



Luftbilanz Stadt Zürich 2008

Resultate der flächendeckenden Messkampagne

Bericht Nr. 20091206

Verfasser/in:

Jürg Brunner, Fachbereichsleiter
Markus Scheller, wissenschaftlicher Mitarbeiter
Fachbereich Labor

Zürich, Dezember 2009

Impressum

Herausgeberin

Stadt Zürich

Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich UGZ

Abteilung Umwelt
Fachbereich Labor
Walchestrasse 31
8021 Zürich

www.stadt-zuerich.ch/luft

Sachbearbeitung

Susanne Schlatter

Markus Scheller

Noël Rederlechner

Thomas von Allmen

Jürg Brunner

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	2
2	Einleitung	6
3	Messprogramm	9
4	Luftschadstoffe und Luftschadstoffbelastung.....	15
4.1	Feinstaub PM10.....	15
4.2	Feinstaub PM10 Inhaltsstoffe	19
4.3	Staubniederschlag	26
4.4	Staubniederschlag Inhaltsstoffe.....	27
4.5	Stickstoffdioxid	31
4.6	Ozon	35
4.7	Carbonyl-Verbindungen	39
4.8	Schwefeldioxid	40
4.9	Kohlenmonoxid	41
5	Literatur.....	44
	Anhänge	46

Vorwort

Das Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) datiert aus dem Jahre 1983 und postuliert im Artikel 6 / Absatz 1 die Informationspflicht der Behörden: „Die Behörden informieren die Öffentlichkeit sachgerecht über den Umweltschutz und den Stand der Umweltbelastung“.

Was die Belastung unserer Umgebungsluft mit Luftschadstoffen betrifft, nimmt in der Stadt Zürich der Umwelt- und Gesundheitsschutz (UGZ) diese Aufgabe wahr. Der Fachbereich Labor des UGZ ist für die Überwachung und Bewertung der Luftqualität zuständig. Im Zentrum des Überwachungskonzepts steht der Dauerbetrieb von Messstationen an charakteristischen Standorten. Um die Luftqualität räumlich differenziert beurteilen zu können, werden in Ergänzung dazu periodisch flächendeckende Untersuchungen mit einem verdichteten Messnetz durchgeführt. Der vorliegende Bericht fasst die Resultate der Messkampagne 2008 zusammen.

Die im Bericht vorgestellten differenzierten Daten zur Luftqualität in der Stadt Zürich sind für die Erfolgskontrolle der lufthygienischen Massnahmen von zentraler Bedeutung. Gleichzeitig bilden sie die Basis für eine zielgerichtete Weiterentwicklung der Massnahmenplanung.

Auf der Website des UGZ wird für die Öffentlichkeit eine Fülle von Informationen rund um die Luftschadstoff-Belastung bereitgestellt:

www.stadt-zuerich.ch/luft

Peter Bär, Leiter Abteilung Umwelt UGZ

1 Zusammenfassung

Seit Beginn der 80er Jahre führt der Umwelt- und Gesundheitsschutz im Abstand von einigen Jahren flächendeckende Messkampagnen in der Stadt Zürich durch. Diese periodischen Flächenuntersuchungen zeigen, wie auch die Langzeituntersuchungen an den permanenten Messstationen, dass sich die Luftqualität seither deutlich verbessert hat. Sie zeigen jedoch auch, dass die Verbesserung der Luftqualität deutlich abflacht. Inzwischen kann man von einem Stillstand beispielsweise bei Stickstoffdioxid (NO_2) ausgehen (Abb. 1 - Hinweise zur Interpretation der Grafiken in Anhang A2).

Durch die räumliche Verdichtung während der Messkampagnen sind langjährige Belastungsaussagen an vielen Standorten unterschiedlicher Luftbelastung innerhalb der Stadt Zürich möglich. Die Luftqualität in der Stadt Zürich erreicht in weiten Teilen der Stadt, über 20 Jahre nach in Kraft treten der Luftreinhalte-Verordnung (LRV), die Grenzwerte (Anhang A1) nicht.

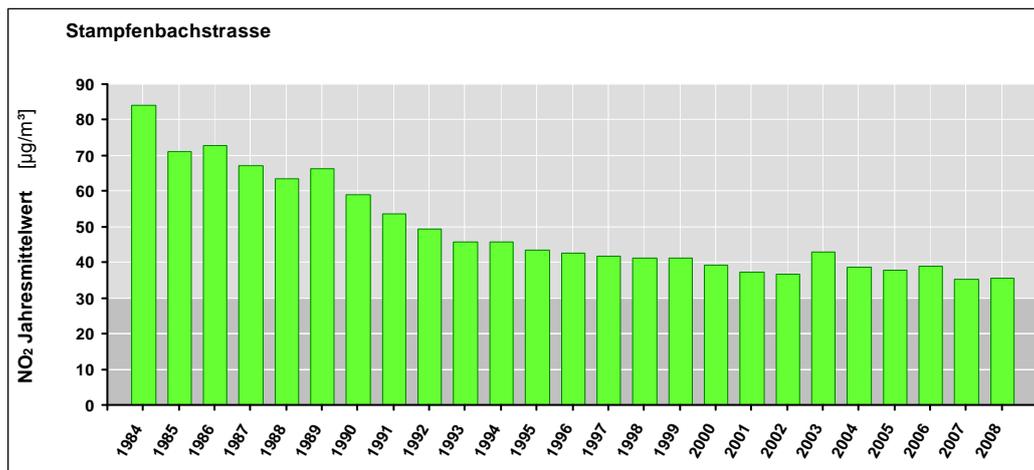


Abb. 1 Stickstoffdioxid-Jahresmittelwerte 1984 – 2008 am Messort Stampfenbachstrasse

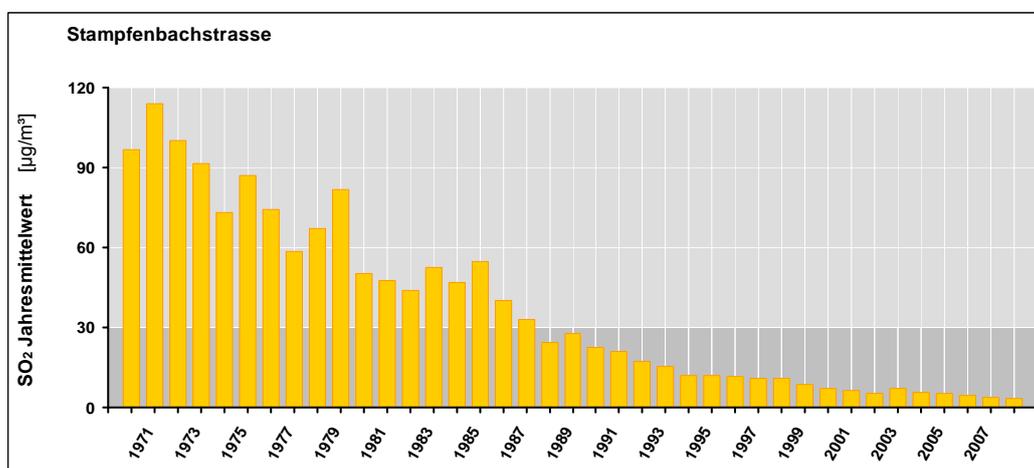


Abb. 2 Schwefeldioxid-Jahresmittelwerte 1970 – 2008 am Messort Stampfenbachstrasse

Die bisher getroffenen Massnahmen zur Emissionsbegrenzung von Bund, Kanton und Stadt Zürich haben immerhin dazu geführt, dass Überschreitungen der Grenzwerte von Schwefeldioxid (SO₂) und Kohlenmonoxid (CO) eine Sache der Vergangenheit sind (Abb. 2 und Abb. 3).

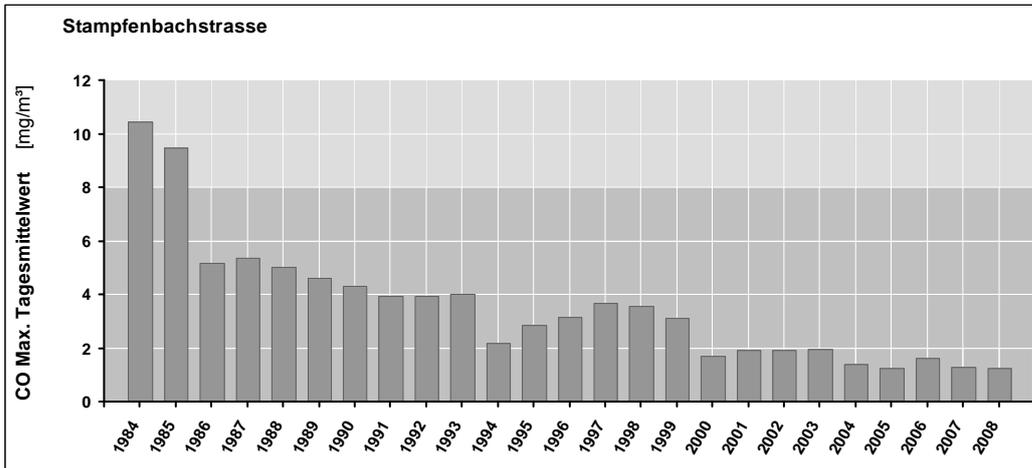


Abb. 3 Maximale Tagesmittelwerte Kohlenmonoxid 1984 – 2008 am Messort Stampfenbachstrasse

Anders sieht es im Fall der Luftbelastung durch Stickoxide (NO_x), Ozon (O₃) und Feinstaub PM10 aus. Die Luftbelastung durch diese Schadstoffe liegt immer noch deutlich über den Grenzwerten der LRV.

Die getroffenen Massnahmen zur Reduktion der Emission von Stickoxiden hatten eine Abnahme der Stickoxidimmissionen von nahezu 60% seit 1990 zur Folge, chemische Prozesse führen jedoch dazu, dass sich dies in den Messwerten für NO₂ nicht eins zu eins wieder findet – die Abnahme der Stickstoffdioxid-Belastung im selben Zeitraum liegt bei 40% (Abb. 4).

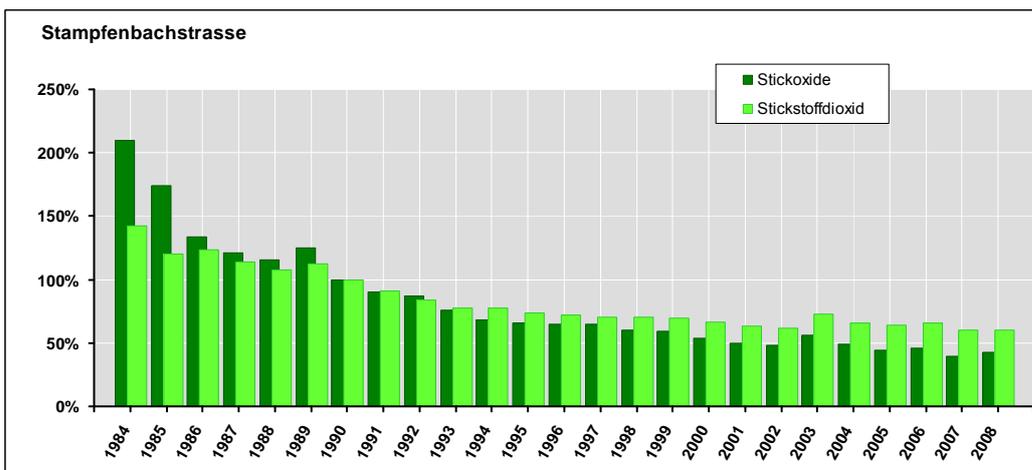


Abb. 4 Relativer Langzeitverlauf Stickoxide NO_x und Stickstoffdioxid NO₂ 1984 – 2008 (1990 = 100%) am Messort Stampfenbachstrasse

Neben NO₂ sind es auch flüchtige organische Verbindungen (VOC) Vorläuferschadstoffe, die bei anhaltend schönem und heissem Wetter zur Ozonbildung beitragen. Im überdurchschnittlich

kühlen Sommer 2008 wurde der Kurzzeitgrenzwert für O₃ noch oft und deutlich überschritten, jedoch nicht im Ausmass der letzten 20 Jahre (Abb. 5). Dies ist in erster Linie auf die Wetterbedingungen 2008 zurückzuführen. Zudem führt die Langlebigkeit von O₃ in der Atmosphäre dazu, dass neben der lokalen Produktion von Ozon auch Beiträge der Ozonbildung der Vortage, national und international, die Ozonbelastung mit prägen. Die massive Reduktion der NO_x- und VOC-Emissionen der letzten 15 Jahre führte zu einem ausgeprägten Abwärtstrend in den Ozon-Spitzenbelastungen.

