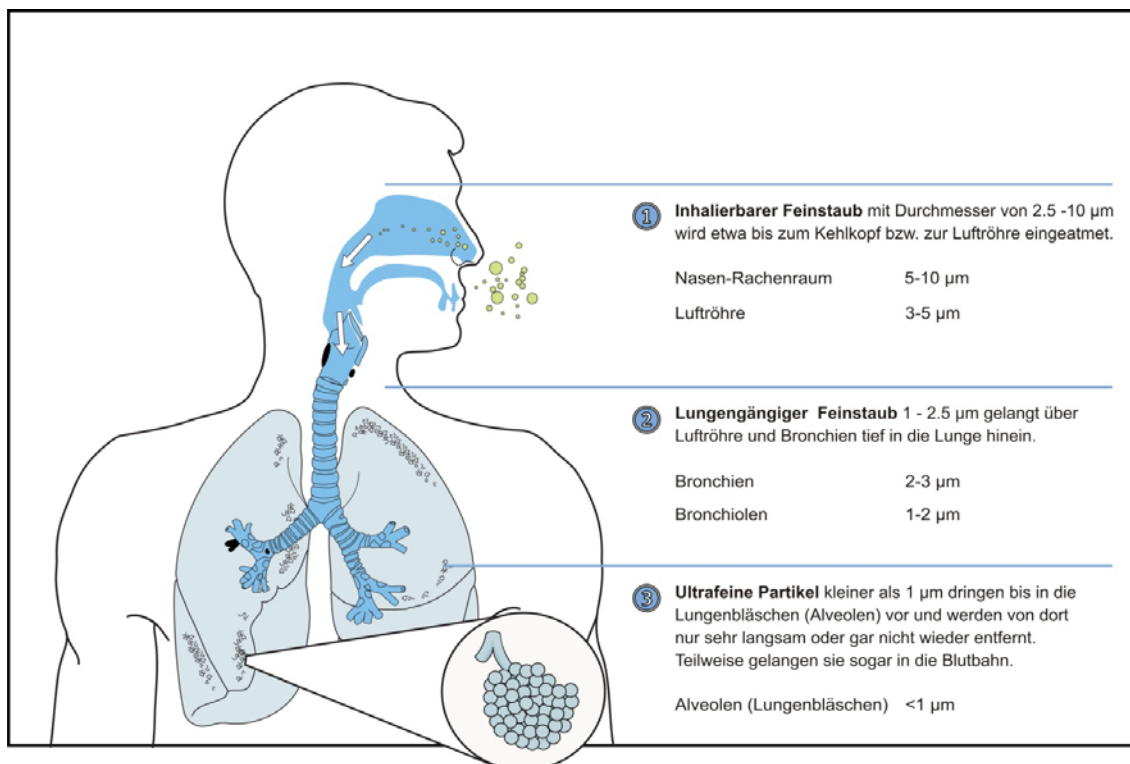


Abb. 9 Feinstaub PM₁₀ - Grössen Kategorien und Depositionsorte in der menschlichen Lunge

Feinstaub PM₁₀ stammt aus einer grossen Zahl verschiedener Quellen. Beiträge zu den Emissionen stammen aus praktisch allen Bereichen menschlicher Aktivitäten (Strassen- und Schienenverkehr, Industrie und Gewerbe, Ver- und Entsorgung, Haushalt/Hobby, Land- und Forstwirtschaft). Auch natürliche Quellen (Seesalze, Winderosion wie z.B. Saharastaub etc.) tragen zur Grundbelastung bei.

Bei PM₁₀ handelt es sich um ein höchst komplexes Gemisch verschiedenster chemischer Bestandteile unterschiedlichster Herkunft. Partikel aus Verbrennungsprozessen, mechanisch erzeugte Partikel aus Abriebvorgängen und auch Partikel, welche durch chemische Umwandlungen gasförmiger Vorläufer entstehen können (sekundäre Feinpartikel) finden sich alle unter dem Sammelbegriff PM₁₀.

Der motorisierte Strassenverkehr ist neben dem Baugewerbe in städtischen Gebieten der bedeutendste Belastungsfaktor. Die deutlich erhöhten PM₁₀-Messwerte an stark befahrenen Strassen, insbesondere an Hauptachsen mit hohem Schwerverkehrsanteil, unterstreichen den Zusammenhang zwischen Verkehr und PM₁₀-Belastung (Abb. 11). In Strassennähe stammen die Feinpartikel nicht nur aus dem Auspuff, sondern auch vom Abrieb der Fahrbahn, der Reifen und Bremsen. Einen grossen Einfluss spielt dabei auch aufgewirbelter Strassenstaub.

PM₁₀-Partikel können auf Grund ihrer Stabilität und geringen Sinkgeschwindigkeit lange Zeit in der Luft verbleiben und werden über grössere Distanzen transportiert. Dies bedeutet, dass die örtliche PM₁₀-Belastung neben der Nahausbreitung auch von weiträumig transportierten Anteilen beeinflusst wird. Gesamteuropäische Modellrechnungen zeigen, dass die durch Ferntransport bedingte Vorbelastung in der Schweiz bereits ca. die Hälfte des Jahresgrenzwerts ausmacht.

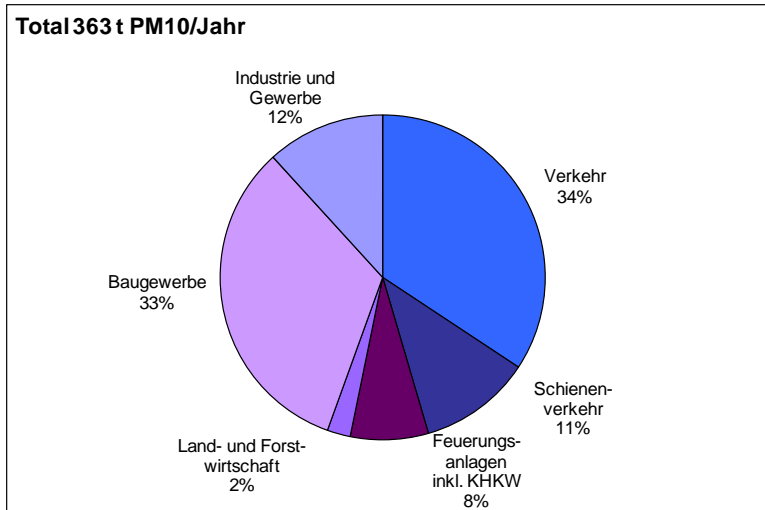


Abb. 10 Feinstaub PM10 Emissionen 2010 [11]

Eine Folge dieser Verfrachtung ist eine relativ homogene Verteilung der PM10 über das Stadtgebiet. Ein grosser Teil dieser allgegenwärtigen Grundbelastung besteht aus Sekundärpartikeln. Dass jedoch selbst bodennah freigesetzte Partikel über Hunderte von Kilometern verfrachtet werden können, zeigt z.B. das regelmässige Auftreten von Saharastaub in Mitteleuropa.

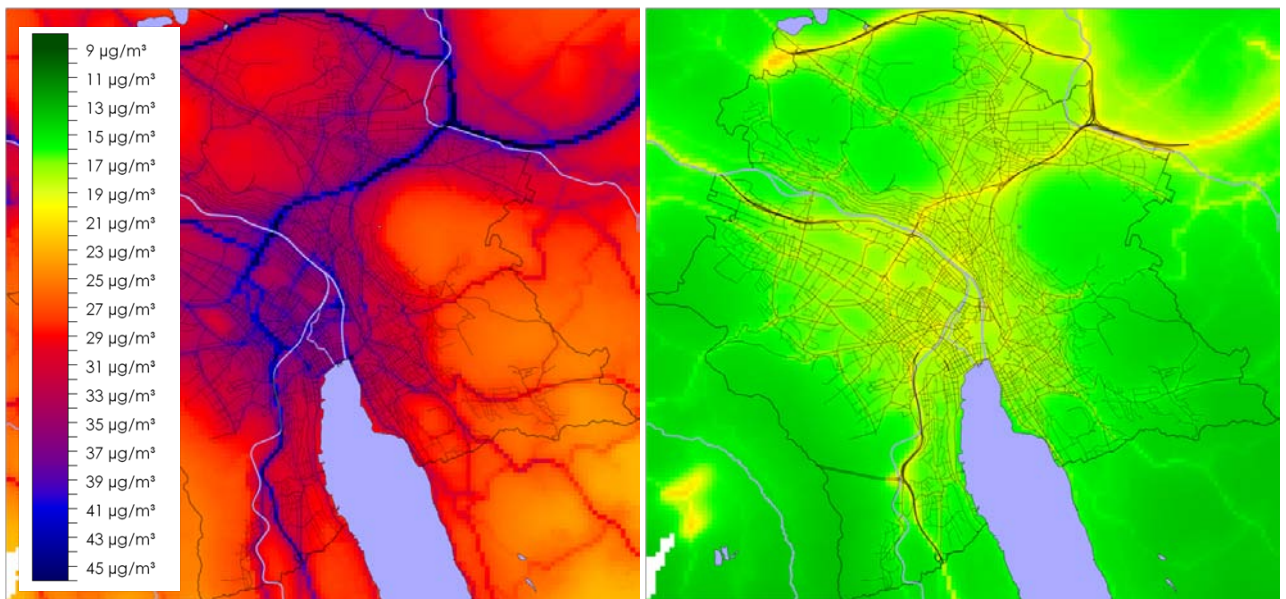


Abb. 11 Modellierte Belastungen durch Feinstaub PM10 1990 und 2012

Werden die modellierten Luftbelastungen zwischen 1990 und 2012 verglichen, zeigt sich eine massive Verbesserung der Luftbelastung durch Feinstaub PM10.

5.2.1 Langzeitentwicklung

Die Langzeitentwicklung beim Feinstaub PM10 zeigt eine starke Abnahme der Feinstaub-Belastung bis 2000. In den Folgejahren verlangsamt sich die Verbesserung der Luftqualität deutlich.

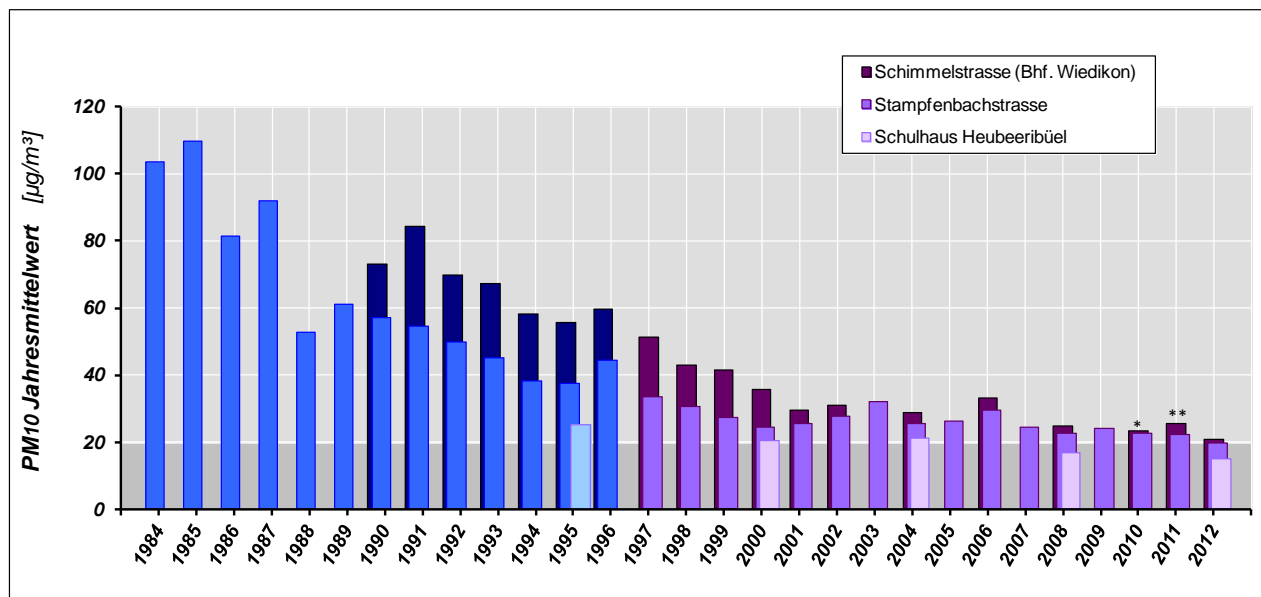


Abb. 12 Jahresmittel Feinstaub PM10 von 1984 bis 2012 ³

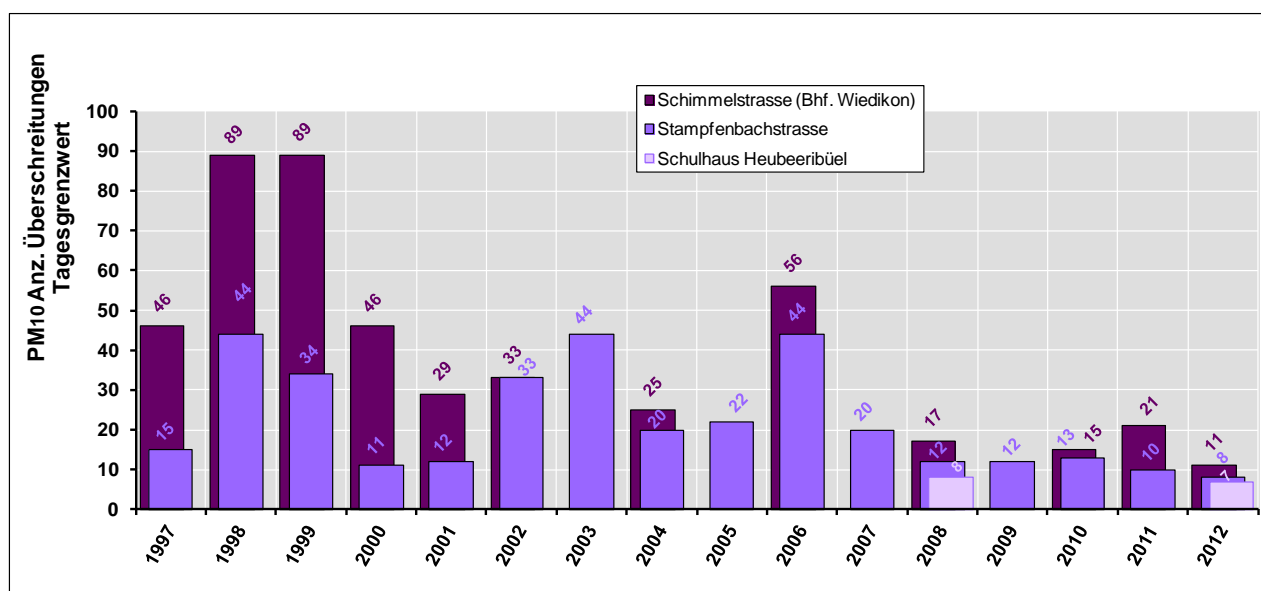


Abb. 13 Anzahl Überschreitungen des Feinstaub PM10 Kurzzeit-Grenzwerts 1997 bis 2012

Ein anderes Bild zeigt sich bei der Anzahl der Überschreitungen des Tagesgrenzwerts, der auch am Stadtrand noch deutlich zu häufig überschritten wird.

5.2.2 Luftbelastung 2012

Die chronische Belastung durch Feinstaub PM10 hat sich 2012 wetterbegünstigt deutlich gesenkt und einen Tiefststand seit Beginn der Messungen erreicht. Selbst an sehr verkehrsexponierten Messorten wie der Schimmelstrasse wurde der Langzeitgrenzwert 2012 nur geringfügig überschritten.

³ Feinstaub PM10 Konzentration vor 1997 abgeschätzt aus der Gesamtschwebstaub-Belastung (TSP). Messort Schimmelstrasse beeinflusst durch die Eröffnung der Westumfahrung Zürich und den folgenden baulichen Massnahmen im Rahmen FlaMaWest (* Bauarbeiten, einspurige Verkehrsführung, ** Inbetriebnahme des neuen Verkehrsregimes)

Erstmalig wurde der Grenzwert neben dem Rand des Siedlungsgebiets auch am Messort Stampfenbachstrasse eingehalten. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass die Feinstaub-Belastung bei weniger günstigen Witterungsbedingungen wieder steigen wird.