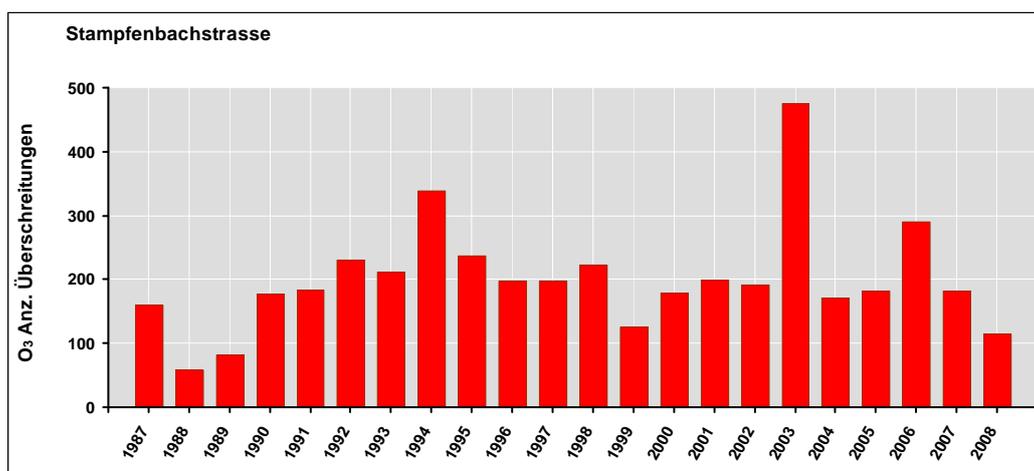


Abb. 5 Anzahl Überschreitungen des Stundengrenzwerts für Ozon 1987 – 2008 am Messort Stampfenbachstrasse

Der Langzeitverlauf der Schwebestaub- und Feinstaub PM₁₀-Belastung am Messort Stampfenbachstrasse¹ zeigt eindrücklich den Rückgang der chronischen Belastung durch Feinstaub (Abb. 6).

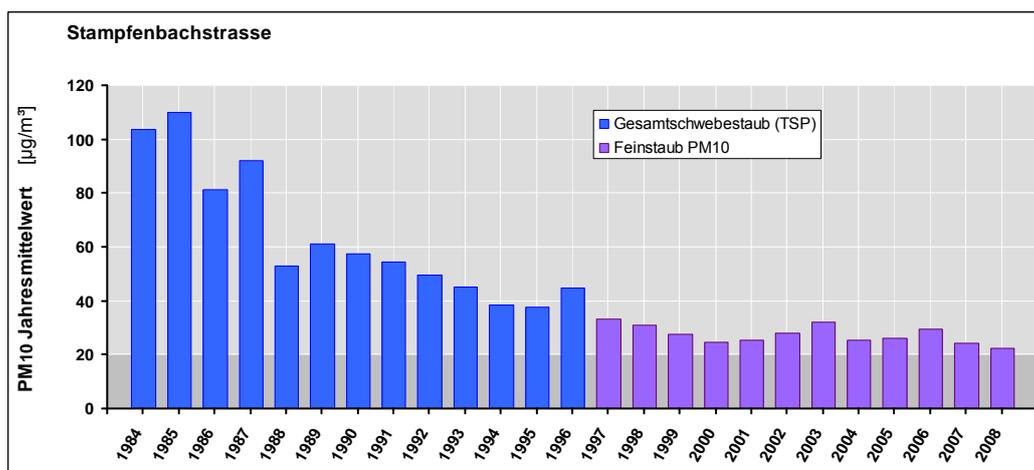


Abb. 6 Feinstaub-Jahresmittelwerte 1984 – 2008 am Messort Stampfenbachstrasse

¹ Bis 1996 Messung der Belastung von Gesamtschwebestaub (Grenzwert LRV für das Jahresmittel: 70 µg/m³), ab 1997 Feinstaub PM₁₀ (Grenzwert 20 µg/m³)

Erstmals konnte 2008 der Langzeitgrenzwert am Stadtrand in erhöhter Lage eingehalten werden. Die weiteren PM10 Messorte auf dem Stadtgebiet zeigten jedoch weiterhin, teils deutliche, Überschreitungen der Grenzwerte. Diese können auf nahezu dem gesamten Siedlungsgebiet der Stadt Zürich nicht eingehalten werden.

2 Einleitung

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. Aus diesem Grund handelt es sich bei den Grenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) [2] um Wirkungsschwellen und nicht um Alarmwerte. Unterhalb dieser wirkungsorientierten Schwellen sind nach dem Stand der Wissenschaft keinerlei negativen Effekte auf die Schutzobjekte zu erwarten.

Wegen der grossflächigen Grenzwertüberschreitung und der entsprechend grossen Zahl exponierter Personen besteht seit Jahren ein erheblicher Handlungsbedarf bei den Schadstoffen Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃). Als Folge der Festsetzung von Grenzwerten für Staubpartikel (Feinstaub PM₁₀) mit der Revision LRV im Frühjahr 1998, wird diese Problematik noch stärker betont. Der überwiegende Teil dieser Belastungen stammt direkt oder indirekt aus den Emissionen des motorisierten Strassenverkehrs.

Trotz der seit Beginn der Emissionsbeschränkungen in den 70er Jahren erreichten Fortschritte auf dem Gebiet der Luftqualität, ist und bleibt die Stadt Zürich eines der wichtigsten Sanierungsgebiete der Schweiz aus lufthygienischer Sicht. In Zürich überlappt sich eine grosse und zunehmend höhere Bevölkerungsdichte 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.

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.

In städtischen Gebieten gelangen Gesundheit gefährdende Stoffe in unmittelbarer Nähe von Menschen in die Aussenluft. Die Gesundheitsbehörden der Städte tragen aus diesem Grunde eine grosse Verantwortung für den Schutz der Wohn- und Arbeitsbevölkerung. Als Hauptbetroffene sind Städte zugleich wichtige Akteure bei der Festlegung und Umsetzung von Vorschriften und Massnahmen. Die Überwachung und Bewertung der Luftqualität gehört deshalb seit fast vier Jahrzehnten zu den zentralen Aufgaben des Umwelt- und Gesundheitsschutzes Zürich. Dabei kommt das folgende Überwachungskonzept zur Anwendung:

- Dauerbetrieb von Messstationen an charakteristischen Standorten, welche verschiedene Stufen der Luftbelastung repräsentieren (gegenwärtig vier Messorte)
- 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 überdies 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.

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 Luftreinhaltepolitik der folgenden Jahre (Massnahmenplanung auf städtischer und kantonaler Ebene). Die nächste ähnlich angelegte flächendeckende Untersuchung erfolgte 1989/1990 drei Jahre nach dem Erlass der LRV (1986) und dem allmählichem Wirksamwerden der eingeleiteten Emissionsbegrenzungen [4]. 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.

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 Problemschadstoffen Stickstoffdioxid und Ozon bei weitem nicht erreicht werden.

1998 wurden mit der Revision der LRV die Luftqualitätsstandards 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 in der Nähe 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 Messaufwand für 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 erfasst wurde.

In der folgenden Messkampagne 2004 [7] erfolgte die Untersuchung erstmals auf das Kalenderjahr bezogen. Dieses Konzept wurde auch für die aktuelle Messkampagne 2008 angewandt.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag bei den Problemschadstoffe Feinstaub PM₁₀ und Stickstoffdioxid. Bei den PM₁₀-Inhaltsstoffen wurde wie in den beiden vorhergehenden Kampagnen der Russanteil, neu auch die Anteile an Salzen, resp. Anionen und Kationen, sowie die in der LRV begrenzten Schwermetalle Blei und Cadmium in PM₁₀ erfasst. Zunehmend an Bedeutung gewinnen Aussagen über Partikelanzahl und Grössenverteilung. Insbesondere die

Grössenverteilung kleinster Feinstaubpartikel liefert nützliche Zusatzinformationen zur gängigen Messung der Partikelmasse PM10.

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 Staubniederschlag (gröbere Staubteilchen, die rasch zu Boden sinken) und die damit verbundenen Depositionen von Blei, Cadmium und Zink. So wurden auch 2008 die Schwermetall-Anteile im Staubniederschlag wieder in das Messprogramm aufgenommen, um aktuelle Daten zur Verfügung zu haben.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Messresultate der letzten flächendeckenden Untersuchung 2008. Das Jahr 2008 fiel insbesondere durch den kühlen Sommer ohne länger andauernde Hitzeperioden und dementsprechend geringer Anzahl an Ozon-Überschreitungen auf. In den Wintermonaten wurden keine lang anhaltenden, austauscharmen Inversionslagen verzeichnet.

3 Messprogramm

Im Rahmen der Messkampagne 2008 erfolgten Immissionsmessungen an insgesamt 49 Messorten, verteilt über das gesamte Stadtgebiet. Zusätzlich zu den 3 Messstationen mit kontinuierlichen Messgeräten wurde ein dichtes Netz von Messorten mit NO₂-Passivsammlern, verteilt über das gesamte Stadtgebiet, eingerichtet. Dieses Messnetz beinhaltete einerseits die Messorte früherer Messkampagnen, andererseits wurden zusätzliche Messorte im Bezug zu aktuellen Fragestellungen (z.B. im Rahmen der Eröffnung des Uetlibergtunnels) in die Messkampagne mit einbezogen.

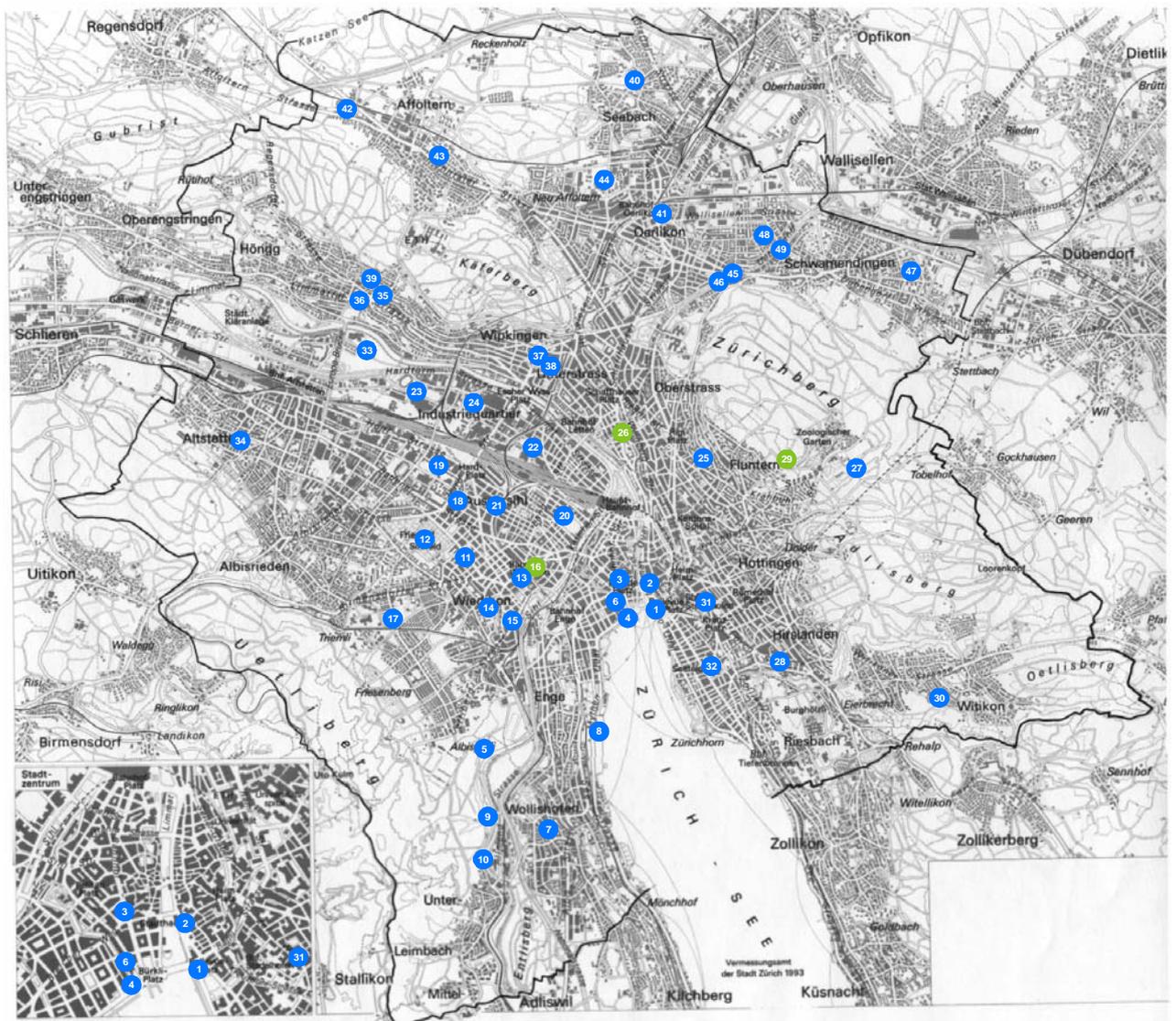


Abb. 7 Übersicht der Messorte der Messkampagne 2008
 grün: kontinuierliche Messstationen
 blau: Passivsammlermessorte

Tab. 1 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 Verkehrslärmbelastung
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 Verkehrslärm 70 dB
2	Elsässer Limmat-Quai 18 Kreis 1 Rathaus 683'465 247'075	 	Kleiner Platz an verkehrsberuhigter Strasse mit einseitiger Bebauung Kein Durchgangsverkehr
3	Paradeplatz Bahnhofstrasse 23 Kreis 1 City 683'115 247'165	 	Messort am nördlichen Rand des Paradeplatzes Verkehrsfrei (Zubringer)
4	General-Guisan-Quai auf Höhe Villa Rosau Kreis 2 Enge 683'134 246'677	 	stark befahrene Strasse direkt am Fahrbahnrand 42'000 Fz./Tag
5	Höcklerweg bei Kurve vor Steigung Kreis 2 Leimbach 681'483 244'182	 	Hintergrundmessort verkehrsfrei
6	Schanzengraben vis à vis Baur au Lac Kreis 2 Enge 683'080 246'844	 	an Fussgängerpromenade in Stadtzentrum verkehrsfrei
7	Speerstrasse Wachtelstrasse 17 Kreis 2 Wollishofen 682'250 244'144	 	Wohnquartier am Stadtrand geringer Lokalverkehr Verkehrs- und Umgebungslärm 54 dB
8	Strandbad Mythenquai Eingangsbereich Kreis 2 Enge 682'812 245'459	 	Messort im Park am See Distanz zur (abgeschirmten) Hauptachse 40 m Strassen- und Eisenbahnverkehrslärm 57 dB
9	Wegackerstrasse Wegackerstrasse 2 Kreis 2 Leimbach 681'425 243'310	 	Wohnquartier am Stadtrand (Sihltal) geringer Lokalverkehr Verkehrs- und Umgebungslärm 52 dB
10	Zwirnerstrasse Zwirnerstrasse 50 Kreis 2 Leimbach 681'429 243'702	 	Hintergrundmessort direkt an der Sihl Hangwindsituation geringer Lokalverkehr
11	Aemtlerstrasse Aemtlerstrasse 73 Kreis 3 Sihlfeld 681'236 247'473	 	stark befahrene Strasse, beidseitig bebaut 11'500 Fz./Tag

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehr- und Siedlungseinfluss (vgl. Anhang A3)	Details zum Messort Fahrzeugzahlen Verkehrslärmbelastung
12	Friedhof Sihlfeld Nähe Kapelle A Kreis 3 Sihlfeld 680'800 247'650	 	Park in Stadtmitte sämtlicher Verkehr in mehr als 100 m Distanz Umgebungsgeräusche 52 dB
13	Gerhardstrasse Gerhardstrasse 5 Kreis 3 Sihlfeld 681'915 247'185	 	Zwischen zwei Hauptverkehrsachsen Abstand je 75 Meter Schimmelstr., 26'000 Fz./Tag, Weststr., 21'000 Fz./Tag
14	Kirchbühlweg Kirchbühlweg 7 Kreis 3 Alt-Wiedikon 681'502 246'827	 	kleine Quartierstrasse in leicht erhöhter Lage wenig Verkehr
15	Manesseplatz Kreis 3 Alt-Wiedikon 681'811 246'614	 	Verkehrsreicher Platz, allseitig bebaut ca. 25'000 Fz./Tag
16	Schimmelstrasse Birmensdorferstrasse 83 Kreis 3 Sihlfeld 681'960 247'245	 	stark befahrene Durchgangsachse 26'000 Fz./Tag Strassenverkehrslärm 72 dB
17	Schweighofstrasse Schweighofstrasse 369 Kreis 3 Friesenberg 680'330 246'670	 	Messort an Hauptachse, leichte Hanglage 13'000 Fz./Tag
18	Bullingerhof Kreis 4 Hard 681'091 248'129	 	begrünter städtischer Innenhof (Hintergrund) umgeben von stark befahrenen Strassen verkehrsfrei
19	Eichbühlstrasse Eichbühlstrasse. 43 Kreis 4 Hard 680'884 248'572	 	Hintergrundmessort im Bereich Güterbahnhof Wenig Verkehr Verkehrs- und Umgebungsgeräusche 59 dB
20	Kaserne (NABEL) Kanongasse 20 Kreis 4 Langstrasse 682'450 247'990	 	kleiner Park in Stadtmitte Standort der NABEL-Station verkehrsfrei Verkehrslärm und Umgebungsgeräusche 55 dB
21	Seebahnstrasse 229 Kreis 4 Langstrasse 681'591 248'060	 	stark befahrene Hauptverkehrsachse einseitig bebaut (Bahneinschnitt) 24'500 Fz./Tag
22	Neugasse Josefstrasse 175 Kreis 5 Gewerbeschule 682'030 248'830	 	Innenhof einer Wohnüberbauung verkehrsfrei Umgebungsgeräusche 52 dB

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehr- und Siedlungseinfluss (vgl. Anhang A3)	Details zum Messort Fahrzeugzahlen Verkehrslärmbelastung
23	Pfingstweidstrasse 110 Kreis 5 Escher Wyss 680'750 249'447	 	Hauptverkehrsachse 40'000 Fz./Tag
24	Turbinenplatz Kreis 5 Escher Wyss 681'470 249'325	 	Platz (14'000 m ²), umgeben von mässig befahrenen Strassen
25	Bionstrasse, Bionstrasse 10 Kreis 6 Oberstrass 684'130 248'680	 	Hanglage, schwacher Wohnverkehr Umgebungsgeräusche 59 dB
26	Stampfenbachstrasse Stampfenbachstrasse 144 Kreis 6 Unterstrass 683'140 249'040	 	mittel stark befahrene Strasse 8'500 Fz./Tag
27	Adolf Jöhr Weg Kreis7 Hottingen 686'005 248'575	 	in Waldlichtung auf Wegkreuzung 180 m Abstand zu mässig befahrenen Strassen verkehrsfrei
28	Forchstrasse 145 Kreis 7 Hirslanden 684'992 246'135	 	Messort an Hauptachse, beidseitig bebaut 14'000 Fz./Tag Verkehrslärm 72 dB
29	Schulhaus Heubeeribüel Heubeeriweg 30 Kreis 7 Fluntern 685'135 248'470	 	Stadtrand, erhöhte Lage schwacher Lokalverkehr
30	Steinbrüchelstrasse Steinbrüchelstrasse 44 Kreis 7 Witikon 687'052 245'664	 	Wohnquartier am Stadtrand geringer Lokalverkehr Verkehrs- und Umgebungslärm 53 dB
31	Zeltweg Zeltweg 57 Kreis 7 Hottingen 684'128 246'905	 	stark befahrene Verkehrsachse 14'500 Fz/Tag
32	Schulhaus Seefeld Tuggenerweg Kreis 8 Mühlebach 684'421 245'797	 	an Fussweg am Rande des Pausenplatzes gelegen verkehrsfrei Verkehrslärm und Umgebungsgesch 60 dB
33	Hardhof an Gehweg Kreis 9 Altstetten 679'994 250'009	 	innerhalb Park-/Sportanlage verkehrsfrei

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehr- und Siedlungseinfluss (vgl. Anhang A3)	Details zum Messort Fahrzeugzahlen Verkehrslärmbelastung
34	Meientalstrasse Stampfenbrunnenstrasse 34 Kreis 9 Altstetten 678'485 248'885	 	stärker befahrene Strassen mehr als 150 m entfernt geringer Lokalverkehr Umgebungsgeräusche 49 dB
35	Kranzweg Gsteigstrasse 28 Kreis 10 Höngg 680'210 250'712	 	an Fussweg in 50 m Distanz zur Gsteigstrasse verkehrsfrei
36	Limmattalstrasse Limmattalstrasse 211 Kreis 10 Höngg 679'944 250'670	 	direkt an der Limmattalstrasse an der Messstelle einseitig bebaut 11'000 Fz./Tag
37	Rosengartenstrasse Nordstrasse 270 Kreis 10 Wipkingen 682'092 249'943	 	an Transitachse (bis Frühling 09) bei der Einfahrt zum Schulgelände 56'000 Fz./Tag Verkehrslärm 80 dB
38	Schulhaus Nordstrasse (Pausenplatz) Kreis 10 Wipkingen 682'120 249'905	 	auf Pausenplatz des Schulhauses Nordstrasse 40m Abstand zu den stark befahrenen Strassen verkehrsfrei, beeinflusst durch Umgebungsverkehr
39	Schulhaus Vogtsrain Ferd. Hodler Strasse. 30 Kreis 10 Höngg 680'080 251'957	 	am Kappenbühlweg, Hanglage Lokalverkehr Umgebungsgeräusche 57 dB
40	Birchstrasse Birchstrasse / Buchwiesen Kreis 11 Seebach 683'290 253'365	 	schwach befahrene Strasse am Stadtrand Lokalverkehr Umgebungsgeräusche 55 dB
41	Franklinplatz Kreis 11 Oerlikon 683'420 251'578	 	verkehrsreicher Platz, hohe Fussgängerdichte 10'000 Fz./Tag
42	Im Holzerhurd Im Holzerhurd 34 Kreis 11 Affoltern 679'769 253'076	 	am Rande der Stadt Zürich stark befahrene Strassen mehr als 80 m entfernt Lokalverkehr
43	In Böden In Böden 123 Kreis 11 Affoltern 680'920 252'459	 	Sackgasse, 100 m Distanz zur Wehntalerstrasse Lokalverkehr Verkehrs- und Umgebungsgeräusche 60 dB
44	Oerlikerpark neben Pavillon Kreis 11 Oerlikon 682'958 252'135	 	im Oerlikerpark, an Birchstrasse Busverkehr (2 Linien)

Nr.	Messort Lage Kreis und Quartier Landeskoordinaten (x y)	Verkehr- und Siedlungseinfluss (vgl. Anhang A3)	Details zum Messort Fahrzeugzahlen Verkehrslärmbelastung
45	Hubenstrasse Kreis 12 Schwamendingen Mitte 684'476 250'971	 	zwischen Ueberlandstrasse und Winterthurerstrasse durch den Schöneich-Tunneleinschnitt beeinflusst 110'000 Fz/Tag
46	Schöneichstrasse Kreis 12 Schwamendingen Mitte 684'452 250'950	 	zwischen Ueberlandstrasse und Winterthurerstrasse direkt am Tunneleinschnitt wenig Verkehr
47	Schulhaus Hirzenbach Grosswiesenstrasse 149 Kreis 12 Hirzenbach 686'735 250'932	 	Neben Schulhaus 40 m bis zur nächsten Strasse mit Lokalverkehr verkehrsfrei Umgebungsgeräusche 55 dB
48	Schulhaus Saatlen B Tramstrasse 210 Kreis 12 Saatlen 684'900 251'445	 	Messort in locker überbautem Schulareal 200 m Distanz zur A1 verkehrsfrei Verkehrs- und Umgebungslärm 55 dB
49	Schwamendingen Autobahn Luegislandstrasse 53c Kreis 12 Schwamendingen Mitte 684'077 251'202	 	direkt an der A1, beim Übergang Saatlenstrasse 100'000 Fz/Tag

4 Luftschadstoffe und Luftschadstoffbelastung

Luftschadstoffe wirken sich je nach Konzentration und Einwirkungsdauer negativ auf unsere 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, was einerseits zu gesundheitlichen Auswirkungen bei Mensch, Tier und Pflanze führen kann, Gebäude schädigt, ganze Ökosysteme beeinflusst und langfristig auch zu Klimaveränderungen führt.