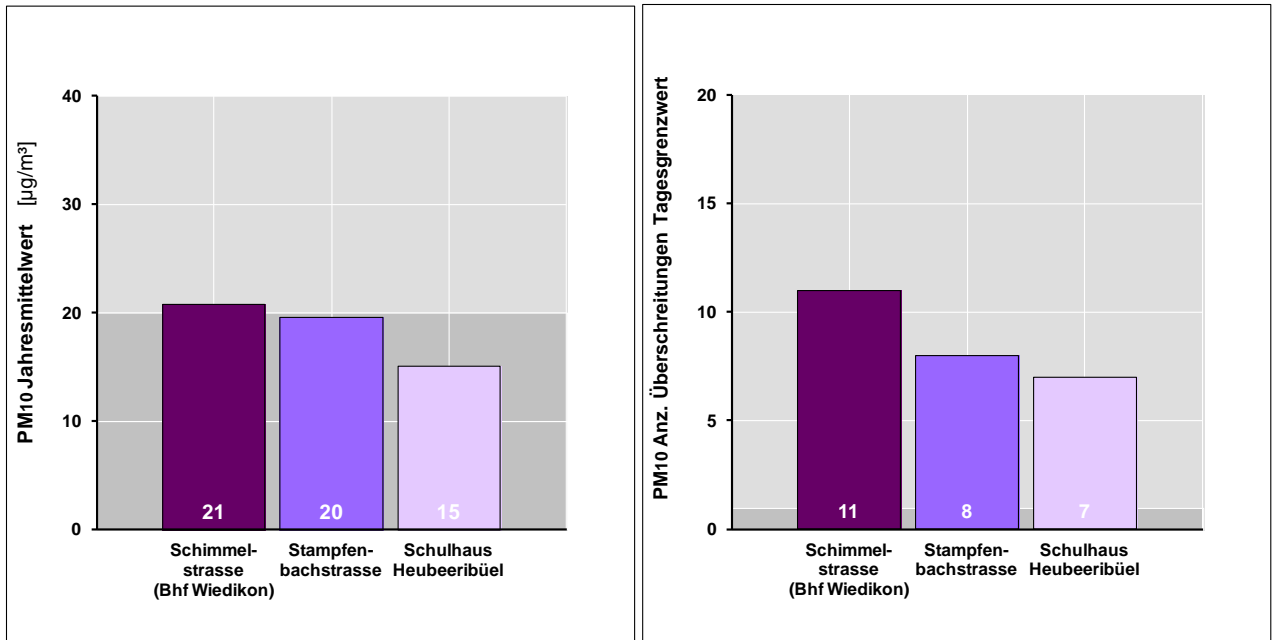


Abb. 14 Jahresmittelwerte und Anzahl Überschreitungen des Tagesmittelwerts 2012 für Feinstaub PM10 an den kontinuierlichen Messstationen in der Stadt Zürich

5.3 Feinstaub PM10 Inhaltsstoffe

Bei Feinstaub PM10 handelt es sich um ein Konglomerat aus Partikeln unterschiedlichster Herkunft. Grob können diese in Partikel aus Verbrennungsprozessen, mechanisch erzeugte Partikel und so genannte sekundäre Aerosole, welche aus Vorläuferschadstoffen entstehen, eingeteilt werden.

Von gesundheitlicher Relevanz ist dabei in erster Linie der elementare Kohlenstoff (Dieselruss), welcher als krebserregend eingestuft ist.

5.3.1 Elementarer und organischer Kohlenstoff

Dieselmotoren stossen eine grosse Zahl von Einzelsubstanzen aus, die teils gasförmig, teils partikelförmig vorliegen. Besonders feinteiligen Partikeln kommt dabei eine grosse gesundheitliche Bedeutung zu. Sie sind hauptsächlich der Grund, weshalb Dieselabgase ein wesentlich grösseres Gesundheitsrisiko darstellen als Abgase von Benzinmotoren. Hinzu kommt, dass ein Dieselmotor ein Mehrfaches an Stickoxiden emittiert als ein Benzinmotor. Der partikelförmige und kohlenstoffhaltige Teil der Dieselmotoremissionen wird auch als «Dieselruss» bezeichnet.

Dieselruss wird als krebserregend angesehen [2, 17]. Die Grösse der Dieselrusspartikel liegt typischerweise zwischen 0.01 und 0.5 Mikrometer, d.h. es handelt sich um eine vollständig alveolengängige Komponente des PM10-Schadstoffkomplexes. Die Kanzerogenität beruht hauptsächlich auf dem inneren Kern der Dieselpartikel, der im Wesentlichen aus elementarem Kohlenstoff besteht. Die auf den Russkernen haftenden weiteren Kanzerogene (z.B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe - PAK) tragen zusätzlich zum Krebsrisiko bei. Wahrscheinlich hat bereits das Vorliegen einer grossen Zahl von mechanisch reizenden und nicht abbaubaren Kohlenstoffkernen erheblichen Anteil an der kanzerogenen Wirkung. Das von Dieselruss ausgehende

Krebsrisiko übertrifft dasjenige von anderen Luftschadstoffen, denen ein kanzerogenes Potential zugeschrieben wird. Aufgrund dieser Eigenschaften kommt den verkehrsbedingten Russmissionen eine besondere lufthygienische Relevanz zu. Gemessen an lebensstilbedingten Faktoren (z.B. Rauchen) ist das zusätzliche Krebsrisiko durch Dieselruss zwar gering, es wird jedoch der Allgemeinheit aufgezwungen.

Die weitaus wichtigsten Emittenten von Russ bzw. von elementarem Kohlenstoff (EC) sind dieselbetriebene Fahrzeuge und Maschinen. Technisch ist das Problem bereits gelöst, denn mit Partikelfiltern kann die Anzahl der ultrafeinen Russpartikel im Dieselabgas um mindestens 95% reduziert werden. Die Praxistauglichkeit dieser Systeme ist heute für alle Fahrzeugkategorien unbestritten.

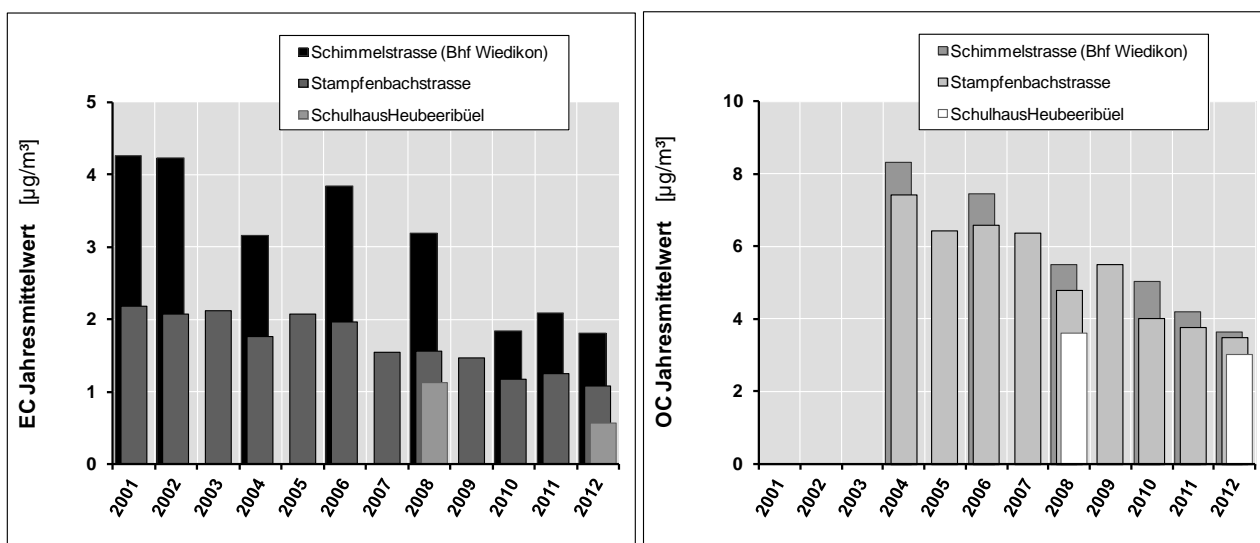


Abb. 15 Langzeitentwicklung des elementaren und organischen Kohlenstoffs (EC/OC) seit Beginn der Messungen

Die Messreihen seit Beginn der Bestimmungen von EC und OC zeigen an allen Messorten eine Halbierung der Luftbelastung seit 2001.

Als Folge der hohen Emissionsdichte dominieren in städtischen Gebieten die Russmissionen dieselbetriebener Strassenfahrzeuge. Die höchsten Immissionen treten deshalb an stark verkehrsbelasteten Standorten mit hohem Schwerverkehrsanteil auf.

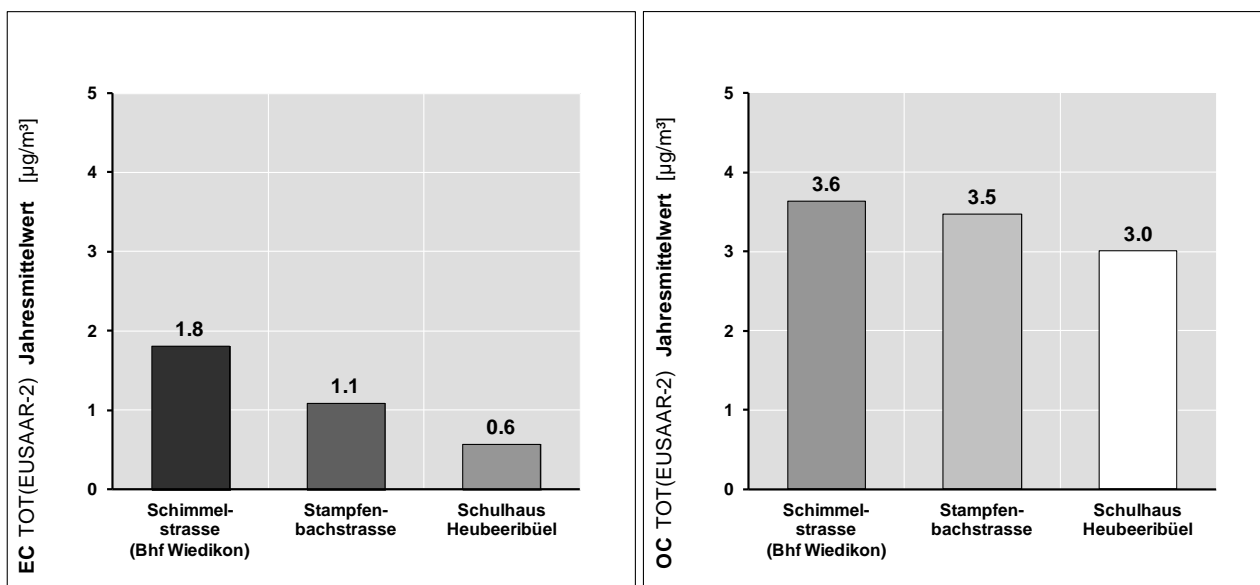


Abb. 16 Luftbelastung durch elementaren Kohlenstoff (EC) und organische Kohlenstoff (OC) 2012

Die Jahresmittelwerte des elementaren Kohlenstoffs (EC) zeigen eine ausgeprägte Abhängigkeit von Verkehrsaufkommen und Zusammensetzung. Der Schwerverkehrsanteil von rund 7% am Messort Schimmelstrasse macht sich im Messwert deutlich bemerkbar.

Neben elementarem Kohlenstoff enthält Feinstaub PM₁₀ auch organische Verbindungen auf Kohlenstoffbasis, so genannter organischer Kohlenstoff (OC). Seine Verkehrsabhängigkeit ist deutlich weniger ausgeprägt. Der hohe Messwert am Schulhaus Heubeeribüel zeigt, dass ein deutlicher Anteil an OC Teil der Hintergrundbelastung sein muss.

5.3.2 Metalle

Neben dem elementaren Kohlenstoff gibt es noch eine Vielzahl problematischer Stoffe im Feinstaub PM₁₀. Schwermetalle, von denen Blei und Cadmium durch Grenzwerte in der LRV reglementiert werden, gehören zu solchen Problemstoffen. Als Bestandteile des Feinstaubs PM₁₀ gelangen sie über die Atemwege in den Körper, wo sie ihre gesundheitsschädigenden Auswirkungen entfalten können.

5.3.2.1 Reglementierte Metalle

Insbesondere beim Bleigehalt hat sich die Situation massiv verbessert - als Folge des Verbots von Blei-Additiven im Benzin und der Ausrüstung der Kehrlichtheizkraftwerke mit Rauchgasreinigungen ist der Feinstaub PM₁₀ heute praktisch bleifrei.

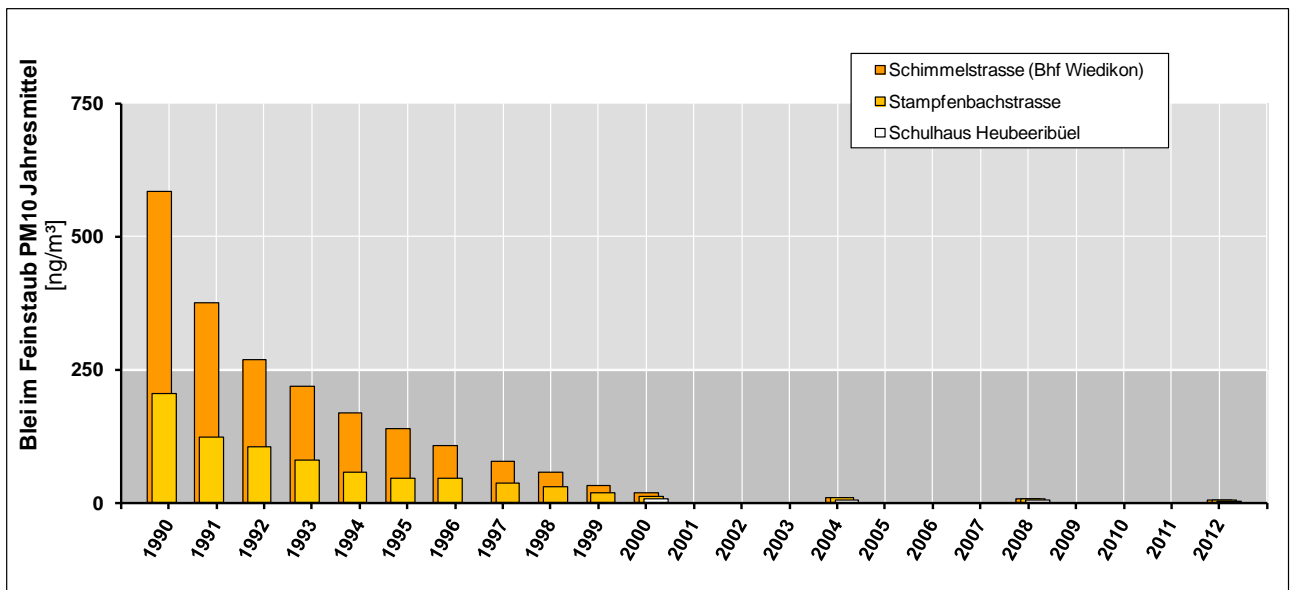
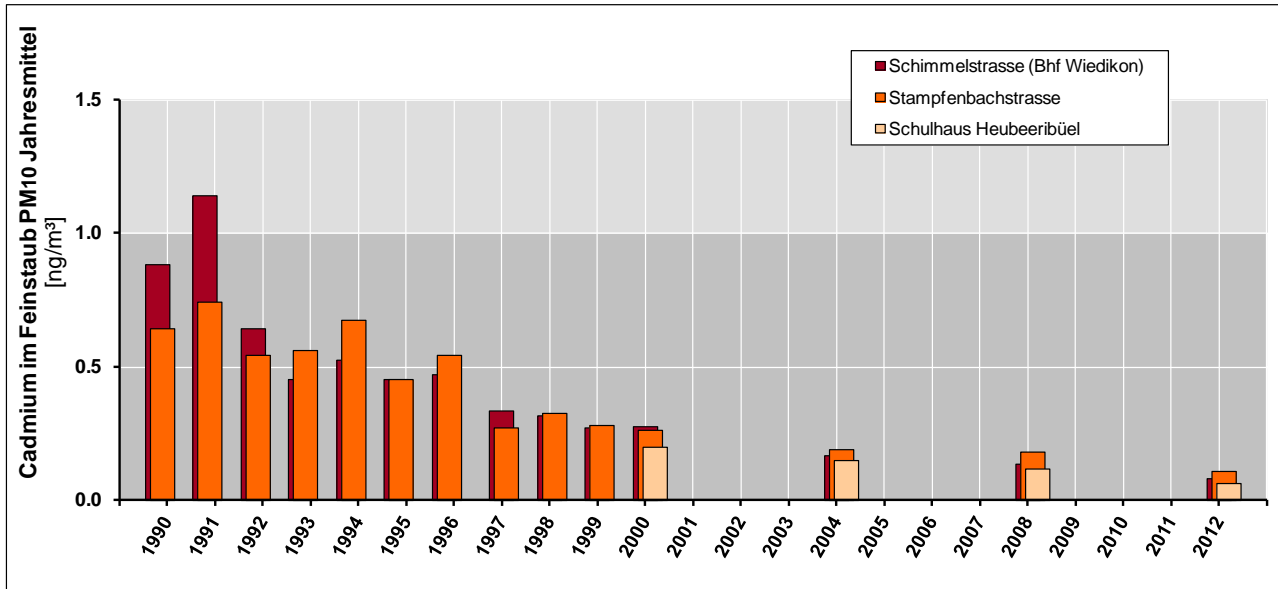


Abb. 17 Jahresmittelwerte 2012 von Blei im Feinstaub PM₁₀⁴

Auch beim Cadmium-Anteil hat sich die Situation erheblich verbessert. Die konsequente Elimination von Cadmium aus dem Alltagsgebrauch und die Ausrüstung der städtischen Kehrlichtheizkraftwerke mit Rauchgasreinigungen haben dazu geführt, dass auch die Cadmium-Belastung im Feinstaub deutlich zurückgegangen. Die Messwerte liegen ebenfalls deutlich unter dem entsprechenden Grenzwert der LRV für den Cadmium-Anteil des Feinstaubs PM₁₀.

⁴ vor 1997 Belastung im TSP

Abb. 18 Jahresmittelwerte 2012 von Cadmium im Feinstaub PM10⁵

Die Schwermetallanalysen für Blei und Cadmium zeigen Jahresmittelwerte, welche deutlich unter den entsprechenden Grenzwerten liegen.