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 Schadstoffe 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).

4.1 Feinstaub PM₁₀

Die Ergebnisse mehrerer epidemiologischer Studien in der Schweiz [8-10] haben gezeigt, dass feine Schwebeteilchen eine schädigende Wirkung auf die Gesundheit haben. Als besonders bedenklich gelten Partikel, die einen Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer (10 µm = 1 Hundertstel Millimeter) aufweisen. Dieser Teil des Schwebestaubs wird PM₁₀ genannt (**Particulate Matter < 10 µm**).

Generell gilt: Je kleiner die Partikel, umso tiefer werden sie eingeatmet (Abb. 8). Während gröbere Teilchen entweder gar nicht eingeatmet oder bereits im Nasen-, Rachenraum herausgefiltert werden, kann ein Teil von PM₁₀ 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 µm 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 diese Teilchen wegen ihrer geringen Grösse auch in die Blutbahn übertreten.

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

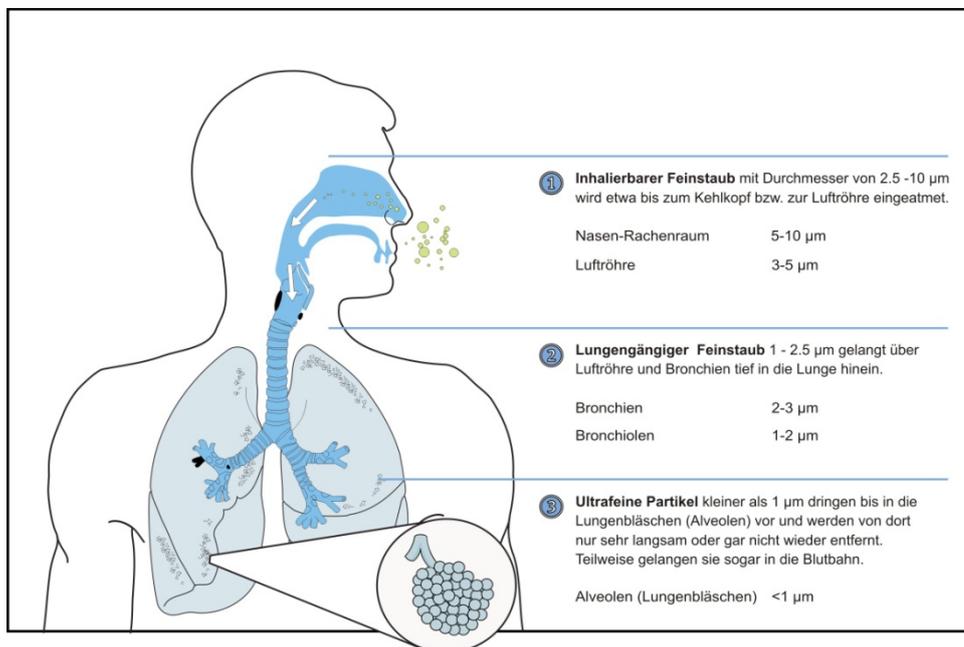


Abb. 8 Feinstaub PM10 - Grössen Kategorien und Depositionsorte von Feinstaub PM10 in der menschlichen Lunge

Auch bei kurzzeitig erhöhten PM10-Belastungen (Smoglagen) sind gesundheitliche Beeinträchtigungen feststellbar. Steigen die PM10-Konzentrationen während mehrtägiger Smogepisoden auf ein Mehrfaches der durchschnittlichen Belastung, kommt es zu einer Zunahme der Notfallkonsultationen wegen Asthma bei Kindern und der Spitaleintritte von über 65-Jährigen infolge Bronchitis oder Lungenentzündungen. Zur allgemein erhöhten Anfälligkeit für Atemwegserkrankungen durch PM10 kommt die spezifische gesundheitliche Gefährdung durch Dieselpartikel. Sie sind Träger krebserregender Stoffe (Kanzerogene) und können als sehr feinteilige PM10-Komponente bis in die tiefsten Bereiche der Atemwege gelangen (vgl. Abschnitt 4.2).

Eine aktuelle Untersuchung der luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten in der Stadt Zürich auf der Basis der Feinstaub PM10-Belastung 2005 beziffert diese mit 190 Mio. Fr. [11].

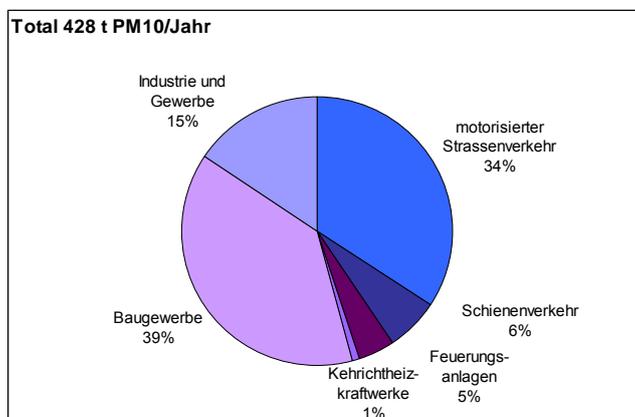


Abb. 9 Feinstaub PM10 Emissionen nach Verursachern in der Stadt Zürich 2005

Feinstaub PM₁₀ wird von einer grossen Zahl verschiedener Quellen verursacht. 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, Pollen, Sporen etc.) tragen zur Grundbelastung bei. Bei PM₁₀ handelt es sich um ein höchst komplexes Gemisch verschiedenster chemischer Bestandteile. Hinzu kommt, dass Feinpartikel in der Atmosphäre durch chemische Umwandlungen gasförmiger Vorläufer entstehen können (sekundäre Feinpartikel).

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 (vgl. Abb. 10). 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.

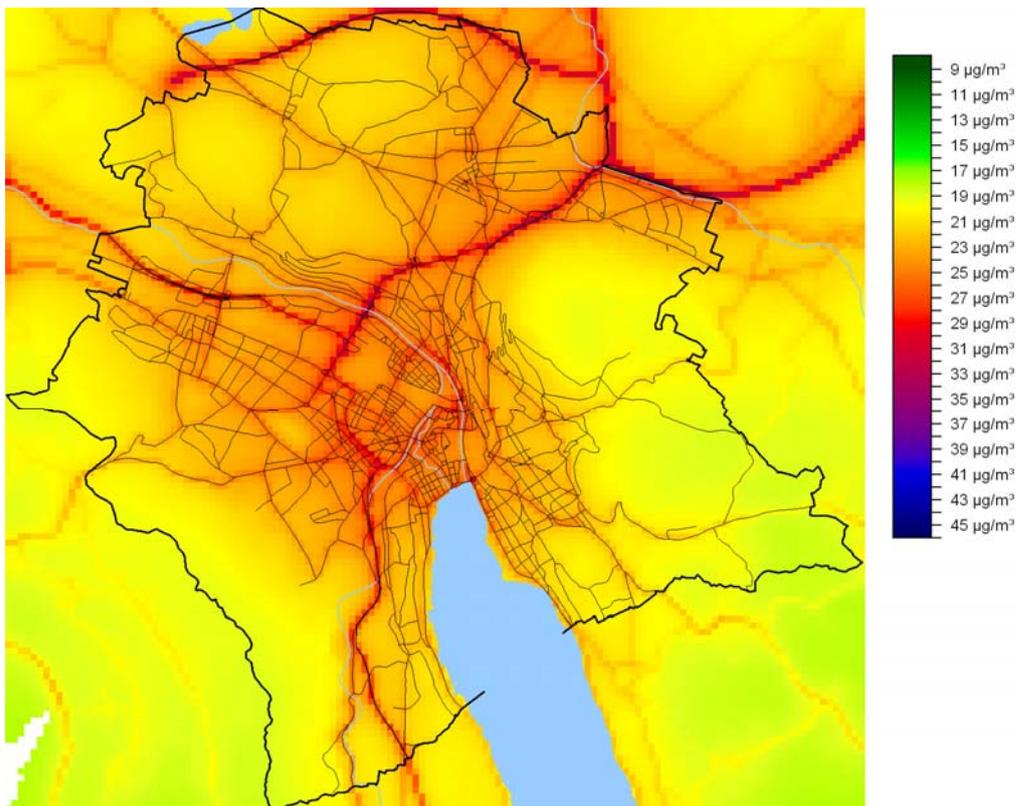


Abb. 10 Modellierung der Feinstaub PM₁₀-Belastung in der Stadt Zürich für das Jahr 2008

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 haben ergeben, dass die durch Ferntransport bedingte Vorbelastung in der Schweiz bereits ca. die Hälfte des Jahresgrenzwerts ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ausmacht. 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.

Die chronische Belastung durch Feinstaub PM10 hat sich 2008, begünstigt durch das Ausbleiben länger anhaltender, starker und austauscharmer Winterinversionen, weiter gesenkt. Erstmals konnte in erhöhter Lage am Stadtrand der Langzeitgrenzwert für PM10 eingehalten werden (Abb. 11).

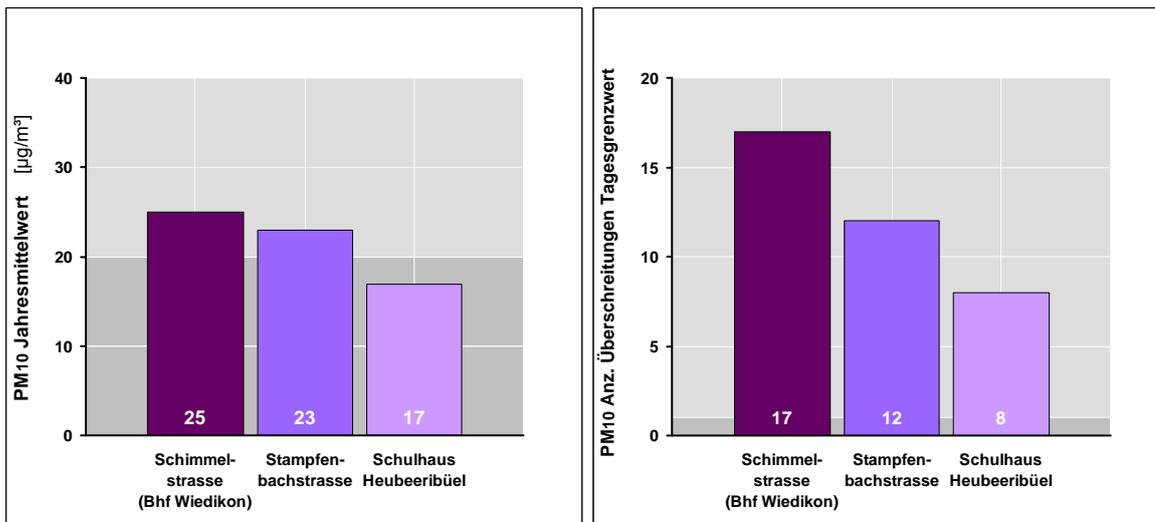


Abb. 11 Messwerte Feinstaub PM10 der Messkampagne 2008 (links: Jahresmittelwerte, rechts: Anzahl Überschreitungen des Tagesgrenzwerts)

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

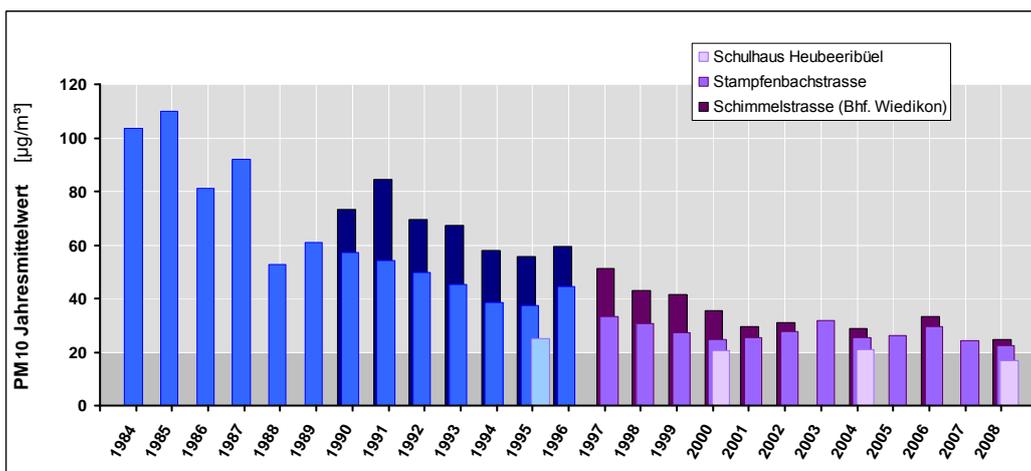


Abb. 12 Feinstaub-Belastungen in der Stadt Zürich seit 1984 (vor 1997 totaler Schwebestaub, danach Messung von PM10)

Die Langzeitentwicklung für Feinstäube zeigt eine deutliche Abnahme der Belastung seit den frühen 80er Jahren. Die Abnahme der Belastung hat sich in den letzten Jahren jedoch deutlich

abgeflacht und scheint während der letzten Jahre deutlich zu stagnieren. Weiterhin wird der Jahresgrenzwert auf einem Grossteil des Siedlungsgebiets der Stadt noch überschritten. Die Zahl der Überschreitungen des Tagesgrenzwerts liegt auf dem gesamten Siedlungsgebiet der Stadt über dem Grenzwert.



Abb. 13 Zahl der Überschreitungen des Tagesgrenzwerts seit Beginn der PM10-Messungen 1997

4.2 Feinstaub PM10 Inhaltsstoffe

Dieseleruss - elementarer und organischer Kohlenstoff

Dieselmotoren stossen eine grosse Zahl von Einzelsubstanzen aus, die teils gasförmig, teils partikelförmig vorliegen. Wie bereits erwähnt, kommt besonders feinteiligen Partikeln 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 „Dieseleruss“ bezeichnet.

Dieselmotorabgase werden von der Weltgesundheitsorganisation WHO als "wahrscheinlich kanzerogen für den Menschen" eingestuft. Diese Bewertung stützt sich einerseits auf tierexperimentelle Daten (vor allem Inhalationsversuche an Ratten), andererseits liefern auch epidemiologische Studien Hinweise, dass in Berufen mit erhöhter Dieseleruss-Exposition das Krebsrisiko zunimmt. Die Grösse der Dieselerusspartikel 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) tragen zwar zum Krebsrisiko bei, können jedoch nicht allein für die beobachtete hohe Lungentumor-Rate verantwortlich sein. Wahrscheinlich hat bereits das Vorliegen einer grossen Zahl von mechanisch reizenden und nicht abbaubaren Kohlenstoffkernen erheblichen Anteil an der kanzerogenen Wirkung. Das von Dieseleruss ausgehende Krebsrisiko übertrifft dasjenige von anderen Luftschadstoffen, denen ein kanzerogenes Potential zugeschrieben wird. Aufgrund dieser Eigenschaften kommt den verkehrsbedingten Russemissionen eine besondere lufthygienische Relevanz zu. Gemessen an lebensstilbedingten Faktoren (z.B. Rauchen) ist das

zusätzliche Krebsrisiko durch Dieseleruss zwar gering, es wird jedoch der Allgemeinheit aufgezungen.

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 Ausrüstung sämtlicher dieselbetriebener Fahrzeuge und Baumaschinen mit Partikelminderungs-Systemen würde es ermöglichen, die Russbelastung der städtischen Bevölkerung massiv zu senken. Die Praxistauglichkeit dieser Systeme ist heute für alle Fahrzeugkategorien unbestritten. Grosser Handlungsbedarf besteht vor allem bei dieselbetriebenen Personenwagen, deren Anteil am Verkehr in der Schweiz laufend zunimmt.

Als Folge der hohen Emissionsdichte dominieren in städtischen Gebieten die Russemissionen von dieselbetriebenen Strassenfahrzeugen. Die höchsten Immissionen treten deshalb an stark verkehrsbelasteten Standorten mit hohem Schwerverkehrsanteil auf.

Die Weiterentwicklung in der Analytik von elementarem und organischem Kohlenstoff, insbesondere die Einführung eines neuen Messverfahren (vgl. Anhang A4), führte zu einer Neubeurteilung auch der bisherigen Messdaten. Diese wurden sämtlich auf das neue Messverfahren überführt.

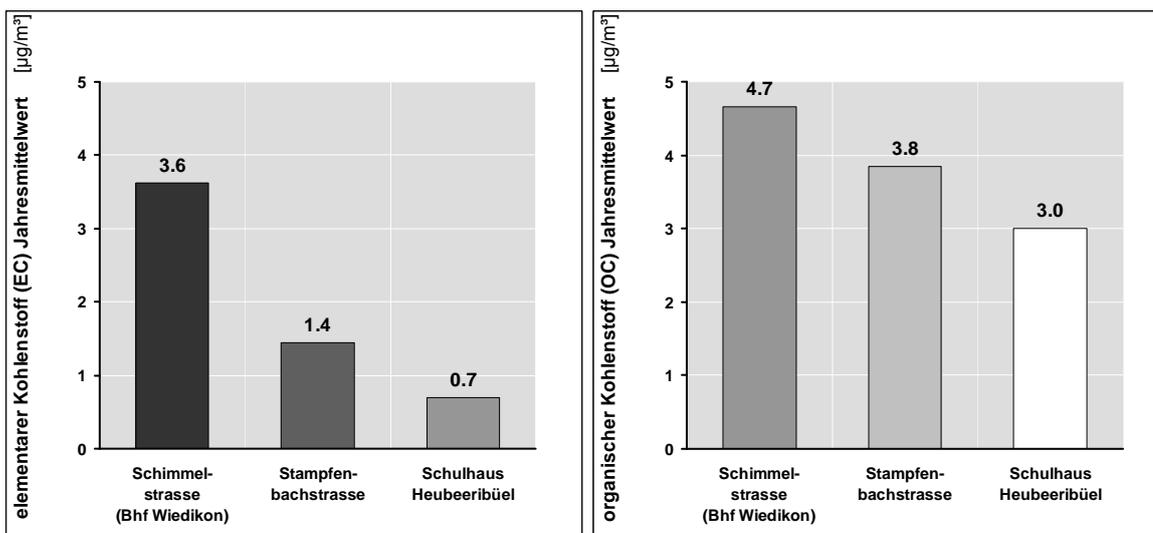


Abb. 14 Elementarer und organischer Kohlenstoff an den Messorten der Messkampagne 2008

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.

Die Messreihen seit Beginn der Bestimmungen von EC und OC zeigen für Ersteres an allen Messorten eine eher geringe Abnahme seit Beginn der Messungen im Jahr 2001. Die Abnahme von OC in den vergangenen Jahren ist deutlich ausgeprägter.

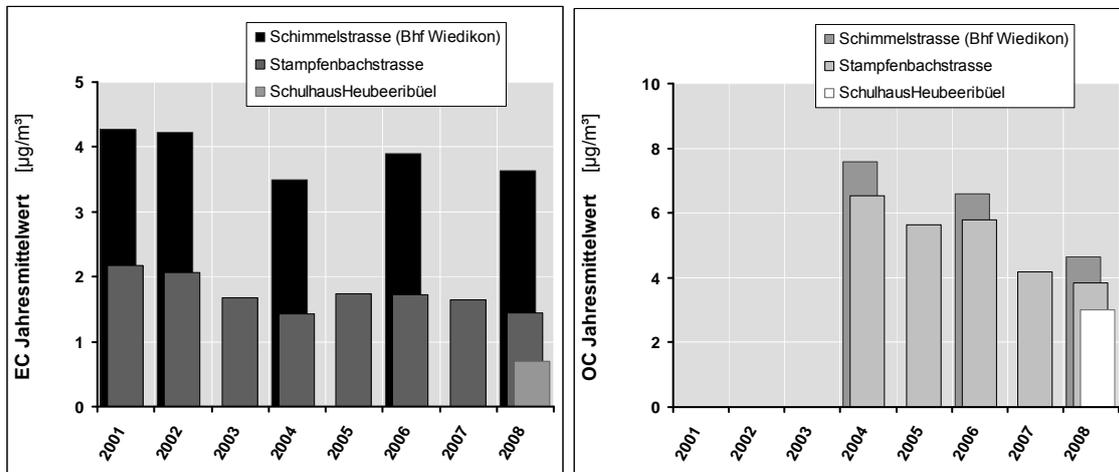


Abb. 15 Entwicklung von elementarem und organischem Kohlenstoff in den letzten Jahren.

Partikelanzahl und Grössenverteilung

In den letzten Jahren hat sich das Augenmerk neben der Messung der Partikelmasse (Feinstaub PM₁₀), in vermehrten Mass auch auf die Partikelanzahlkonzentrationen verlagert. Dies hat verschiedene Gründe: Einerseits haben Tierversuche gezeigt, dass kleinste Partikel in der Lage sind über den Riechnerv ins Gehirn zu gelangen, Zellmembranen zu durchdringen und in die Blutbahn zu gelangen. Andererseits haben bisherige Emissionsbeschränkungen, welche auf einem Massengrenzwert beruhen, dazu geführt, dass Motorenhersteller ihre Aggregate technisch dahingehend modifizieren, dass sie weniger Partikelmasse ausstossen. Wird Abb. 16 betrachtet, so ist ersichtlich, dass eine Optimierung bezüglich der Massenkonzentration in erster Linie darauf beruht, deutlich kleinere Partikel zu emittieren. Nebeneffekt ist dabei ein deutlicher Anstieg der Partikelanzahl.

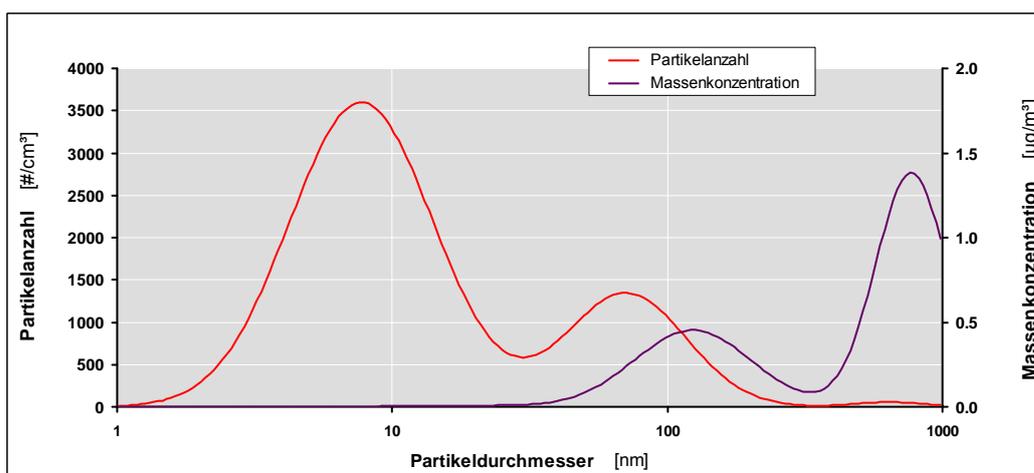


Abb. 16 Partikelanzahl- versus Partikelmassenkonzentration auf Basis einer idealisierten Partikel-Grössenverteilung

Über die gesundheitlichen Auswirkungen wird in Fachkreisen noch heftig diskutiert. Tatsache ist, je kleiner ein Partikel, umso tiefer gelangt es und anhaftende problematische chemische Verbindungen in die Lunge und desto grösser ist dessen Potential biologische Barrieren zu überwinden.