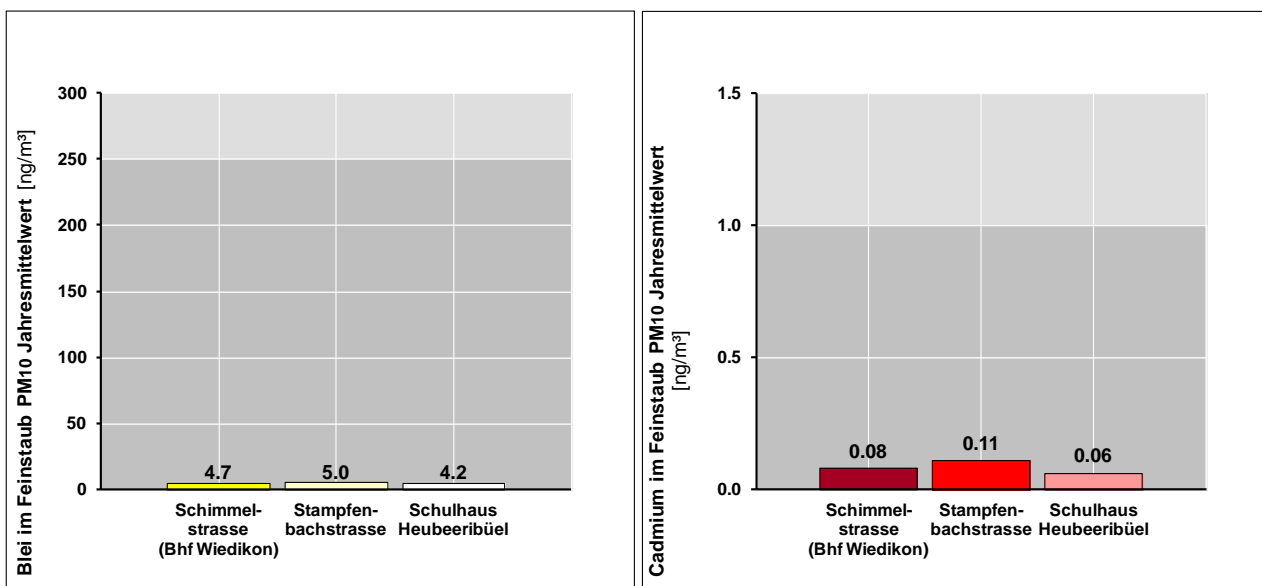


Abb. 19 Jahresmittelwerte 2012 für Blei und Cadmium im Feinstaub PM10 an den städtischen Messstationen

5.3.2.2 weitere Metalle

Neben den reglementierten Metallen Blei und Cadmium machen weitere Metalle einen wesentlichen Anteil des Feinstaubs PM10 aus. Insbesondere können hohe Aluminium- (Al) und Eisenanteile (Fe) im Feinstaub verzeichnet werden. Diese stammen in erster Linie aus Abriebprozessen des Strassen- und Schienenverkehrs (Tram), Aluminium teilweise auch aus natürlichen Quellen.

⁵ vor 1997 Belastung im TSP

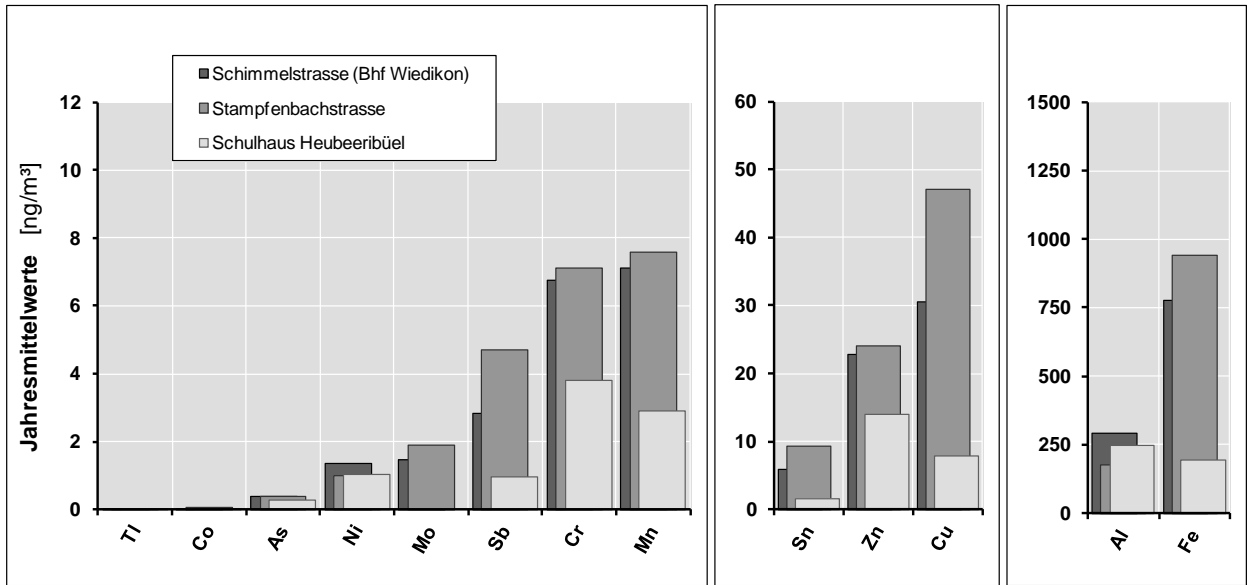


Abb. 20 Jahresmittelwerte 2012 der Metallanteile im Feinstaub PM10

5.3.3 Salze

Ein mengenmässig nicht unwesentlicher Bestandteil des Feinstaubs PM10 sind Salze, welche durch chemische Umwandlungen aus Vorläuferschadstoffen (Ammoniak, Stickoxiden, Schwefeldioxid etc.) entstehen. Ihr mengenmässiger Anteil am Feinstaub PM10 ist unabhängig vom Messort etwa gleich gross (7 bis 9 µg/m³). Diese Konstanz lässt darauf schliessen, dass diese Fraktion Bestandteil der Hintergrundbelastung ist und von städtischen Quellen nur geringfügig beeinflusst wird.

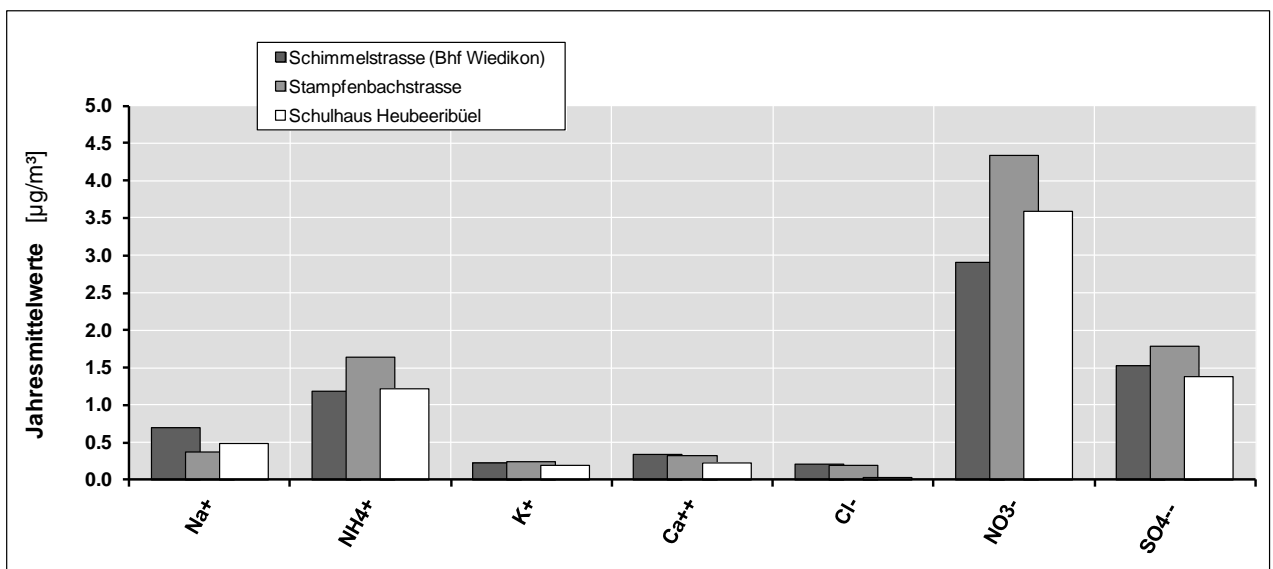


Abb. 21 Jahresmittelwerte der Ionengehalte von Feinstaub PM10 im Rahmen der Messkampagne 2012

5.3.4 Zusammensetzung Feinstaub PM10

Mit den Informationen der vorhergehenden Abschnitte lässt sich eine Aufteilung der PM10-Belastung auf die diversen Fraktionen durchführen. Die untersuchten Anteile machen zwei Drittel

bis drei Viertel der Feinstaubbelastung aus. Im nicht identifizierten Anteil finden sich Bestandteile wie Pneu- und Strassenabrieb oder auch natürliche Anteile (z.B. Sahara-Staub)

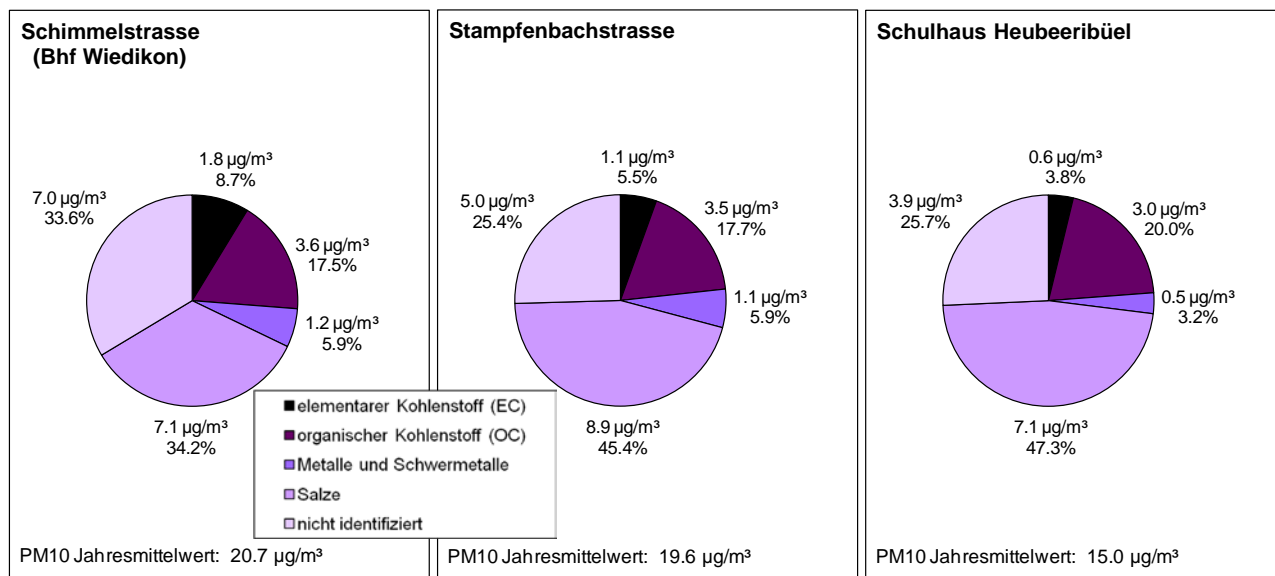


Abb. 22 Zusammensetzung von Feinstaub PM10 an den städtischen Messstationen

5.4 Ozon

Ozon ist eines der wichtigsten Spurengase in der Atmosphäre. Das natürliche Vorkommen von Ozon in der unteren Stratosphäre in 20 bis 30 km Höhe (Ozonschicht) schützt die Erdoberfläche vor der schädlichen Ultraviolettstrahlung der Sonne. Auch in der erdnahen Atmosphäre (Troposphäre) kommt Ozon in relativ tiefen Konzentrationen natürlicherweise vor (in unseren Breiten etwa 30 bis 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Stark erhöhte Ozonkonzentrationen treten in Bodennähe typischerweise während anhaltender, sommerlicher Schönwetterperioden bei hohen Temperaturen auf. Während solcher Phasen werden Ozon, weitere Oxidantien (oxidierend wirkende Substanzen) und so genannte sekundäre Aerosole (Partikel) durch komplizierte photochemische Prozesse aus Vorläuferschadstoffen gebildet. Ozon wird allgemein als Leitsubstanz für Sommer- oder Photosmog betrachtet.

Ozon ist ein typischer sekundärer Luftschadstoff, es entsteht erst in der Atmosphäre aus der chemischen Umwandlung anderer Schadstoffe. Es gibt keine nennenswerten Quellen, welche Ozon direkt in die Luft abgeben. Die wichtigsten Ozonvorläufer sind Stickoxide (NO_x) und flüchtige organische Verbindungen (VOC). Aus den Auspuffen der Motorfahrzeuge wird ein ideales Gemisch der beiden Ozonvorläuferschadstoffe ausgestossen. Auch mengenmässig sind die Beiträge des motorisierten Strassenverkehrs an der NO_x - und VOC-Gesamtemission bedeutend. Obwohl heute praktisch nur noch Katalysatorfahrzeuge im Verkehr sind, beträgt in der Stadt Zürich der Anteil des Strassenverkehrs an den NO_x -Emissionen im Jahresmittel 60%. In den entscheidenden Sommermonaten, wenn ein Grossteil der Feuerungsanlagen ausser Betrieb ist, steigt diese Quote auf mindestens 70%. Bei den VOC-Emissionen stammen rund 36% der totalen Emissionen aus dem Strassenverkehr - Auspuff und Verdampfungsverluste abgestellter Fahrzeuge (Abschätzungen auf Basis [18]). Allerdings gehört ein grosser Teil der von Benzinfahrzeugen emittierten VOC zu den VOC-Verbindungen mit dem höchsten Ozonbildungspotential.

Voraussetzung für eine Anreicherung des Ozons mit entsprechend hohen Spitzenbelastungen ist eine mehrere Tage andauernde stabile Hitzeperiode (meist Hochdruckwetterlagen). Die Ozonbildung setzt während des Transports des Vorläufergemisches in der Abluffahne ein, weshalb die Höchstbelastungen nicht im Quellgebiet der NO_x - und VOC-Emissionen auftreten. Stickoxide in Form von Stickstoffmonoxid (NO) führen zudem zu einem vorübergehenden Ozonabbau in

unmittelbarer Quellennähe. So liegt die Zahl der Überschreitungen des Stundengrenzwerts im Nahbereich stark befahrener Strassen deutlich tiefer (Abb. 23).

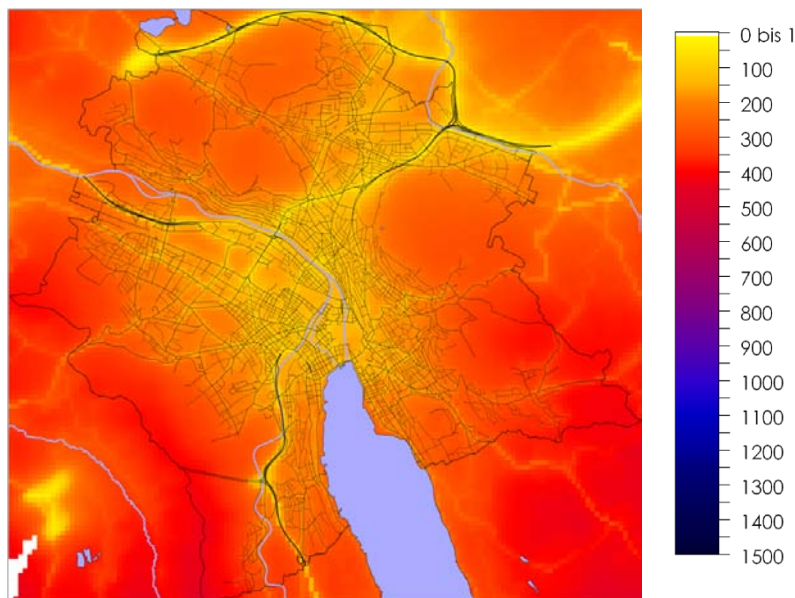


Abb. 23 Anzahl Überschreitungen des Ozon-Stundengrenzwerts 2012

Die geringere Belastung in Quellennähe darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass dem motorisierten Strassenverkehr die entscheidende Bedeutung bei der Ozonbildung zukommt.

Ozon ist in höheren Luftschichten der Troposphäre relativ langlebig und kann, abhängig von der Wetterlage, über weite Strecken transportiert werden. So tragen die Emissionen der Vortage aus dem Rest der Schweiz und unseren Nachbarländern beträchtlich zur Ozonimmission in der Schweiz bei. Gemäss neuesten Erkenntnissen tragen die Emissionen der gesamten Nordhalbkugel der Erde zur Ozonbelastung in der freien Troposphäre bei. Durch vertikale Austausch- und Mischprozesse gelangt das Ozon aus der Höhe auch in die bodennahen Luftmassen. Zusammen mit den natürlichen Beiträgen führt dies zu einer hohen Grundbelastung, die nicht durch lokale Emissionen verursacht wird und auch nicht durch lokale Massnahmen beeinflusst werden kann.

Die schädlichen Effekte von Ozon auf Menschen, Tiere und Pflanzen beruhen auf seiner hohen Oxidationskraft. Ozon und die anderen Photooxidantien entfalten ihre Wirkung am Ort ihres Auftreffens, also beispielsweise im Gewebe des Atemtraktes oder dem Blattwerk von Pflanzen. Die geringe Wasserlöslichkeit von Ozon führt zu einem tiefen Eindringen in die Lunge und zum Kontakt mit Gewebe, welches nicht durch eine Schleimschicht geschützt ist. Erste akute Wirkungen können bei empfindlichen Personen bereits ab einer Ozon-Belastung von 100 bis 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ auftreten. Deshalb wurde der Stundengrenzwert der LRV für Ozon bei 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, da sich gemäss Umweltschutzgesetz [1] die Grenzwerte an derartigen Wirkungsschwellen zu orientieren haben.

Mit zunehmender Ozon-Belastung über dem Grenzwert nimmt auch das Risiko schädlicher Auswirkungen zu. Steigen die Ozonbelastungen über den Grenzwert an, so besteht mit zunehmender Höhe der Konzentrationen auch ein zunehmendes Risiko für schädliche Auswirkungen.

Die Empfindlichkeit gegenüber Ozon ist von Mensch zu Mensch sehr unterschiedlich. Als Symptome des Sommersmogs können bei empfindlichen Personen Reizungen der Atemwege (z.B. Kratzen und Brennen im Hals), Augenbrennen und Kopfschmerzen auftreten. Diese Beeinträchtigungen hängen von der Dauer des Aufenthalts in der mit Ozon belasteten Aussenluft ab. Bei höheren Ozonkonzentrationen – im Bereich 180 bis 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – kann es bei mehrstündigem Aufenthalt im Freien und bei gleichzeitiger reger körperlicher Aktivität zu Einschränkungen der Lungenfunktion kommen. Dies vermindert vorübergehend die körperliche Ausdauerfähigkeit.

5.4.1 Langzeitentwicklung

Zur Beurteilung der Langzeitbelastung dient der 98-Perzentilwert eines Monats - 98% aller gemessenen Halbstundenmittelwerte eines Monats für Ozon liegen unter diesem Wert.

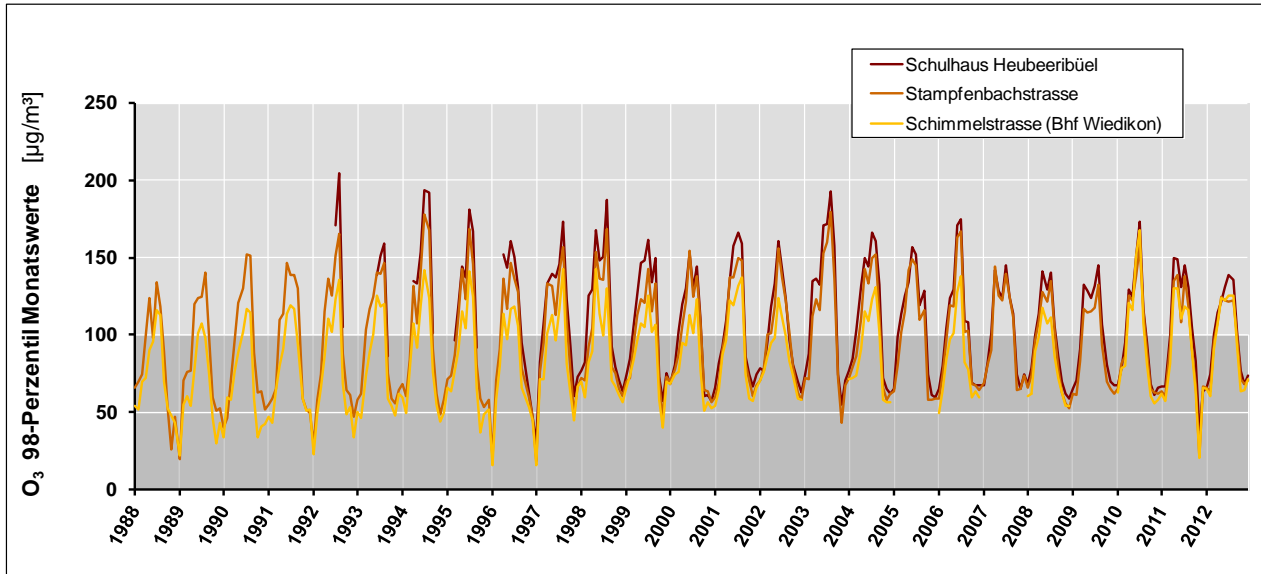


Abb. 24 98%-Monatswerte für Ozon ab Messbeginn an den städtischen Messstationen

Wird die Langzeitentwicklung der 98-Perzentilwerte betrachtet (Abb. 24), so scheint sich eine Abnahme der Ozonbelastung über die Jahre abzuzeichnen.

Dieser scheinbare Trend bietet Anlass, die Ozon­daten von einer anderen Seite zu betrachten. Es wird angenommen, dass Ozon­günstige Tage durch eine Überschreitung des Stundengrenzwerts an der am stärksten durch Ozon belasteten Messstation beim Schulhaus Heubeeribüel indiziert werden. Wird der Mittelwert der maximalen Ozon-Stundenmittelwerte dieser Tage über die Jahre und alle Messstationen gebildet, bestätigt sich dieser Trend zu tieferen Ozon-Spitzenbelastungen.

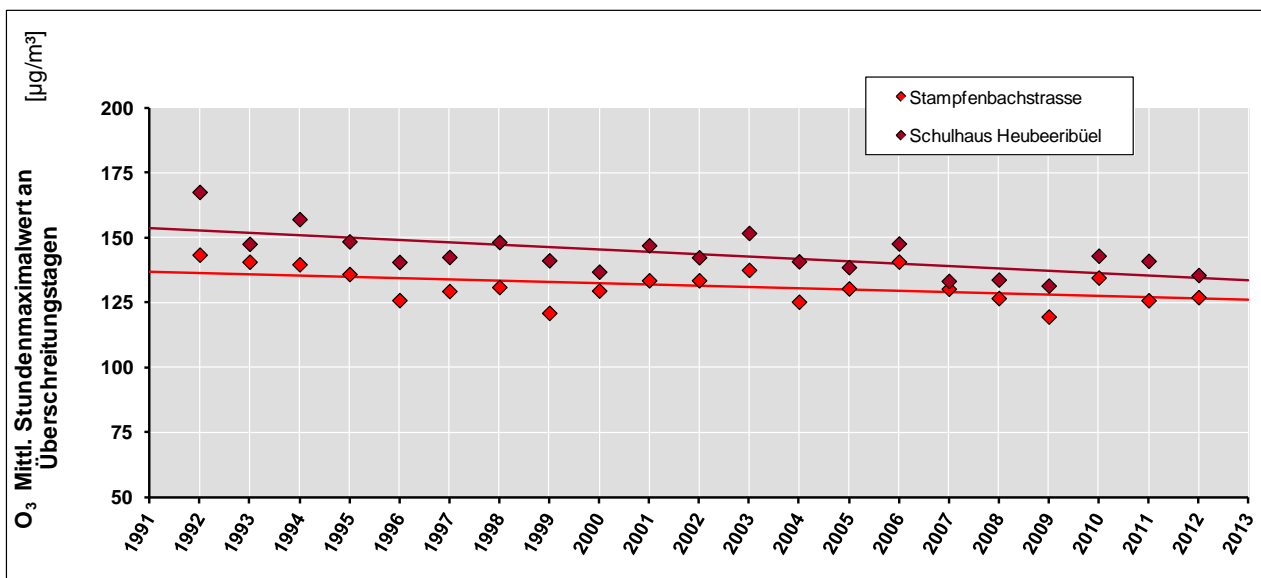


Abb. 25 Entwicklung der mittleren Maximalbelastung an den durchgehend gemessenen Messorten in der Stadt

Die mittleren Spitzenbelastungen haben im Beobachtungszeitraum beim Schulhaus Heubeeribüel um $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, an der Stampfenbachstrasse um $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jährlich abgenommen. Am stark verkehrsexponierten Messort Schimmelstrasse hat sich nach der Eröffnung der Westumfahrung Zürich die Verkehrssituation so verändert, dass eine derartige Auswertung nicht mehr möglich ist.

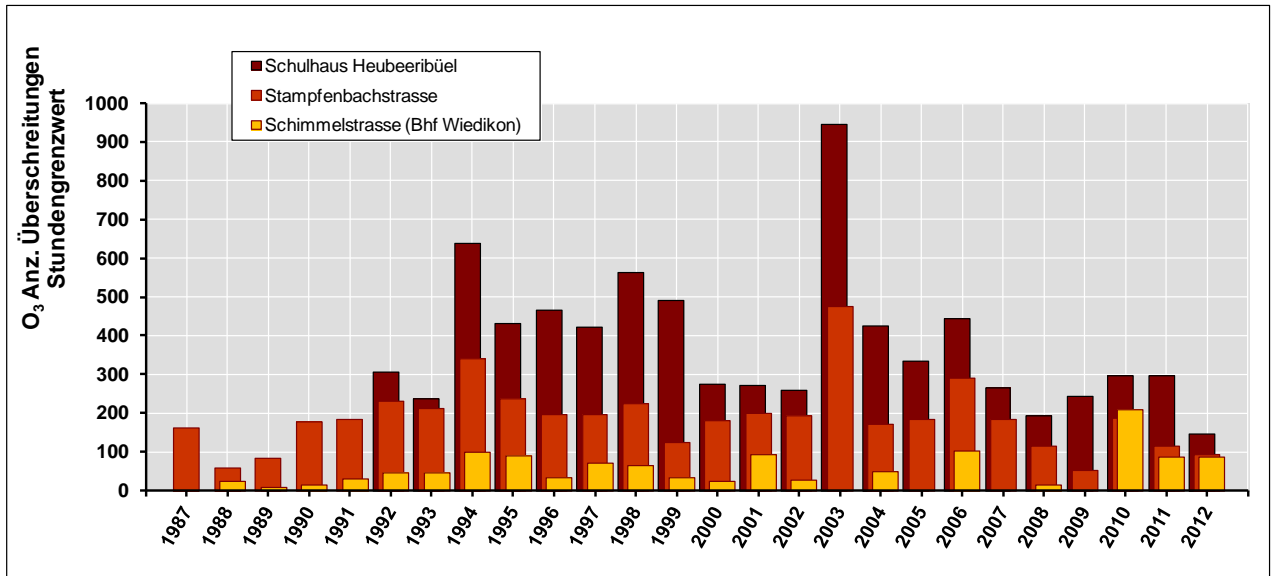


Abb. 26 Anzahl Überschreitungen des Ozon-Kurzzeit-Grenzwerts von 1987 bis 2012

5.4.2 Luftbelastung 2012

Auf Grund der ausgeprägten Wetterabhängigkeit schwankt die Ozonbelastung von Jahr zu Jahr. Das Ausbleiben lang anhaltender, hochsommerlicher Wetterlagen 2012 schlägt sich auch in der geringen Zahl der Überschreitungen des Stundengrenzwerts für Ozon nieder.

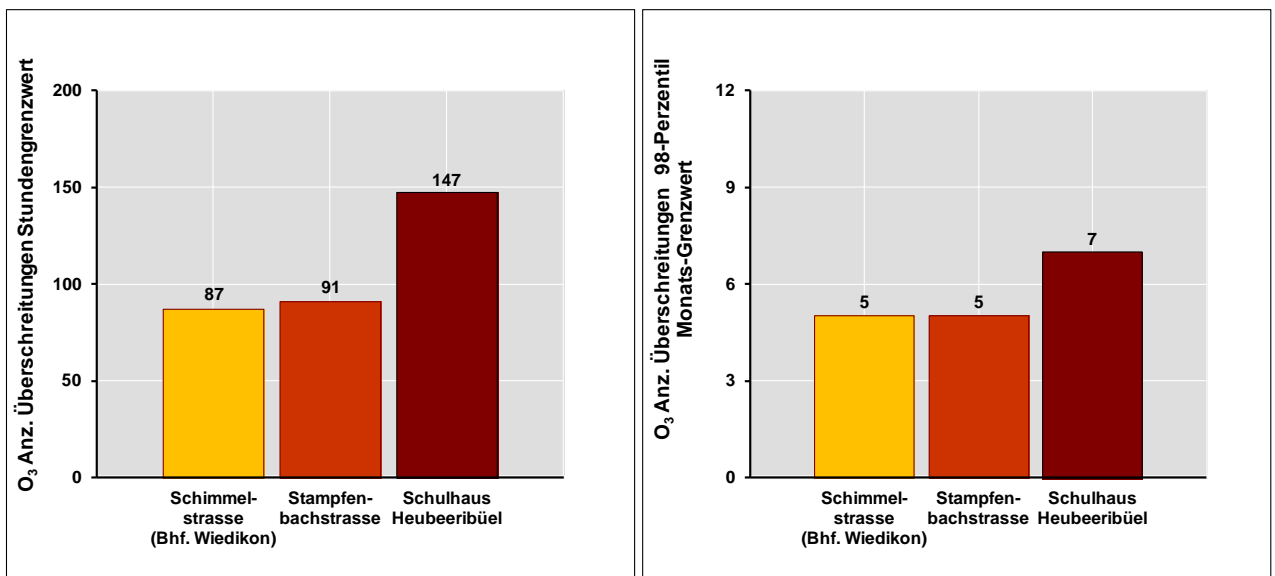


Abb. 27 Anzahl Überschreitungen des Stunden- und Monatsgrenzwerts 2012 für Ozon an den städtischen Messstationen

5.5 Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid (CO) entsteht bei Verbrennungsprozessen, wenn nicht genügend Sauerstoff für eine «vollständige» Verbrennung vorhanden ist. Es kann in fast allen Verbrennungsabgasen nachgewiesen werden.

Bei Mensch und Tier wirkt es als Atemgift, da es sich 200-300-mal stärker als der Sauerstoff an das Hämoglobin, den roten Blutfarbstoff, anlagert und so die Sauerstoffaufnahme im Blut bereits bei relativ niedrigen Konzentrationen behindert. In höheren Konzentrationen wirkt CO bei Mensch und Tier als tödliches Atemgift.

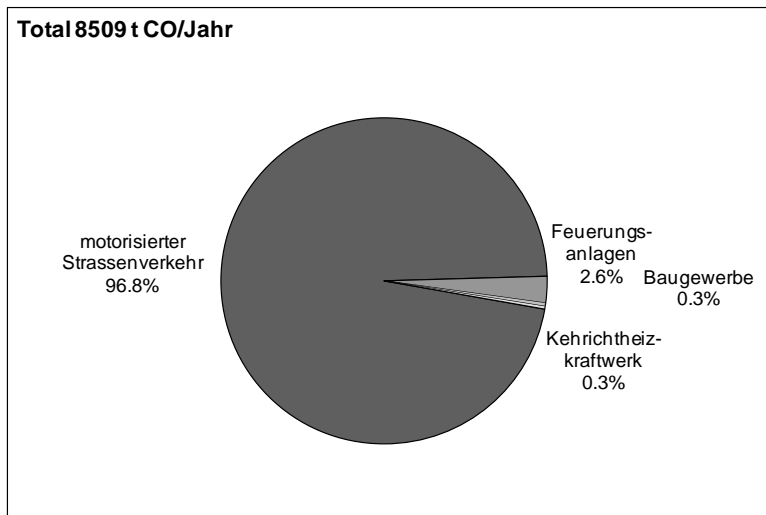


Abb. 28 CO Emissionen nach Verursachern in der Stadt Zürich 2005

In der Stadt Zürich wird Kohlenmonoxid zu 97 % vom motorisierten Strassenverkehr emittiert und ist deshalb ein typischer Leitschadstoff des motorisierten Verkehrs. Der Rest stammt aus Feuerungsanlagen, gewerblichen Maschinen und der Kehrichtverbrennung.

5.5.1 Langzeitentwicklung

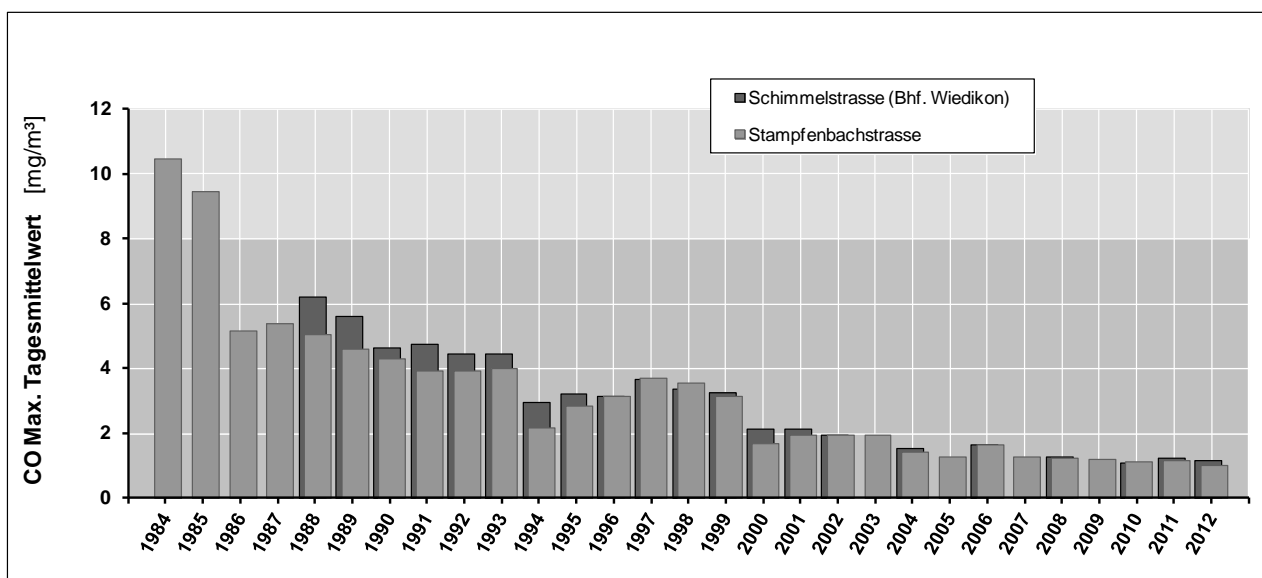


Abb. 29 Entwicklung der maximale Tagesmittelwerte für Kohlenmonoxid an den städtischen Messstationen

Die Belastungen haben in der Stadt Zürich seit Mitte der 80er-Jahre kontinuierlich abgenommen. Seit 1986 wurden keine Überschreitungen des Grenzwerts für das Tagesmittel mehr registriert. Diese positive Entwicklung ist auf die schrittweise Verschärfung der Abgasvorschriften (Katalysator für Motorfahrzeuge) und der damit notwendig gewordenen motorseitigen, technischen Optimierungen zurückzuführen. Der CO-Ausstoss wird in Folge der Erneuerung der Fahrzeugflotte auch in kommenden Jahren noch weiter sinken, obwohl aktuelle, wie kommende EU-Abgasnormen (EURO 4 bis EURO 6) keine weitere Verschärfung der Emissionsvorschriften für CO vorsehen.