Von Februar bis Juni 2008 erfolgten Messungen der Partikelanzahl und –größenverteilung an den Messorten Stampfenbachstrasse und Schimmelstrasse (Bhf Wiedikon) (vgl. Abb. 17).

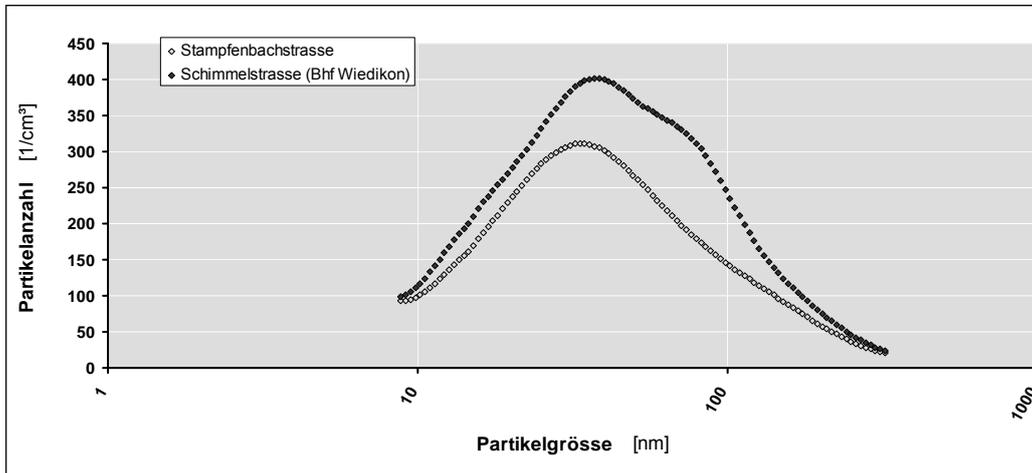


Abb. 17 Partikelanzahlkonzentrationen in Abhängigkeit der Partikelgröße

Bei Partikeln mit einem Durchmesser unter 500 nm handelt es sich praktisch ausschliesslich um Verbrennungsaerosole – Russpartikel. Die aus der Größenverteilung berechneten Massenkonzentrationen zeigen, dass die Partikel < 320 nm nur einen Bruchteil der PM10-Belastung im Messintervall ausmachen (16 – 24%), anzahlmässig die Gesamtpartikelanzahl jedoch dominieren (75%).

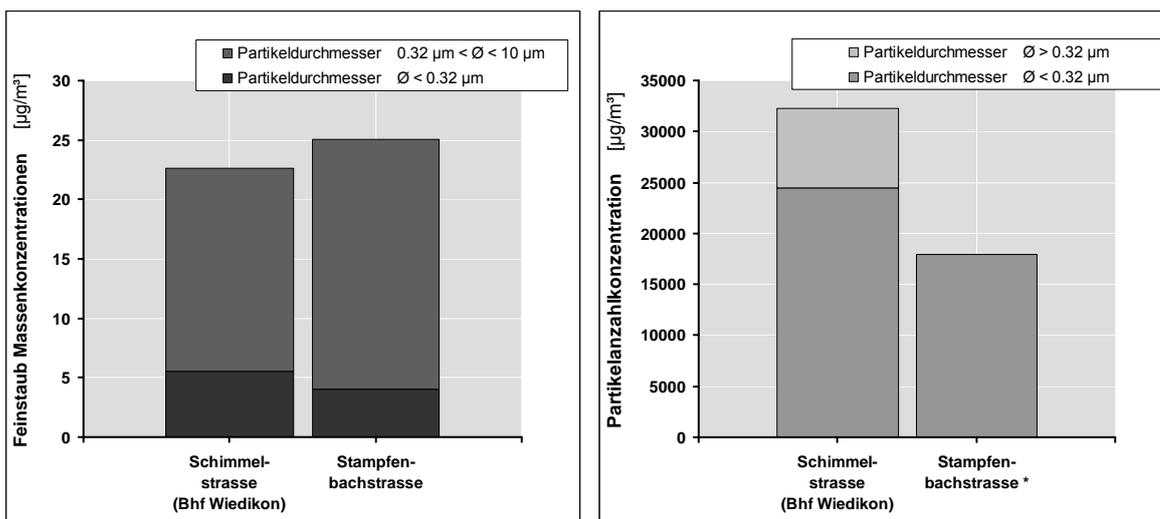


Abb. 18 Gegenüberstellung von Massen- und Anzahlkonzentration (* keine Daten für die Gesamtpartikelanzahl)

Die Daten zeigen auch, dass Emissionsbegrenzungen der Zahl ausgestossener Partikel, wie sie beispielsweise die zukünftigen Vorschriften für Motorfahrzeuge vorsehen (EURO5 und EURO6), in den kommenden Jahren zu einer Reduktion der Partikelanzahl (insbesondere kleinster Partikel) in der Aussenluft zur Folge haben werden. Sie zeigen jedoch auch, dass ihr Beitrag zur Senkung der PM10-Belastung eher bescheiden ausfallen wird.

Schwermetalle und weitere 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 Feinstaubes PM₁₀ gelangen sie über die Atemwege in den Körper, wo sie ihre gesundheitsschädigenden Auswirkungen entfalten können.

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

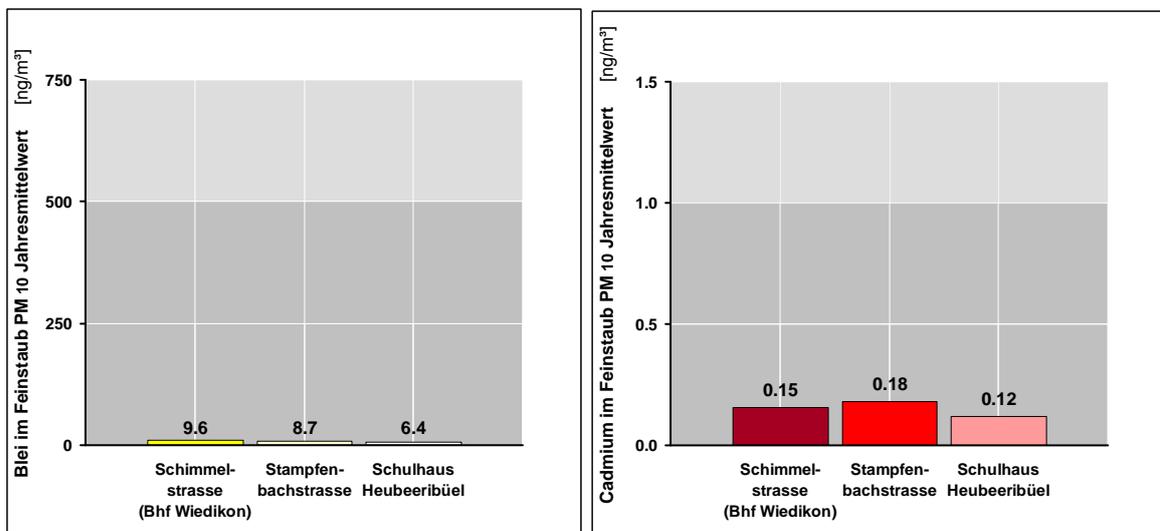


Abb. 19 Blei und Cadmium Massenkonzentration im Feinstaub PM₁₀ während der Messkampagne 2008

Mit dem Verbot von Blei-Additiven im Benzin und der Ausrüstung der Kehrlichtheizkraftwerke mit Rauchgasreinigungen ist die Belastung durch Blei im Feinstaub massiv gesunken und heute kein Thema mehr (Abb. 20).

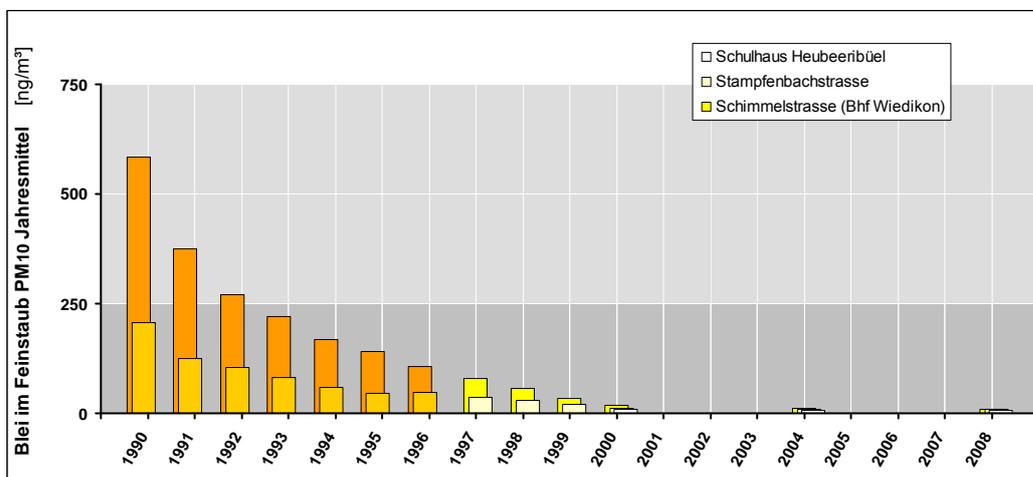


Abb. 20 Langzeitentwicklung des Bleianteils an Feinstaub PM₁₀ in der Stadt Zürich (bis 1996 Gesamtfinstaub, ab 1997 Feinstaub PM₁₀)

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 und heute ebenfalls keine Thema mehr ist.

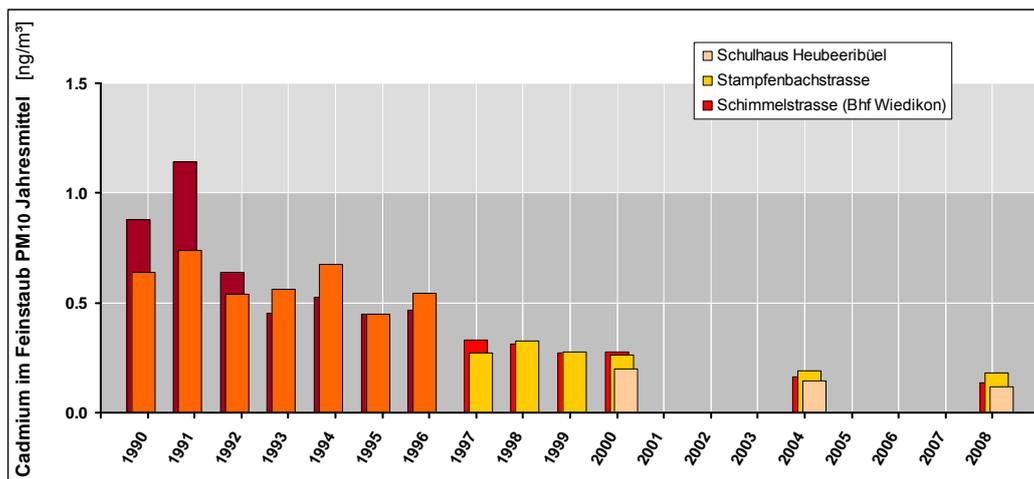


Abb. 21 Langzeitentwicklung des Cadmiumanteils an Feinstaub PM10 in der Stadt Zürich (bis 1996 Gesamtfinstaub, ab 1997 Feinstaub PM10)

Die Erfolge in der Reduktion der Schwermetalle Blei und Cadmium im Feinstaub PM10 hat dazu geführt, dass die Belastungen nur noch im Rahmen der periodischen Messkampagnen erhoben werden.

Neben den reglementierten Metallen Blei und Cadmium machen weitere Metalle einen wesentlichen Anteil des Feinstaubs PM10 aus (Abb. 22). Insbesondere können hohe Aluminium- (Al) und Eisenanteile (Fe) im Feinstaub verzeichnet werden. Diese stammen in erster Linie aus Abriebsprozessen aus Strassen- und Schienenverkehr (Tram), Aluminium teilweise auch aus natürlichen Quellen.