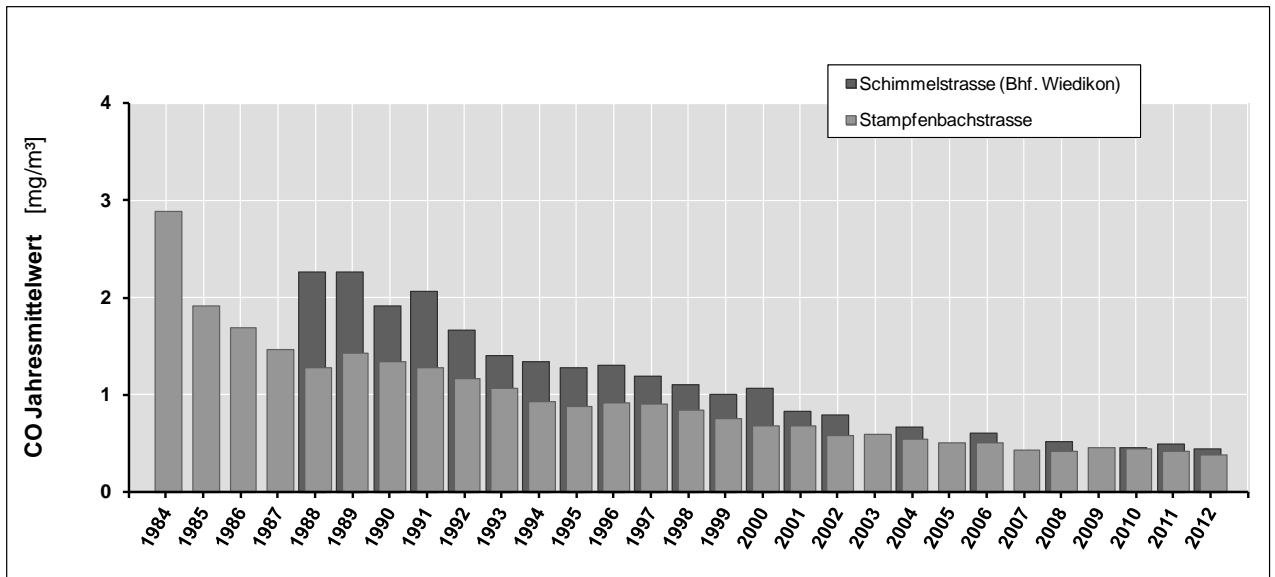


Abb. 30 Entwicklung der Jahresmittelwerte für Kohlenmonoxid an den städtischen Messstationen

5.5.2 Luftbelastung 2012

Die maximalen Tagesmittelwerte 2012 liegen an den Messorten Stampfenbachstrasse und Schimmelstrasse deutlich unter dem Grenzwert von 8 mg/m³

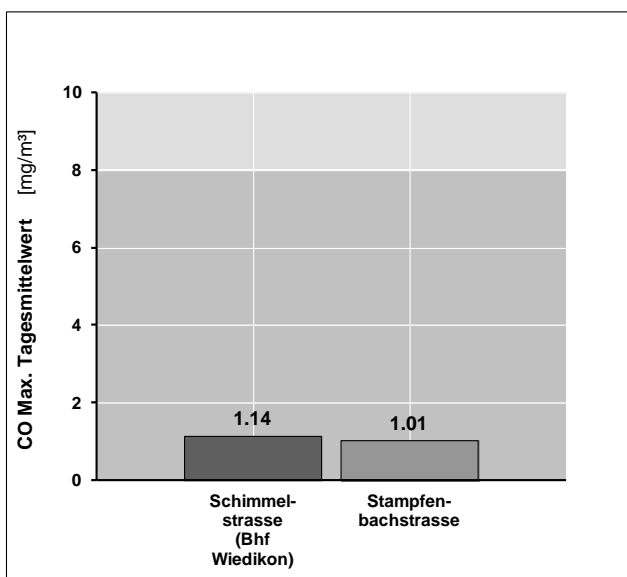


Abb. 31 Maximale Tagesmittelwerte 2012 für Kohlenmonoxid an den städtischen Messstationen

5.6 Schwefeldioxid

Alle fossilen Brenn- und Treibstoffe enthalten in unterschiedlichem Umfang Schwefelanteile. Bei ihrer Verbrennung entsteht Schwefeldioxid (SO_2). In der Stadt Zürich wird Schwefeldioxid zum grössten Teil aus Feuerungsanlagen freigesetzt (94%). Nur rund 1% des Schwefeldioxids stammt aus dem motorisierten Strassenverkehr, überwiegend von dieselbetriebenen Fahrzeugen. Schwefeldioxid ist der klassische Luftschadstoff des sauren Wintersmogs vergangener Jahrzehnte.

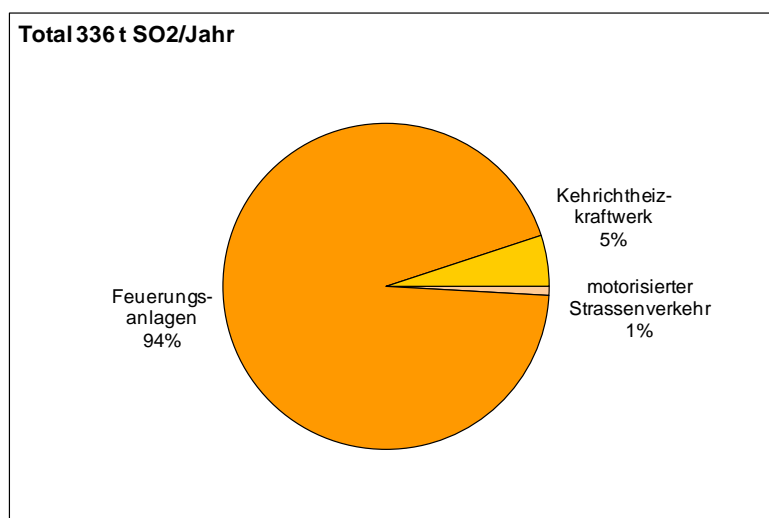


Abb. 32 SO_2 Emissionen nach Verursachern in der Stadt Zürich 2005

In Verbindung mit Wasser entstehen schweflige Säure und Schwefelsäure, wesentliche Bestandteile von saurem Regen. Schwefeldioxid kann Pflanzen durch Abbau des Blattgrüns (Chlorophyll) direkt schädigen. Der saure Niederschlag führt zu Versauerungen von Böden und Gewässern. Erhöhte Konzentrationen von Schwefeldioxid führen zu Reizungen der Augen und Schleimhäute und können zu Erkrankungen der Atemwege beitragen. Im Umfeld von industriellen Betrieben zur Kohleverarbeitung, beispielsweise bei der Herstellung von Grafit, können auch unangenehme Geruchsbelästigungen auftreten.

5.6.1 Langzeitentwicklung

Seit Beginn der Messungen in der Stadt Zürich in den frühen 70er-Jahren hat die Schwefeldioxid-Belastung kontinuierlich und deutlich abgenommen. Seit 1990 werden auch an stärker belasteten Messorten keine Überschreitungen des Grenzwerts für das Jahresmittel mehr registriert.

Diese starke Verbesserung ist insbesondere mit dem Ersatz von stark schwefelhaltigen Brennstoffen (Kohle, Schweröl) durch fossile Energieträger mit geringem Schwefelgehalt (Heizöl „Extra leicht“, Oekoöl und Erdgas) zu erklären. Die Lenkungsabgaben auf Heizöl „Extra leicht“ mit einem Schwefelgehalt von mehr als 0.1% [19] sowie auf Benzin und Diesel mit einem Schwefelgehalt von mehr als 0.001% [20] tragen dazu bei, den Schwefeldioxid-Ausstoss noch weiter zu senken. Für den störungsfreien Betrieb neuer Motoren- und Abgasbehandlungstechnologien sind zudem praktisch schwefelfreie Treibstoffe notwendig, da der Schwefel insbesondere auch auf die Partikelbildung einen grossen Einfluss hat.

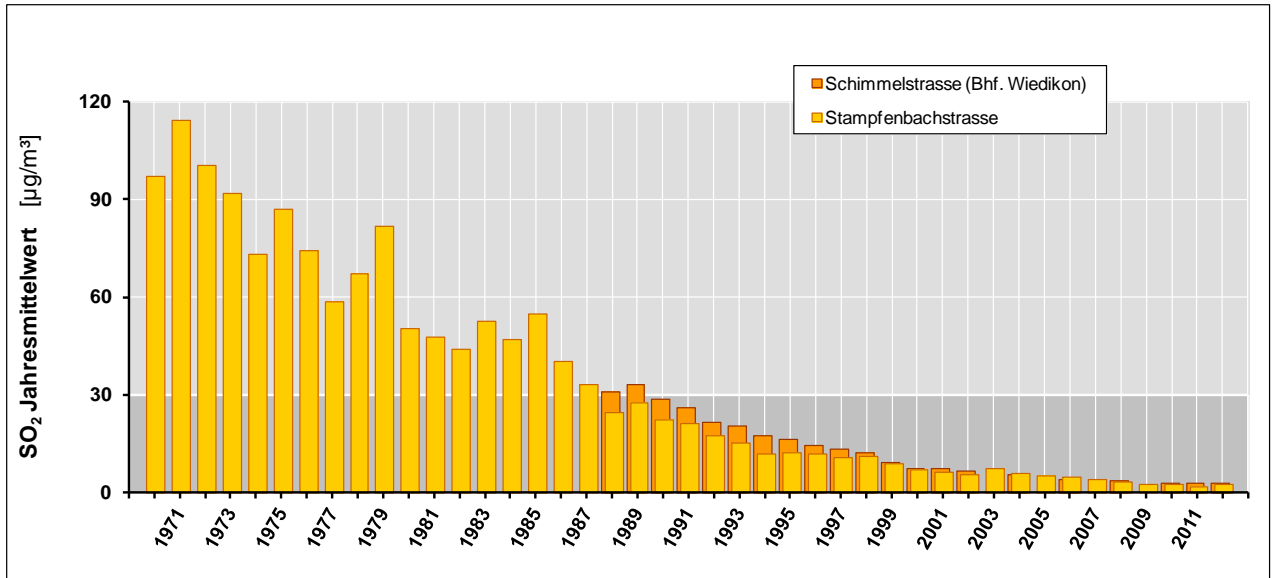


Abb. 33 Entwicklung der Jahresmittelwerte für Schwefeldioxid an den städtischen Messstationen

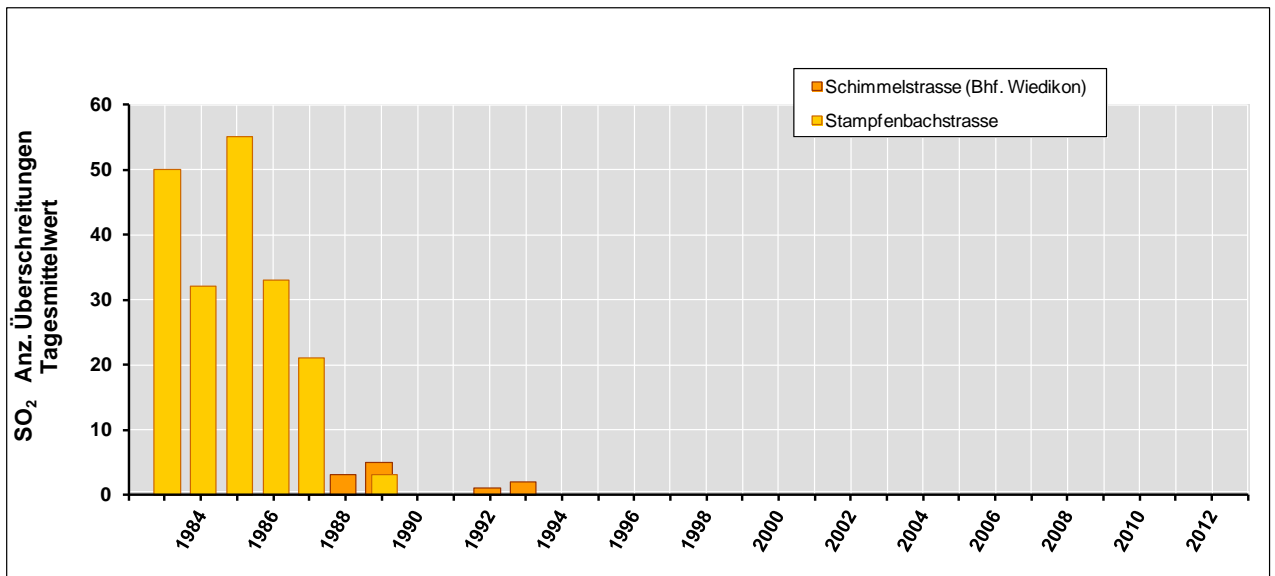


Abb. 34 Entwicklung der Anzahl Überschreitungen des Tagesmittel-Grenzwerts für Schwefeldioxid an den städtischen Messstationen

Die gesamtschweizerischen Emissionen liegen heute unter dem Stand von 1950. Die kritischen Belastungsgrenzen (critical loads) für den Säureeintrag in empfindliche Ökosysteme, wie beispielsweise Wälder, Hochmoore und alpine Bergseen im kristallinen Gebiet sind jedoch vielerorts noch überschritten. Die Immissionen von Schwefeldioxid stellen heute allenfalls noch ein lokales Problem im nahen Umfeld spezifischer Industriebetriebe dar, von denen in der Stadt Zürich keine mehr vorhanden sind.

5.6.2 Luftbelastung 2012

Die aktuellen Jahresbelastungen an den Messorten Stampfenbachstrasse und Schimmelstrasse sind minim und liegen deutlich unter dem Grenzwert. Überschreitungen des Tagesgrenzwerts sind seit Mitte der 90er Jahre keine mehr aufgetreten und auch in Zukunft nicht mehr zu erwarten.

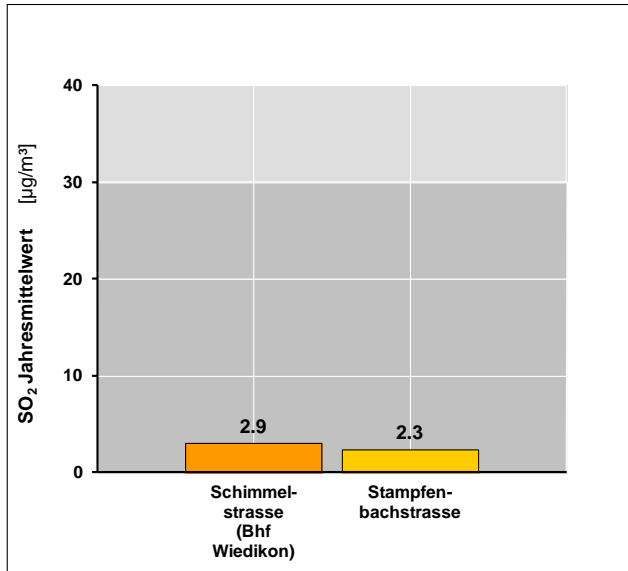


Abb. 35 Jahresmittelwerte 2012 für Schwefeldioxid an den städtischen Messstationen

5.7 Staubniederschlag

Die chemische Zusammensetzung des Staubniederschlags ist ähnlich komplex wie beim Feinstaub PM₁₀. Als Inhaltsstoffe relevant sind in erster Linie Schwermetalle und weitere persistente Stoffe mit einer Umwelt schädigenden Wirkung (z.B. Dioxine, polychlorierte Biphenyle). Da der Staubniederschlag aus Grobpartikeln besteht, die nicht eingeatmet werden, hat er kaum direkte Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Indirekt stellen die Schwermetalle im Staubniederschlag jedoch ein Gesundheitsrisiko dar, da sie sich in Boden und Pflanzen anreichern und über die Nahrungskette aufgenommen werden können. Mit der Festsetzung von Grenzwerten für Blei (Pb), Cadmium (Cd), Zink (Zn) und Thallium (Tl) in der LRV sollen die Einträge begrenzt und damit der Boden vor Langzeitschäden geschützt werden.

5.7.1 Langzeitentwicklung

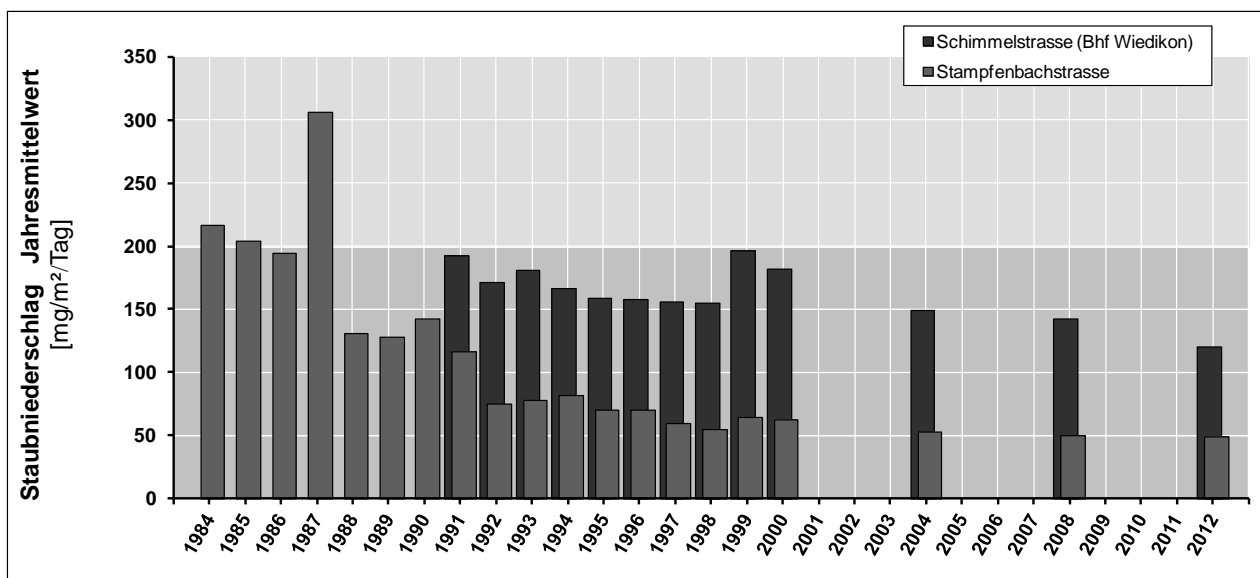


Abb. 36 Entwicklung der Bodenbelastung durch Staubniederschlag in der Stadt Zürich seit Messbeginn

Der Staubeintrag in den Boden hat in den letzten 30 Jahren kontinuierlich abgenommen und liegt aktuell auf dem tiefsten Stand seit Beginn der Messungen. Seit dem Jahr 2000 wird der Staubniederschlag und seine Inhaltsstoffe nur noch im Rahmen der periodischen Messkampagnen erfasst.

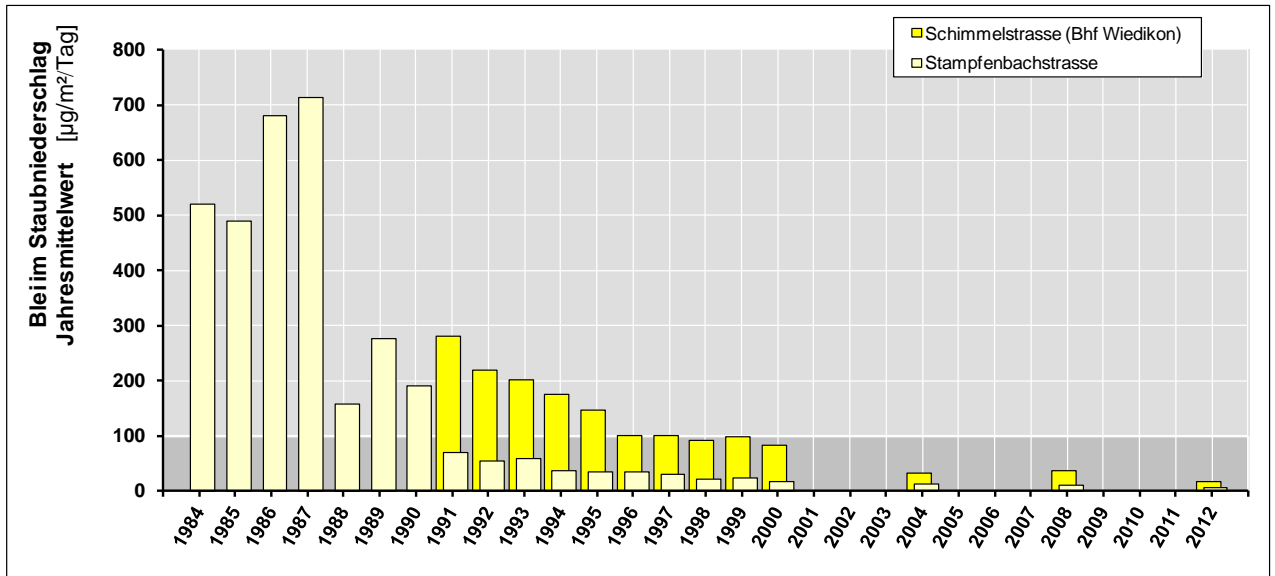


Abb. 37 Bleieintrag seit Messbeginn

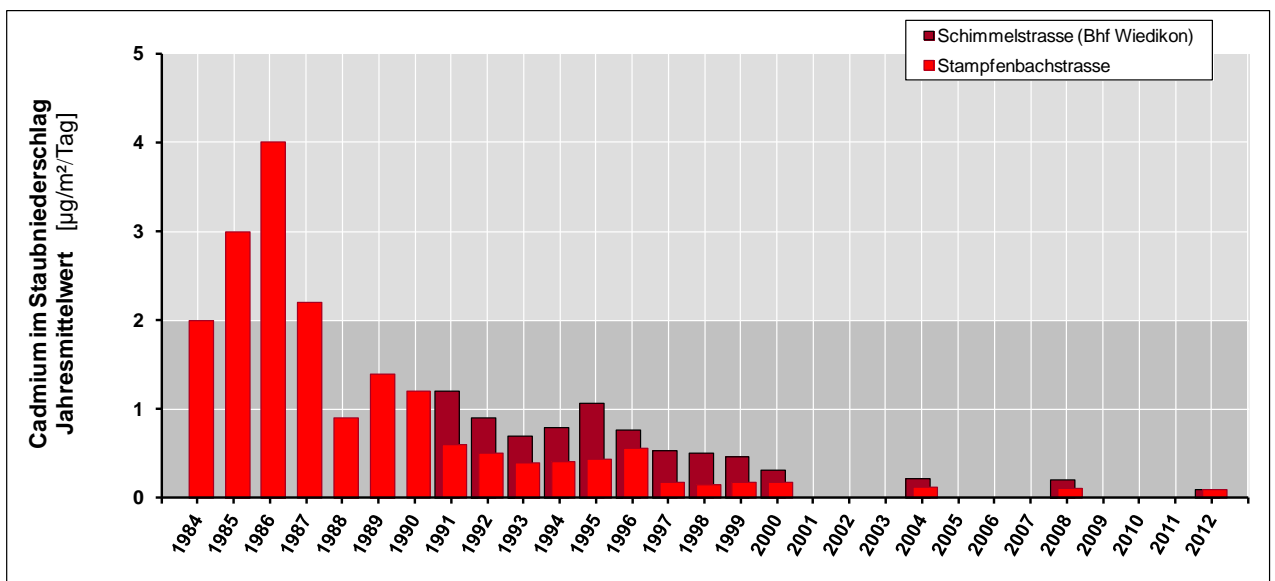


Abb. 38 Cadmumeintrag seit Messbeginn

Der Schwermetalleintrag von Blei und Cadmium hat im selben Zeitraum massiv abgenommen. Dies als Folge der konsequenten Elimination dieser Schwermetalle aus dem Alltagsgebrauch. Etwas anders sah die Situation beim Zinkeintrag aus. Noch im Rahmen der letzten Messkampagne 2008 wurde der Grenzwert für den Zinkeintrag am Messort Schimmelstrasse (Bhf Wiedikon) überschritten. Die Resultate der aktuellen Messkampagne zeigen auch an der stark befahrenen Schimmelstrasse eine Belastung, die deutlich unter dem Grenzwert liegt. Gegenüber 2008 hat sich die Zink-Belastung rund halbiert.

Die Ursache dafür wird wahrscheinlich im geringeren Anteil des stadtquerenden Schwerverkehrs nach Eröffnung der Zürcher Westumfahrung liegen.

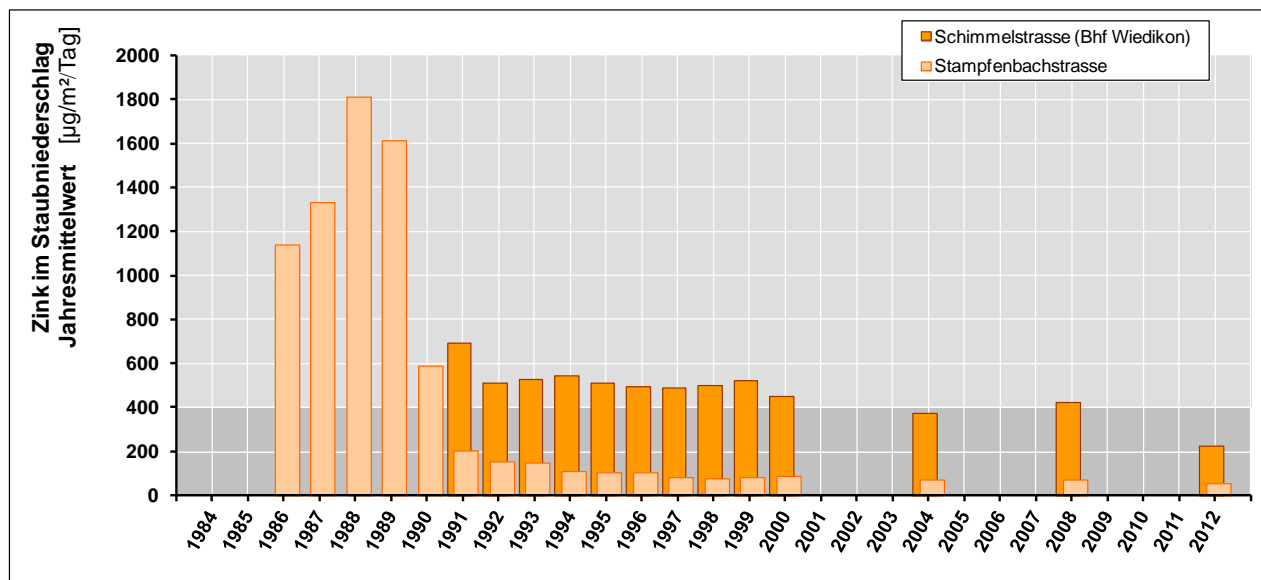


Abb. 39 Zinkeintrag seit Messbeginn

5.7.2 Luftbelastung 2012

Die Messwerte 2012 liegen sowohl für den Gesamt-Staubniederschlag, wie auch die Schwermetall-Einträge unter den entsprechenden Grenzwerten.

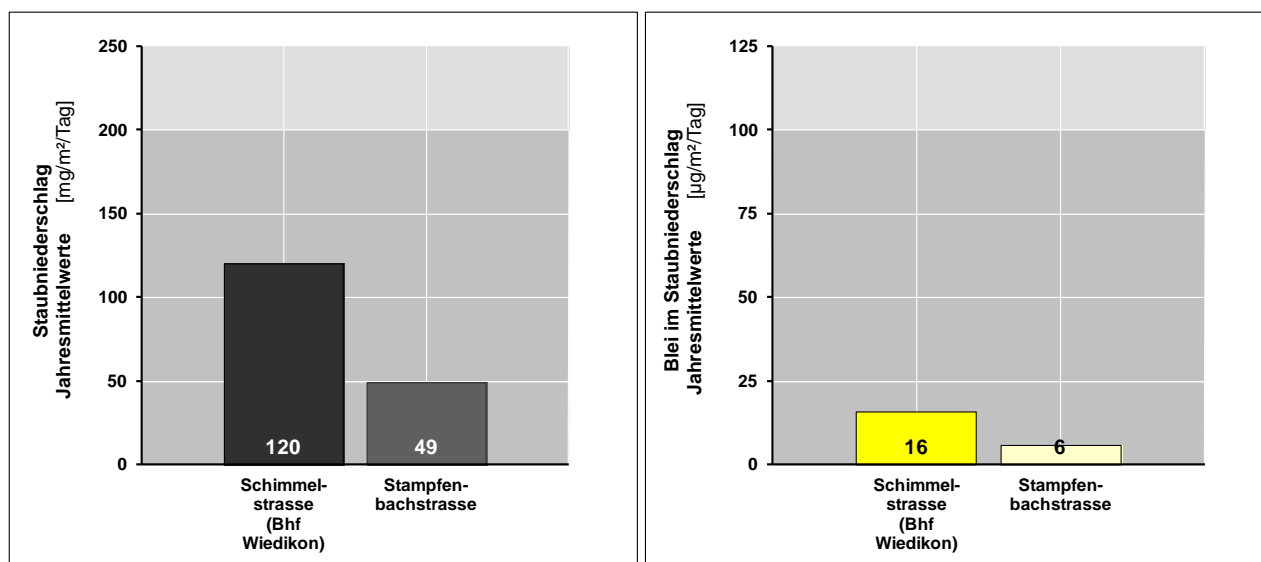


Abb. 40 Staubniederschlag und Blei im Staubniederschlag 2012

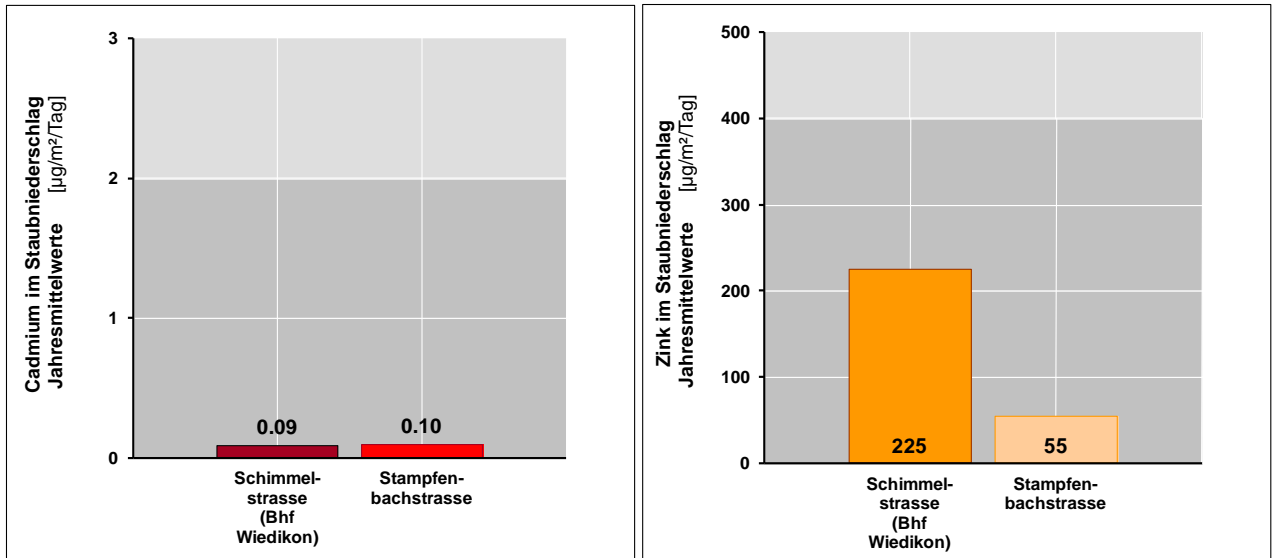


Abb. 41 Cadmium und Zink im Staubniederschlag 2012

5.8 Flüchtige organische Verbindungen

Flüchtige organische Verbindungen (VOC) sind neben Stickstoffdioxid wichtige Vorläufer zur sommerlichen Ozonbildung. Deshalb setzten sämtliche Strategien für Massnahmen zur Senkung der Ozonbelastung auch bei der Reduktion der Emission dieser Stoffe an.

Die Messdaten aller Messorte in der Stadt Zürich im Rahmen der letzten nationalen Messkampagnen [21, 22] zeigen zwischen 2001 und 2009 eine Reduktion der Luftbelastung durch VOC um rund die Hälfte.

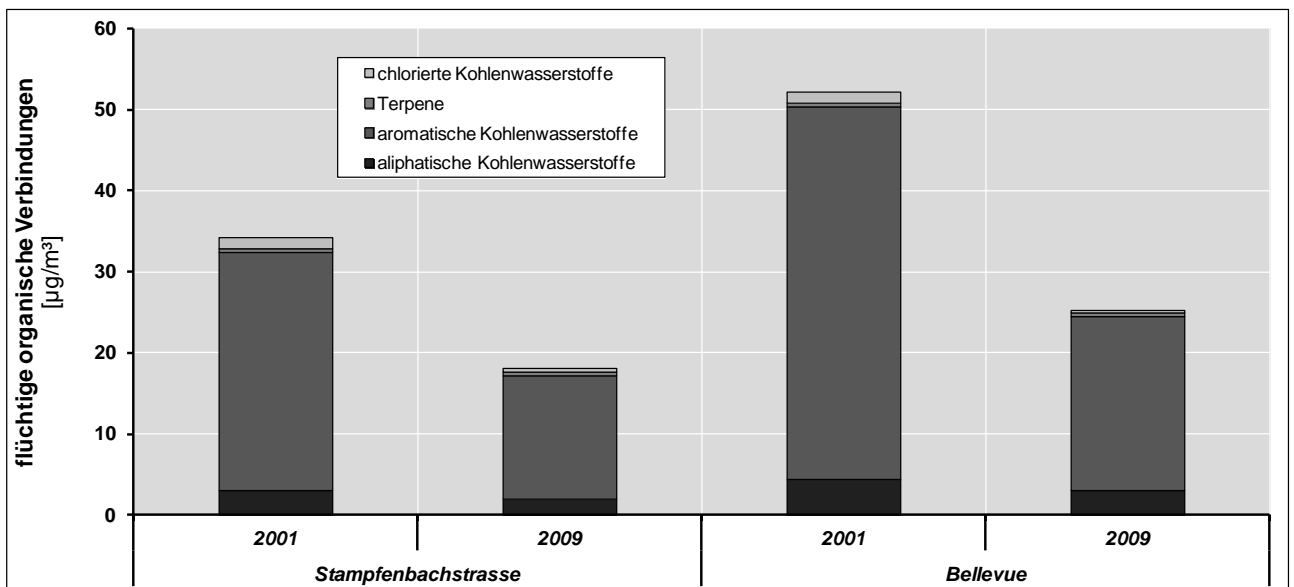


Abb. 42 Zusammensetzung und Vergleich der Belastung durch flüchtige organische Verbindungen zwischen 2001 und 2009

Im Spezialfall des krebserregenden Benzols hat sich die Luftbelastung zwischen 1994 [23] und 2009 um den Faktor 4 verringert. Die starke Abnahme ist einerseits auf die Einführung von Gasrückführungs-Systemen bei Tank- und Umfüllvorgängen und andererseits auf die Reduktion des maximal erlaubten Benzolgehalts im Treibstoff Benzin zurückzuführen.