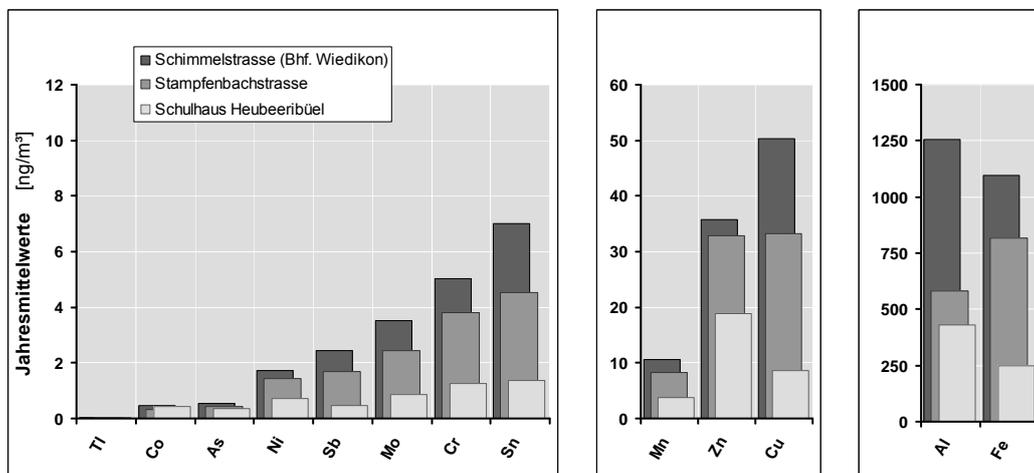


Abb. 22 Nicht reglementierte Metall-Anteile am Feinstaub PM10 im Rahmen der Messkampagne 2008

Salze

Ein weiterer 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 µg/m³). Diese Konstanz lässt darauf schliessen, dass diese Fraktion Bestandteil der Hintergrundbelastung ist und von städtischen Quellen nur geringfügig beeinflusst wird.

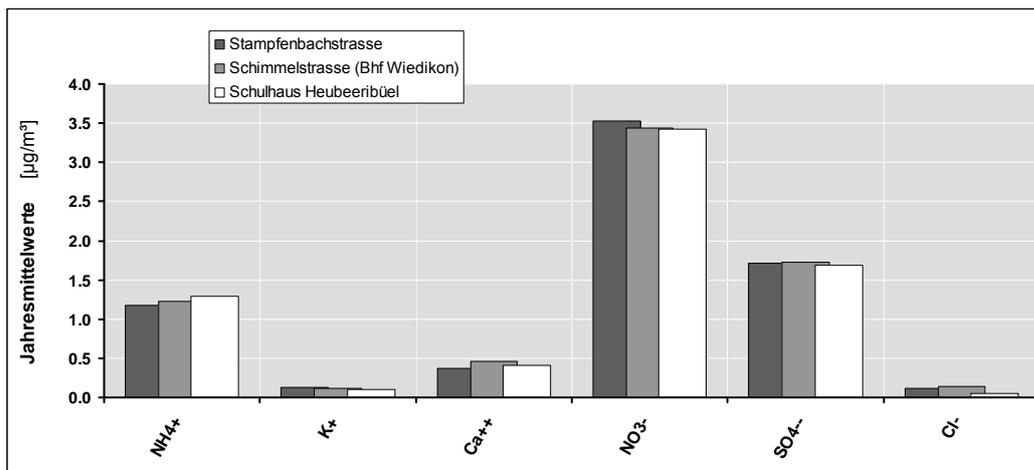


Abb. 23 Ionenanteile im Feinstaub PM10

Zusammensetzung des Feinstaubs PM10

Mit den Informationen der vorhergehenden Abschnitte lässt sich eine Aufteilung der PM10-Belastung auf die diversen Fraktionen durchführen. Die untersuchten Anteile machen 2/3 bis 3/4 der Feinstaubbelastung aus. Im nicht identifizierten Anteil finden sich Bestandteile wie Pneu- und Strassenabrieb oder auch natürliche Anteile (z.B. Sahara-Staub)

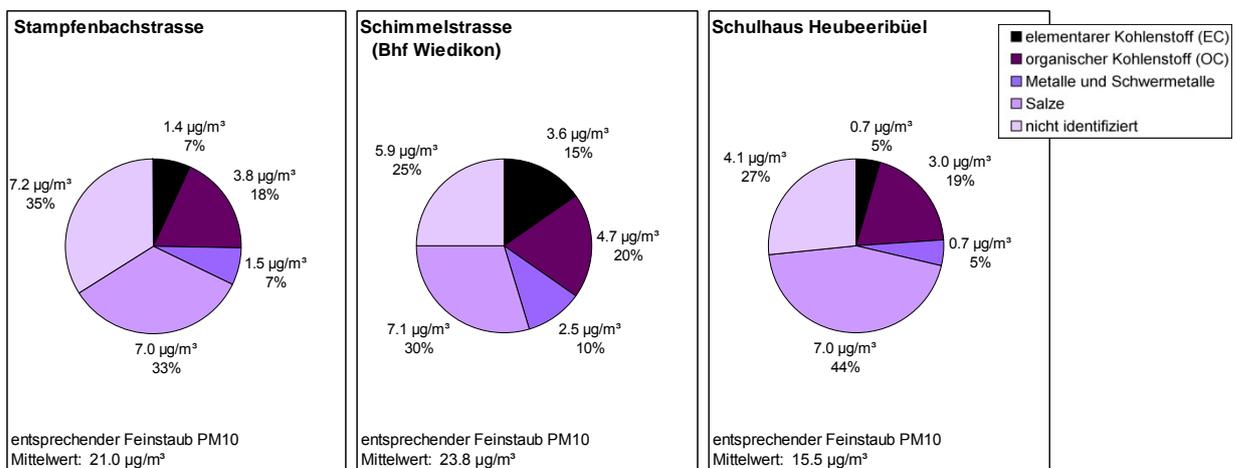


Abb. 24 Zusammensetzung des Feinstaubs PM10 im Rahmen der Messkampagne 2008 (Stichproben jeden 12. Tag)

Gut zu sehen ist der Strassen-, insbesondere der Schwerverkehrseinfluss, auf die EC- und die Metallfraktion.

4.3 Staubniederschlag

Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser grösser als etwa 30 µm werden nicht mehr dem Schwebestaub zugerechnet. Ihre Masse und in der Folge erhöhte Sinkgeschwindigkeit führen dazu, dass sie nicht mehr homogen in der Luft verteilt sind. Sie werden relativ schnell am Boden und anderen Oberflächen deponiert. Diese aus der Atmosphäre ausfallenden Teilchen werden als Staubniederschlag bezeichnet. Ebenfalls zum Staubniederschlag gezählt werden Feststoffe, welche durch Regen, Schnee, Hagel etc. aus der Atmosphäre abgeschieden werden.

Bei der Deposition handelt es sich um einen Prozess der „Selbstreinigung“ der Atmosphäre. Dabei spielen neben der rein massebedingten Sedimentation weitere Mechanismen eine wichtige Rolle:

- Auswaschen der Partikel durch Regentropfen
- Kondensation von Wasserdampf an den Aerosolteilchen (Wolkenbildung), mit anschliessendem Niederschlag.

Bei beiden Prozessen spricht man von nasser Deposition im Gegensatz zur trockenen Deposition, in der eher die emittierten Grobpartikel aus nahen Quellen (z.B. Ausfall aus Rauchfahnen) gefunden werden. Nasse Depositionen können auch Beiträge weit entfernter Staubemittenten enthalten. Messtechnisch wird der Staubniederschlag als Masse nasser und trockener Depositionen erfasst, die während eines definierten Zeitraums auf einer normierten Fläche aufgefangen wird (Exposition eines Sammelgefässes, Bergerhoff-Methode).

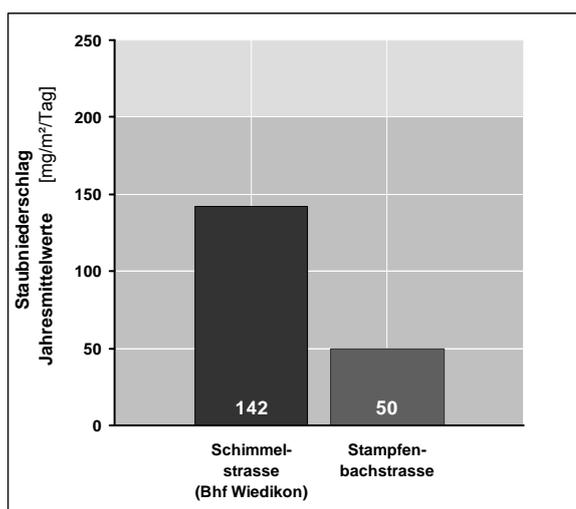


Abb. 25 Staubniederschlagswerte der Messkampagne 2008

Verglichen mit früheren Jahrzehnten ist in der Stadt Zürich die Menge des gesamten Staubniederschlags rückläufig. So wird der Grenzwert für Staubniederschlag heute auch an stark befahrenen Hauptverkehrsachsen wie der Schimmelstrasse eingehalten.

Entsprechend der positiven Entwicklung werden Depositionsdaten nicht mehr jährlich, sondern nur noch im Rahmen der flächendeckenden Messkampagnen erhoben. Dieses reduzierte Messprogramm wird auch in Zukunft aufrechterhalten, da die höchsten Belastungen nach wie vor in urbanen Gebieten auftreten. Zudem ist der Staubbiederschlag eine Luftverunreinigung die von der Bevölkerung gut wahrgenommen werden kann, was immer wieder zu entsprechenden Anfragen und Klagen führt.

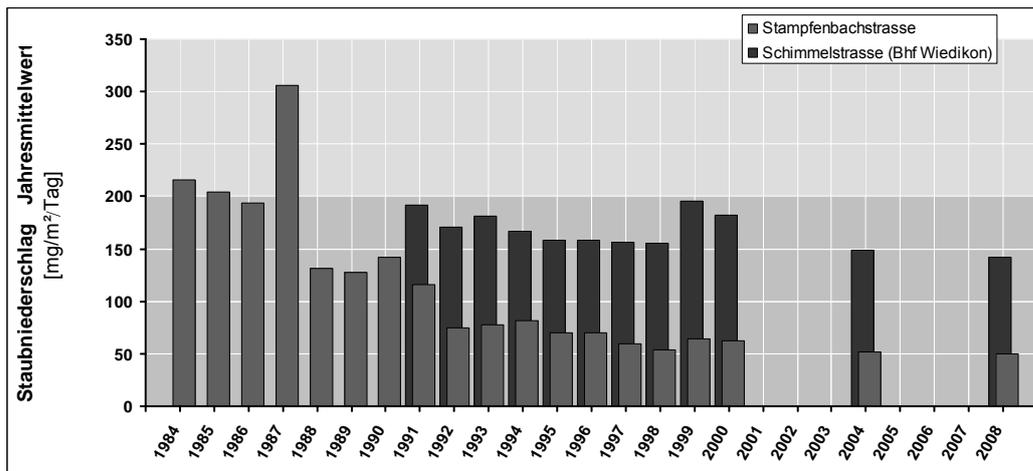


Abb. 26 Entwicklung des Staubbiederschlags in der Stadt Zürich ab 1984

4.4 Staubbiederschlag Inhaltsstoffe

Die chemische Zusammensetzung des Staubbiederschlags 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 Staubbiederschlag aus Grobpartikeln besteht, die nicht eingeatmet werden, hat er kaum direkte Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Indirekt stellen die Schwermetalle im Staubbiederschlag 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. Luftreinhaltung dient also auch dem Schutz des Bodens.

Blei

Blei zeigt eine ausgeprägte Tendenz zur Anreicherung im Boden. Die jahrzehntelange Verwendung verbleiten Benzins hat zu irreversiblen Bodenbelastungen geführt. Bei Mensch und Tier führt Blei zu Störungen der Biosynthese von Hämoglobin und zu Blutarmut. Es beeinträchtigt das Nervensystem und schädigt die Nieren.