Abb. 43 Benzolbelastung im Rahmen der bisherigen Messkampagnen

6 Westumfahrung und FlaMaWest

Mit der Eröffnung des Uetlibergtunnels der Zürcher Westumfahrung begannen die Bauarbeiten zur Umsetzung der flankierenden Massnahmen (FlaMaWest). Der Zweck dieser Massnahmen bestand darin, die ehemalige Transitachse Basel/Bern - Chur auf ein stadtverträgliches Mass zu reduzieren. Die Schwerpunkte der flankierenden Massnahmen lagen in den Quartieren Leimbach, Aussersihl und Zürich-West. Sie beinhalteten diverse, teils einschneidende Massnahmen wie den Rückbau zu einer Quartierstrasse (Weststrasse), Spurreduktionen und neue Verkehrsführungen (Seebahnstrasse). Sie sollen punktuell in das Verkehrssystem eingreifen, den Transitverkehr umlagern und den innerstädtischen Verkehr kanalisieren und verstetigen.

Derart einschneidende Änderungen in Verkehrsregimes haben entsprechende Folgen auf die Luftbelastung an den entsprechenden Strassenabschnitten. Aus diesem Grund wurden die flankierenden Massnahmen im Vorfeld und nach der Fertigstellung mit Messungen der Luftbelastung 2006 und 2012 begleitet [24].

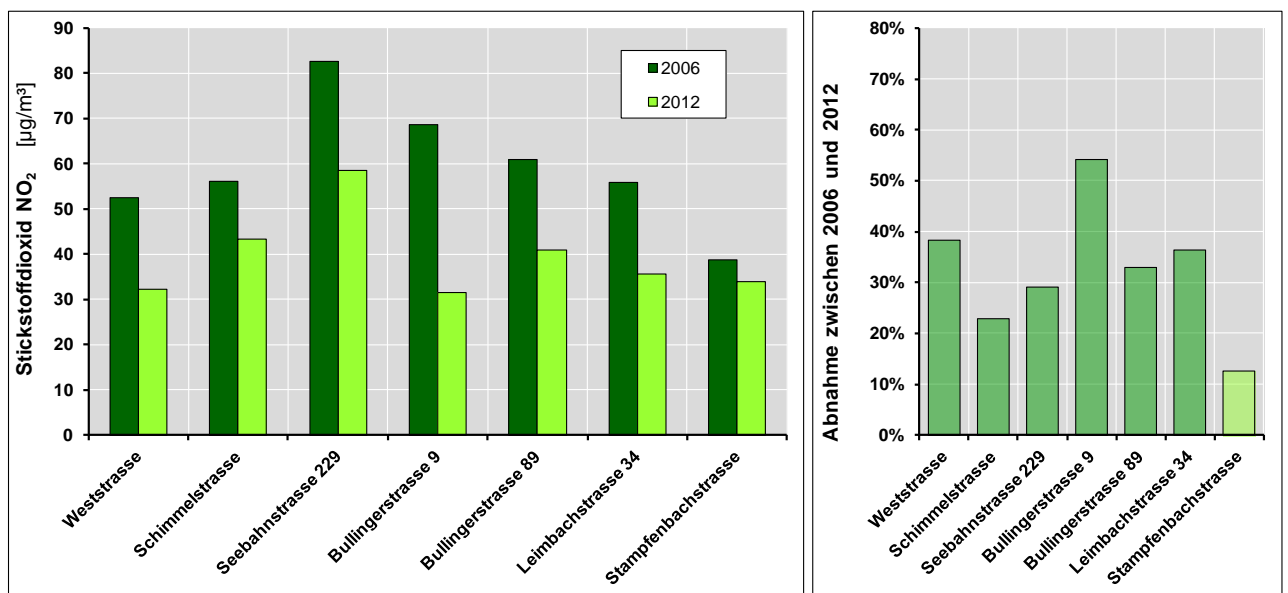


Abb. 44 Stickstoffdioxid-Belastung 2006 und 2012 einiger ausgewählter Messorte im Rahmen der Messungen zu den flankierenden Massnahmen West (Referenz-Messort Stampfenbachstrasse)

Der Vergleich der Messungen vor und nach Fertigstellung der Zürcher Westumfahrung und der flankierenden Massnahmen West zeigt insbesondere beim Stickstoffdioxid NO₂ bei vielen der direkt betroffenen Strassen und Strassenabschnitte eine deutliche Verbesserung der Luftbelastung. Eher unerwartet ist in diesem Zusammenhang die Abnahme der Belastung am Messort Schimmelstrasse, bei denen das Verkehrsaufkommen in Folge der neuen Verkehrsführung (Gegenverkehr mit zusätzlicher Spur) angestiegen ist. Jedoch hat sich die Verkehrszusammensetzung durch die Verlagerung des Transit-Schwerverkehrs auf die Westumfahrung deutlich verändert. In der Summe resultiert auch an diesen Messorten eine deutliche Verbesserung der Luftbelastung, welche aber immer noch, teils massiv, über dem Grenzwert der Luftreinhalte-Verordnung von 30 µg/m³ liegt (Abb. 44).

Etwas weniger deutlich schlägt sich die Verbesserung beim den partikelförmigen Schadstoffen nieder. Dies hat einerseits damit zu tun, dass die Hintergrundbelastung gegenüber dem lokal verursachten Anteil dominiert (Feinstaub PM₁₀). Andererseits war das Jahr 2006 durch äusserst schadstoffbelastete Winterinversionslagen geprägt, welche an allen Messorten in der Stadt zu hohen Luftbelastungen führten. Trotzdem kann sowohl beim Feinstaub PM₁₀, als auch dem Anteil des elementaren Kohlenstoffs an PM₁₀ (EC), eine stärkere Abnahme der Luftbelastung beobachtet werden als am Vergleichsmessort Stampfenbachstrasse, welcher von den flankierenden Massnahmen nicht betroffen ist (Abb. 45 und Abb. 46).

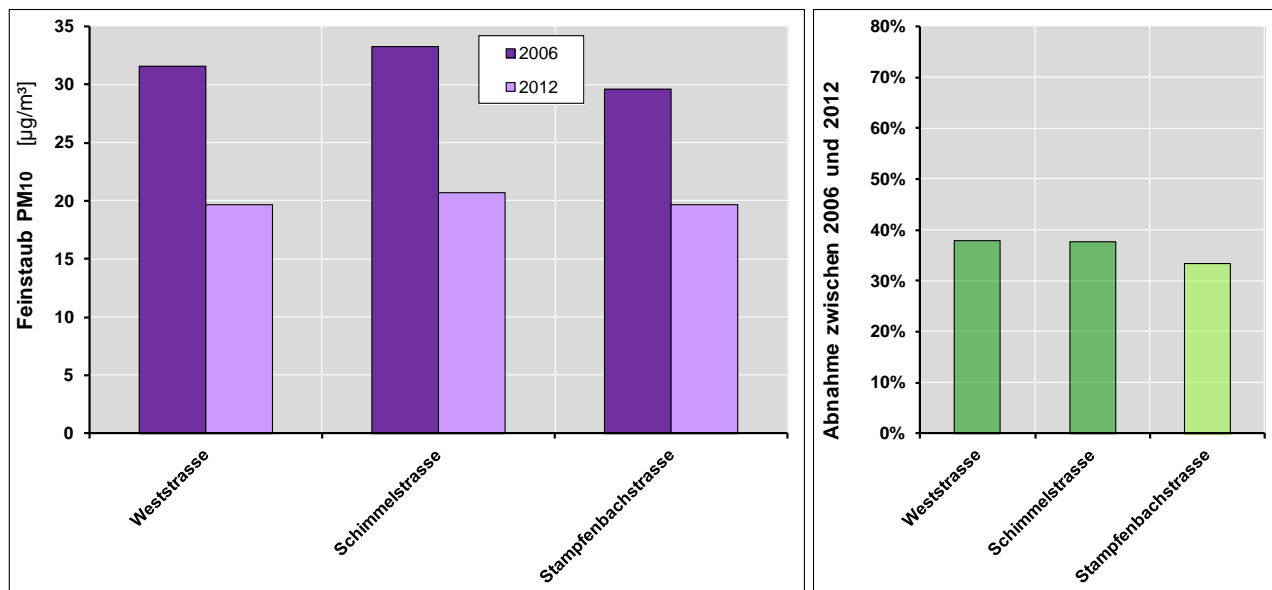


Abb. 45 Feinstaub PM10-Belastung 2006 und 2012 im Rahmen der Messungen zu den flankierenden Massnahmen West (Referenz-Messort Stampfenbachstrasse)

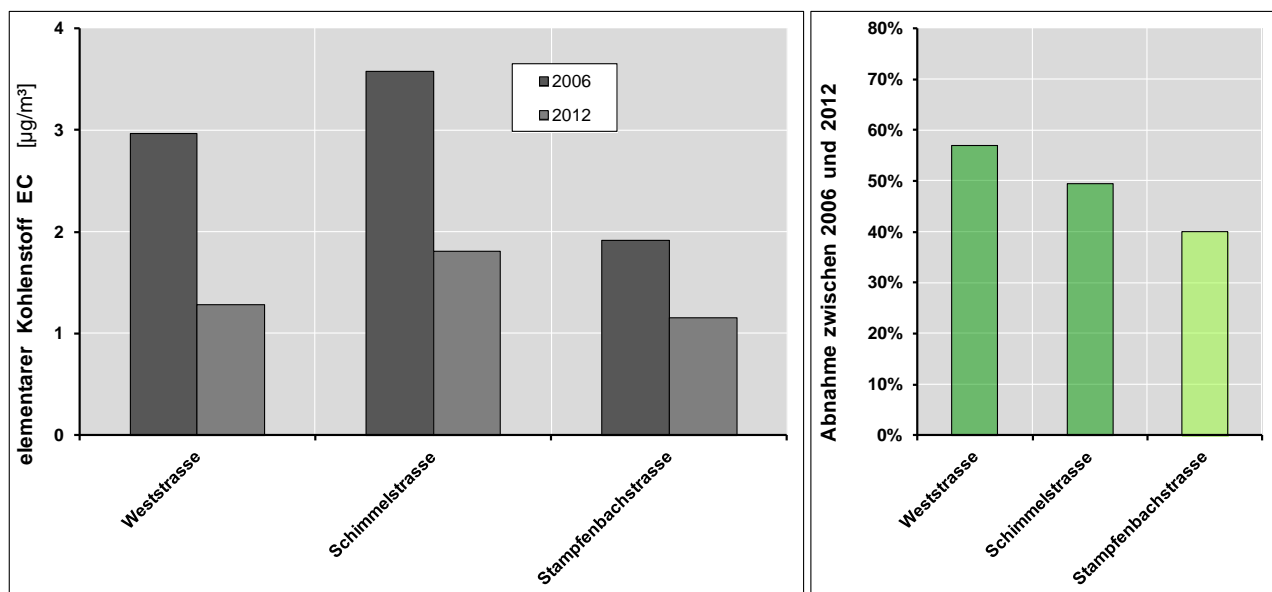


Abb. 46 Belastung durch elementaren Kohlenstoff EC 2006 und 2012 im Rahmen der Messungen zu den flankierenden Massnahmen West (Referenz-Messort Stampfenbachstrasse)

Durch Abklassierungen von Hauptverkehrsachsen zu Quartierstrassen, der daraus resultierenden Reduktion des Verkehrsaufkommens und Verlagerung des Transit-Schwerverkehrs auf Verkehrsachsen am Rand und ausserhalb des Stadtzentrums lassen sich deutliche Verbesserungen bezüglich der Luftbelastung an den entsprechenden Strassen erreichen.

7 Literatur

- [1] Schweiz. Eidgenossenschaft, Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG), Stand am 1. August 2010, SR 814.01, EDMZ, Bern, 1983, www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.01.de.pdf
- [2] Schweiz. Eidgenossenschaft, Luftreinhalte-Verordnung (LRV), Stand am 15. Juli 2010, SR 814.318.142.1, EDMZ, Bern, 1985, www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.318.142.1.de.pdf
- [3] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Luftbelastung in der Stadt Zürich 1982/83, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Zürich, 1983
- [4] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Luftbelastung in der Stadt Zürich - Resultate 1989/90, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Zürich, 1990
- [5] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Luftbelastung in der Stadt Zürich - Resultate der Messkampagne 1994/95, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Zürich, 1995
- [6] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Fachbereich Labor, Luftbilanz Stadt Zürich 2000, im Auftrag Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Zürich, 2001
- [7] E. D. Palmes und A. F. Gunnison, Personal Monitoring Device for Gaseous Contaminants, 1973
- [8] J. Brunner und S. 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
- [9] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Fachbereich Labor, Luftbilanz Stadt Zürich 2004, im Auftrag Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Zürich, 2007
- [10] J. Brunner und M. Scheller, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Luftbilanz Stadt Zürich 2008 - Resultate der flächendeckenden Messkampagne, 20091206, Zürich, 2009, http://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/gud/Deutsch/Umwelt/Luft/Immissionen/Publikationen%20und%20Broschueren/ugz_umw_la_20091206_luftbilanz%202008.pdf
- [11] OSTLUFT, Emissionskataster OSTLUFT, 2011
- [12] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), NOx-Emissionsreduktionen in der Stadt Zürich 1990 bis 2000 nach Verursachergruppen, 2000
- [13] E. D. Palmes et al., Personal Sampler for Nitrogen Dioxide, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **37**, (10), 570 - 577, 1976
- [14] BUWAL, Schwebestaub - Messung und gesundheitliche Bewertung, Schriftreihe Umwelt, Bd. Nr. 270, BUWAL, 1996
- [15] 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
- [16] 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
- [17] SUVA, Grenzwerte am Arbeitsplatz 2013, 2013, www.suva.ch/waswo/1903.d
- [18] BAFU, Flüchtige organische Verbindungen (VOC) - Anthropogene VOC-Emissionen Schweiz 1998, 2001 und 2004 2007, <http://www.bafu.admin.ch/voc/01265/index.html?lang=de>
- [19] Schweiz. Eidgenossenschaft, Verordnung über die Lenkungsabgabe auf «Heizöl Extraleicht» mit einem Schwefelgehalt von mehr als 0,1 Prozent (HELV), Stand am 1. Januar 2009, SR 814.019, EDMZ, Bern, 1997, <http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.019.de.pdf>
- [20] Schweiz. Eidgenossenschaft, Verordnung über die Lenkungsabgabe auf Benzin und Dieselöl mit einem Schwefelgehalt von mehr als 0,001 Prozent (BDSV), Stand am 1. Januar 2009, SR 814.020, EDMZ, Bern, 2003, <http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.020.de.pdf>

- [21] Carbotech AG, VOC-Immissionsmessungen in der Schweiz 2001, im Auftrag BUWAL, Basel, 2002
- [22] Carbotech AG, VOC-Immissionsmessungen in der Schweiz 2009, Basel, 2011
- [23] J. Brunner, Luftbelastung durch flüchtige organische Verbindungen in der Stadt Zürich, im Auftrag Amt für Gesundheit und Umwelt (AGU) der Stadt Zürich, Zürich, 1997
- [24] M. Scheller, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Westumfahrung und flankierende Massnahmen - Lufthygienische Beurteilung in der Stadt Zürich - Messungen zwischen 2006 und 2012, 20130728, Zürich, 2013
- [25] Neosys AG, Emissionen des Strassenverkehrs in der Stadt Zürich 2004, im Auftrag Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Gerlafingen, 2005
- [26] M. Scheller, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Abstandsversuche mit NO₂-Passivsammlern, 20060913, Zürich, 2006
- [27] E. Parlow et al., Klimaanalyse der Stadt Zürich (KLAZ) - Abschlussbericht Phase 1, im Auftrag Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Basel/Berlin, 2008

Anhänge

A1 Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung [2]

Schadstoff	Immissionsgrenzwert	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
Schwebestaub ¹ PM10	20 µg/m ³ 50 µg/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert) 24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Blei (Pb) im Schwebestaub PM10	500 ng/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Schwebestaub 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)
<p><i>Hinweis:</i> 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».</p> <p>¹ Feindisperse Schwebestoffe mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm.</p>		

Die Immissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe sind gemäss Artikel 14 des schweizerischen Umweltschutzgesetzes (USG) [1] 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 Krisensituationen dienen Alarmwerte oft zur Auslösung von Sofortmassnahmen, wie z.B. Teil-Fahrverbote und/oder Betriebsschliessungen. Damit soll versucht werden, den Schaden einigermaßen 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 Wie sind die Diagramme zu interpretieren?

In allen Grafiken der Schadstoffbelastungen ist der entsprechende Grenzwert der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) in dunklem Grau hinterlegt.

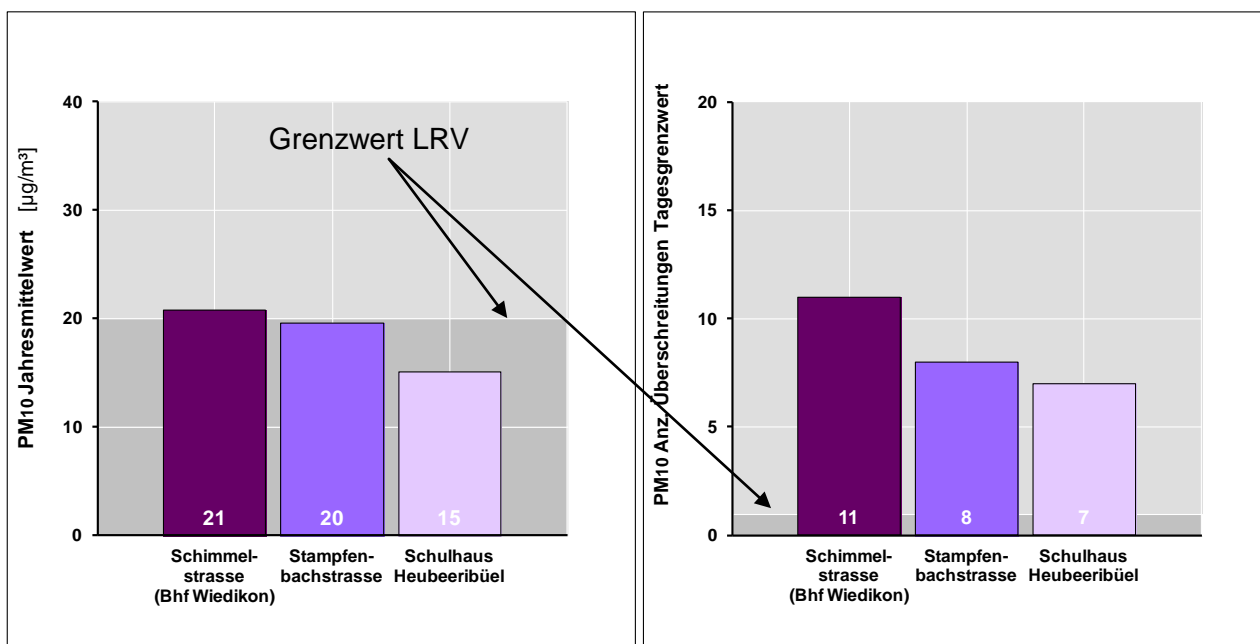


Abb. 47 Beispielgrafiken

A3 Systematik der Messortbeschreibung




Die bisherige subjektive Einteilung der Messorte wurde für die Messkampagne 2008 durch eine systematische Einteilung ersetzt. Dabei sollten Verkehrs- und Siedlungseinfluss separat nach festen Kriterien ermittelt werden. Der Verkehrseinfluss definiert, wie stark die Luftbelastung an einem Messort vom Verkehr umliegender, stark befahrener Strassen beeinflusst wird. Analog gibt der Siedlungseinfluss Auskunft über den Beitrag von stationären Anlagen zur Luftbelastung an einem Messort. Je höher die Emissionen stationärer Anlagen, umso höher der Siedlungseinfluss auf die Luftbelastung.

A3.1 Bestimmung des Verkehrseinfluss

Basis zur Bestimmung des Verkehrseinfluss bildet der durchschnittliche tägliche Verkehr, wobei schwere Nutzfahrzeuge (SNF) gegenüber einem Privatwagen (PW) mit 10-fachem Gewicht einbezogen werden.

$$DTV_S = DTV_{PW} + 10 \cdot DTV_{SNF}$$

Die Klassierung für einen Messort am Strassenrand erfolgte direkt auf der Basis des DTV_S nach folgenden Kriterien:

	kein bis geringer Verkehrseinfluss	$DTV_S \leq 1'000$
	mässiger Verkehrseinfluss	$1'000 < DTV_S \leq 10'000$
	starker Verkehrseinfluss	$10'000 < DTV_S$

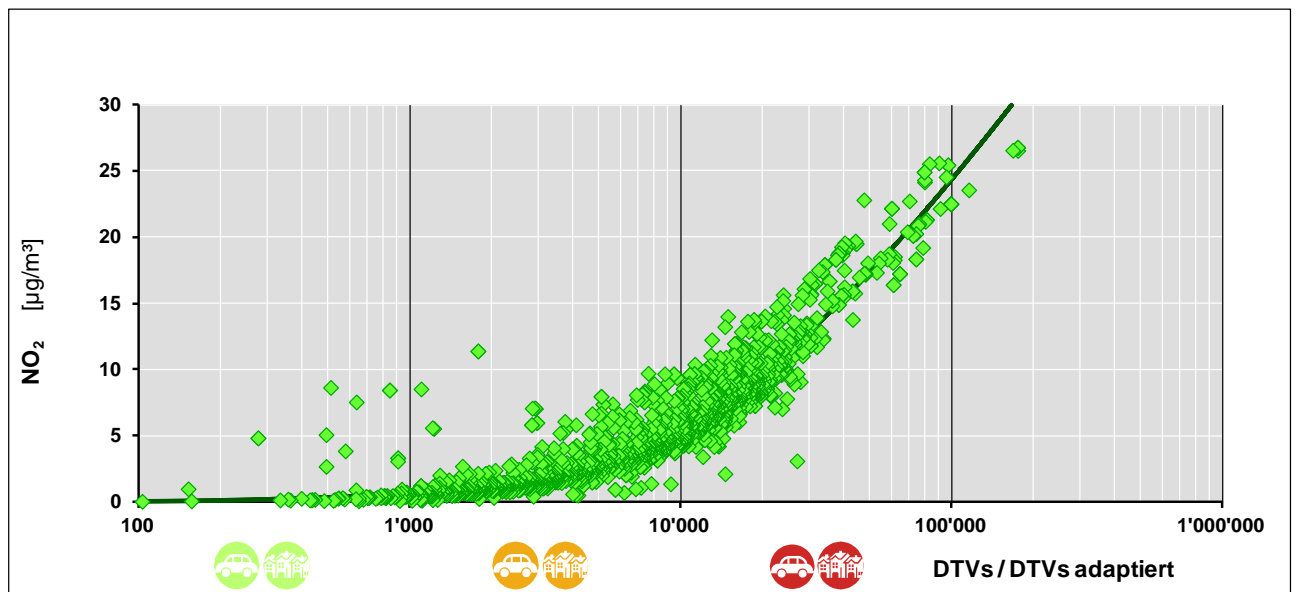


Abb. 48 NO_2 -Belastung durch den Strassenverkehr in Abhängigkeit des durchschnittlichen täglichen Verkehrs DTV_S (LKW's 10-fach gewichtet)

Für Messorte, welche nicht unmittelbar an einer stark befahrenen Strasse liegen, kann es jedoch durchaus vorkommen, dass die Luftbelastung von näher gelegenen Strassen mit starkem Verkehr noch beeinflusst wird. Dieser Einfluss wurde folgendermassen bestimmt: Ausgehend vom Immissionskataster 2004 [25] ergibt sich ein funktioneller Zusammenhang zwischen dem DTV_S und der modellierten, durch den Strassenverkehr verursachten NO_2 -Belastung am Strassenrand (vgl. Abb. 48). Dieser Zusammenhang kann näherungsweise durch die Funktion

$$NO_2^{0m} = A \cdot \ln \left(1 + \frac{DTV_S}{B} \right) \quad \begin{array}{l} A = 12.446 \\ B = 16386 \end{array} \quad (1)$$

beschrieben werden. Die von einer städtischen Hauptverkehrsachse ausgehende Luftbelastung in Funktion zum Abstand zur Strasse ist bekannt [26] (Abb. 49). Diese nimmt mit zunehmender

Distanz x zur Strasse exponentiell ab.

$$NO_2^x = NO_2^{0m} \cdot \exp(-0.068 \cdot x) \quad (2)$$

Für jeden verkehrsfernen Messort wurden die nächstgelegenen stark befahrenen Strassen mit ihren durchschnittlichen Verkehrszahlen und der Distanz zum Messort zur Klassifikation hinzugezogen.

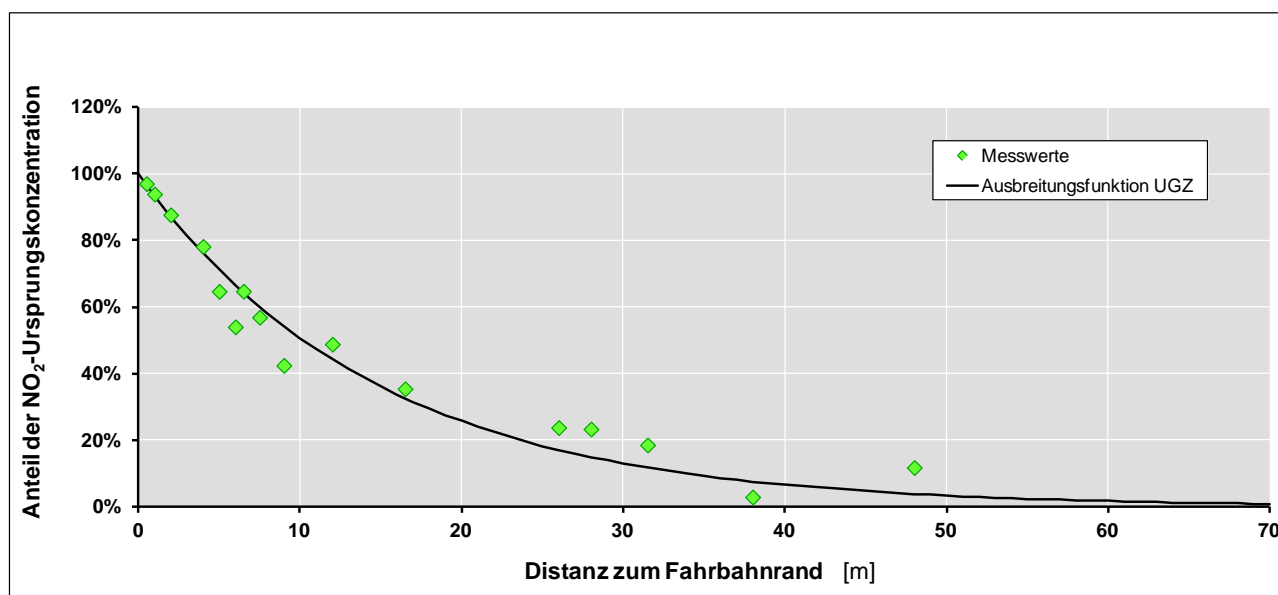


Abb. 49 Abnahme der strassenverkehrsbedingten NO₂-Belastung in Funktion des Abstand des Messorts zum Strassenrand




Mit der Umkehrfunktion von Funktion (1) lässt sich der adaptierte durchschnittliche Tagesverkehr DTV_S *adaptiert* berechnen, welcher die entsprechende NO₂-Belastung am Messort verursachen würde.

$$DTV_S \text{ adaptiert} = B \cdot \left(\exp\left(\frac{NO_2^x}{A}\right) - 1 \right) \quad (3)$$

Die Klassierung für einen verkehrsfernen Messort erfolgt nun auf Basis DTV_S *adaptiert* analog einem Messort am Strassenrand.

A3.2 Bestimmung des Siedlungseinfluss

Die NO₂-Belastung in Folge von Siedlungsemissionen können für jeden Messort dem Klimamodell der Stadt Zürich (KLAZ Phase 1) entnommen werden [27]. Um die Tatsache zu berücksichtigen, dass im Modell die Emissionen stationärer Anlagen in Bodenhöhe stattfinden, wurden die NO₂-Siedlungsimmissionen um den Faktor 2 reduziert, was einer durchschnittlichen Emissionshöhe von 10m entspricht. Anschliessend erfolgte die Umrechnung in Fahrzeugäquivalente DTV_S *adaptiert* mittels (3). Die Klassifikation erfolgte nun analog der Klassifikation des Verkehrseinfluss.

- 
kein bis geringer Siedlungseinfluss
 $DTV_S \text{ adaptiert} \leq 1'000$
- 
mässiger Siedlungseinfluss
 $1'000 < DTV_S \text{ adaptiert} \leq 10'000$
- 
starker Siedlungseinfluss
 $10'000 < DTV_S \text{ adaptiert}$

A4 NOx - NO2 - Umwandlung

Die Abnahme von Stickstoffdioxid NO₂ im Verlauf der Jahre fällt an stark verkehrsexponierten Messorten im Verhältnis deutlich geringer aus als an wenig oder kaum verkehrsorientierten Messorten, obwohl die Summe der Stickoxide NO_x sich an diesen Messorten im beobachteten Zeitraum teils massiv reduziert hat.

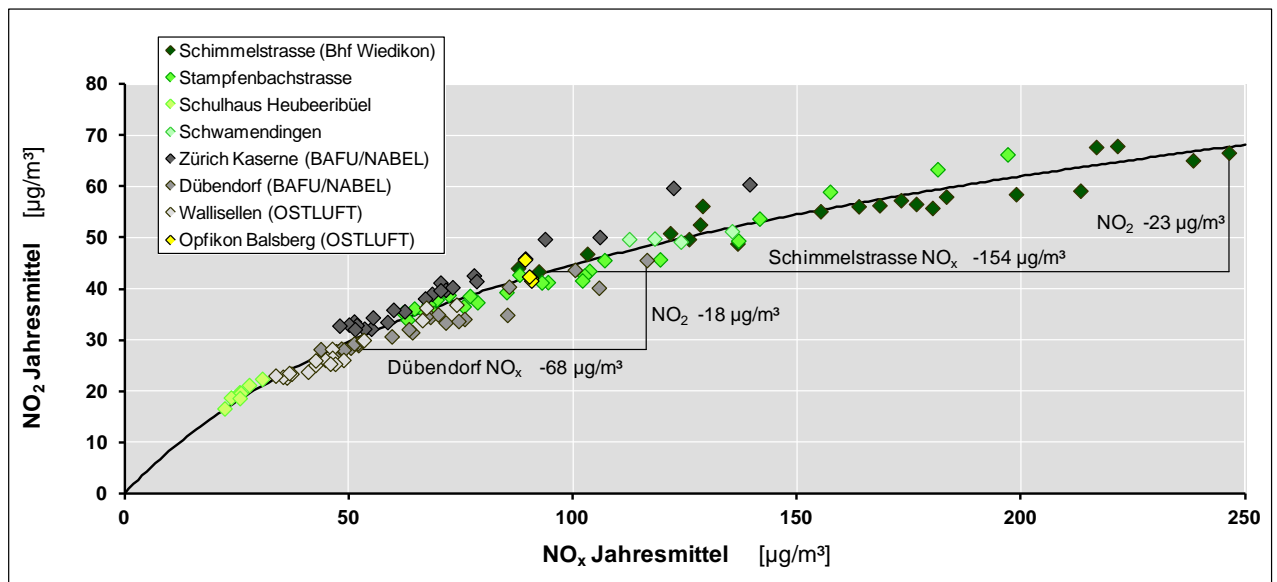


Abb. 50 NO₂-Jahresmittelwerte in Funktion des NO_x-Jahresmittelwerts an Messstationen in der Stadt Zürich und der näheren Agglomeration seit Messbeginn an den jeweiligen Messorten (NO_x in µg/m³ NO₂)
 (Quelle Daten Zürich-Kaserne, Dübendorf: BAFU/EMPA – Quelle Daten Wallisellen und Opfikon: OSTLUFT)

Die Abnahme der Stickoxid-Belastung (NO_x) ist am Messort Schimmelstrasse zwischen 1989 und 2012 mehr als doppelt so gross als am Messort Dübendorf im gleichen Zeitraum. Die Abnahme der NO₂-Belastung in derselben Zeit jedoch nur um einen Drittel höher.

A5 Stickstoffdioxid Passivsammler Validierung

Bei den Passivsammlern für Stickstoffdioxid handelt es sich um ein günstiges Messverfahren für punktuelle Messungen der NO₂-Belastung. In Folge der langen Expositionszeit, üblicherweise 2 Wochen, kann mit diesem Messverfahren keine Erfassung von Überschreitungen des Kurzzeitgrenzwerts durchgeführt werden. Die chronische Belastung durch NO₂ kann mit dem Verfahren jedoch sehr gut bestimmt werden.

Um die Vergleichbarkeit der Messungen von Passivsammlern mit den kontinuierlichen Messungen (Referenzverfahren) in den Messstationen zu gewährleisten, werden die beiden Messverfahren

laufend auf der Basis der Messperioden miteinander verglichen [8]. Ein Vergleich der Jahresmittelwerte von Referenzverfahren und kalibrierten Passivsammler-Jahresmittelwerten (Abb. 51) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Messresultate beider Messverfahren.

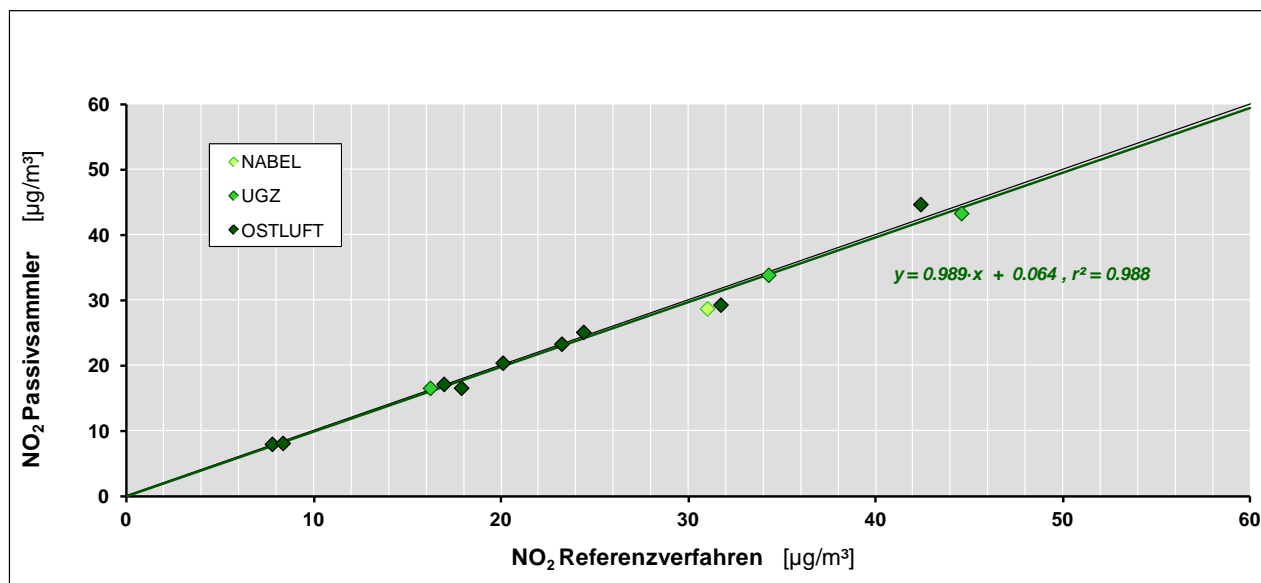


Abb. 51 Vergleich von kontinuierlichen und Passivsammler-Messungen 2012
(Daten ausserhalb der Stadt Zürich: BAFU/NABEL und OSTLUFT)