Das im Staubbiederschlag und im Schwebstaub enthaltene Blei stammte in früheren Jahren hauptsächlich aus dem Motorfahrzeugverkehr. Mit der Eliminierung des Bleis im Benzin hat der Ausstoss dieses toxischen Schwermetalls stark abgenommen. So liegen auch die Messwerte der Messkampagne 2008 deutlich unter dem Grenzwert der LRV (Abb. 27)

Die bis 1995 noch problematische Blei-Deposition an verkehrsexponierten Messorten konnte deutlich unter den Grenzwert gesenkt werden. Grenzwertüberschreitungen sind heute und in Zukunft keine mehr zu erwarten.

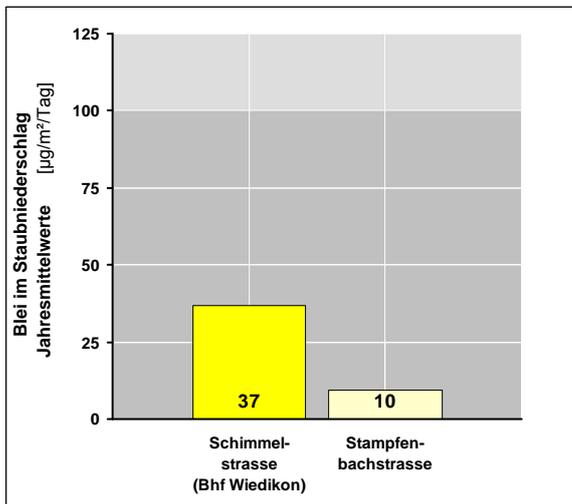


Abb. 27 Bleideposition der Messkampagne 2008

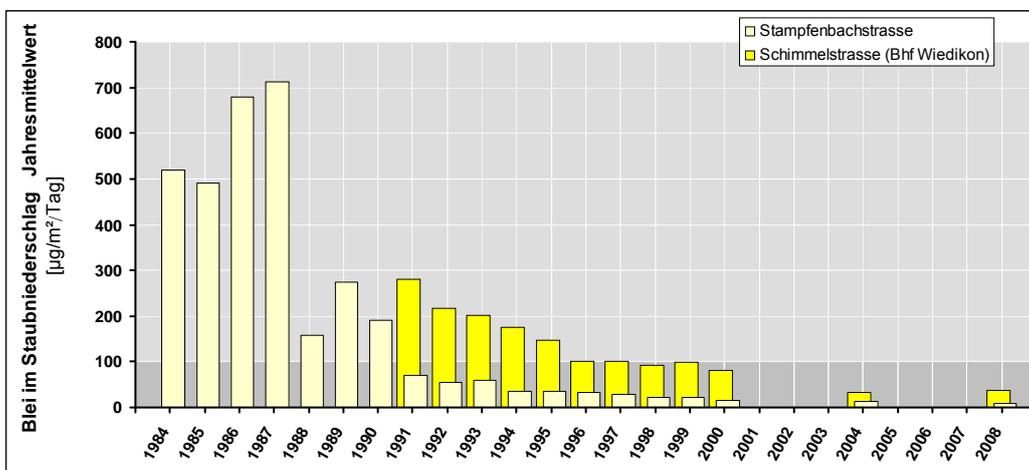


Abb. 28 Langzeitentwicklung der Blei-Deposition in der Stadt Zürich

Cadmium

Cadmium stammt aus einer Vielzahl von Quellen. In früheren Jahren beispielsweise aus der Metallverarbeitung, der Herstellung von Farbpigmenten und aus der Verfeuerung von Kohle. Die Verwendung von Cadmium und seiner Verbindungen ist seither massiv eingeschränkt oder gar verboten worden [12]. Die noch bis in die 1980er Jahre praktizierte Cadmierung zum Korrosionsschutz stellt jedoch noch heute eine diffuse Quelle dar (Verwitterung). Die Kehrichtheizkraftwerke stossen nach ihrer Sanierung nur noch geringe Mengen an Cadmium aus.

Cadmium ist hoch toxisch und als Krebs erzeugend eingestuft. Es wird von vielen Pflanzen leicht aus dem Boden aufgenommen. Cadmium schädigt bei Mensch und Säugetier vor allem Nieren, Leber und Knochen.

Auch die Immissionen von Cadmium im Staubniederschlag sind in der Folge der umgesetzten Reduktionsmassnahmen in den letzten Jahren massiv zurückgegangen. Die Messwerte der Messkampagne 2008 liegen auf dem tiefsten Stand seit Messbeginn und deutlich unter den Grenzwerten der LRV.

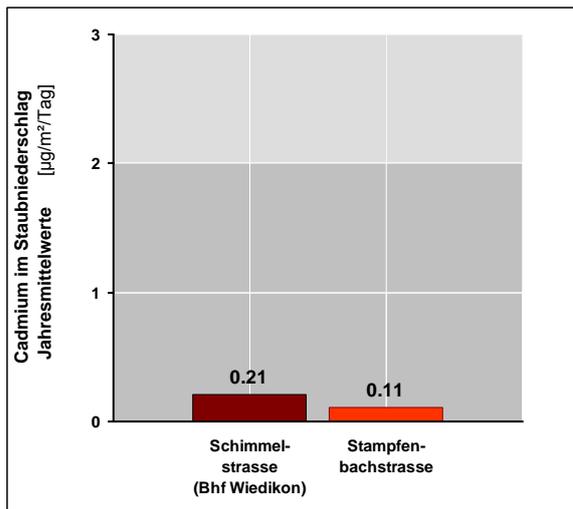


Abb. 29 Cadmium-Deposition der Messkampagne 2008

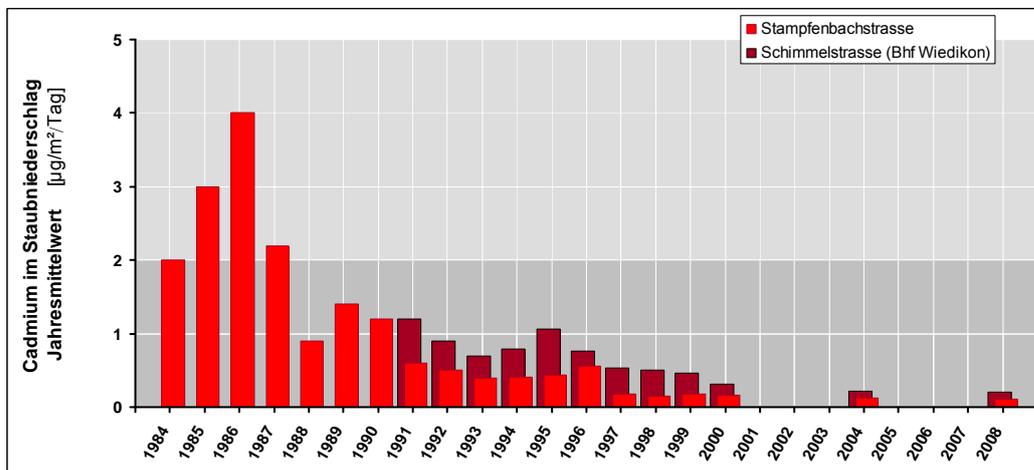


Abb. 30 Langzeitentwicklung der Cadmium-Deposition in der Stadt Zürich

Wie im Fall der Blei-Deposition liegt die Cadmium-Deposition heute deutlich unter den Grenzwerten der LRV. Die konsequente Eliminierung von Cadmium im Alltagsgebrauch kann mit den Messwerten belegt werden.

Zink

Zink ist ein häufiges und weltweit verbreitetes Schwermetall. Es findet Verwendung in der industriellen Produktion und für den Korrosionsschutz von Eisen und Stahl. Ausserdem ist es in relativ hohen Konzentrationen in fossilen Brenn- und Treibstoffen enthalten. Der motorisierte Strassenverkehr emittiert Zink zusätzlich durch Abriebsprozesse. Minderungsmaßnahmen in

der Industrie und der Kehrichtverbrennung haben auch bei Zink einen starken Rückgang der Deposition bewirkt. Heute ist der Verkehr Hauptemittent, wie auch die Höchstwerte an stark befahrenen Strassen belegen. Für Menschen, Tiere und Pflanzen ist Zink ein lebensnotwendiges Spurenelement (in zahlreichen Enzymen enthalten). In höheren Dosen wirkt es jedoch auf Pflanzen und Mikroorganismen toxisch. Die Zinkdeposition ist deshalb zum Schutze des Bodens begrenzt.

Die Messwerte der Messkampagne 2008 zeigen ein gemischtes Bild. Während an schwach bis mässig verkehrsexponierten Messorten der Grenzwert der Zink-Deposition klar eingehalten wird, zeigt sich am stark verkehrsexponierten Messort Schimmelstrasse, dass die Zink-Deposition weiterhin im Bereich des Grenzwerts liegt und diesen 2008 auch überschreitet.

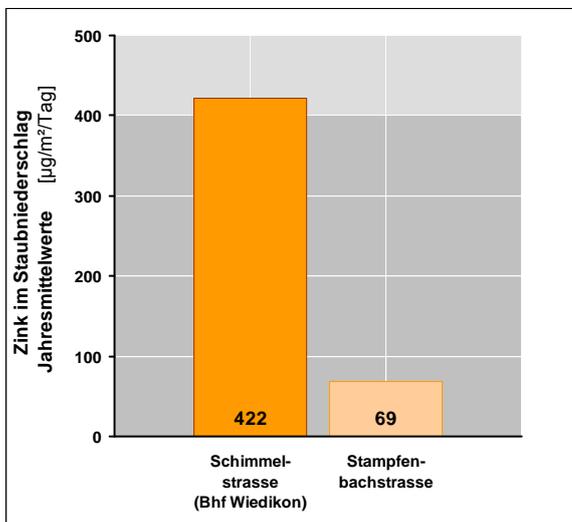


Abb. 31 Zinkdeposition der Messkampagne 2008

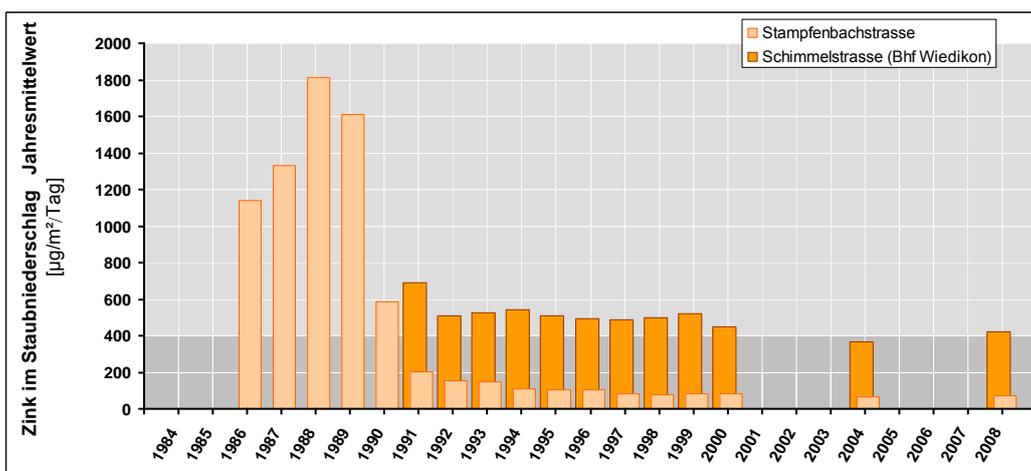


Abb. 32 Langzeitentwicklung der Zink-Deposition in der Stadt Zürich

Die Zink-Deposition am Messort Schimmelstrasse ist seit den 80er Jahren nur leicht rückläufig und bewegt sich in den letzten Jahren im Bereich des Grenzwerts und überschreitet diesen auch ab und zu.

Thallium

Die Deposition von Thallium wird nicht mehr erfasst, da die Belastungen in der ganzen Schweiz weit unter dem Grenzwert liegen (erhöhte Konzentrationen sind am ehesten noch in der näheren Umgebung von Zementwerken zu erwarten).

4.5 Stickstoffdioxid

Stickoxide (NO_x) entstehen vor allem als unerwünschte Nebenprodukte bei Verbrennungsvorgängen. Bei hohen Temperaturen reagiert der Luftstickstoff (N_2) mit dem Sauerstoff (O_2) der für die Verbrennung benötigten Luft. Ein geringerer Teil 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 Luftreinhalteverordnung (LRV) sind nur für NO_2 Immissionsgrenzwerte festgelegt.

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.

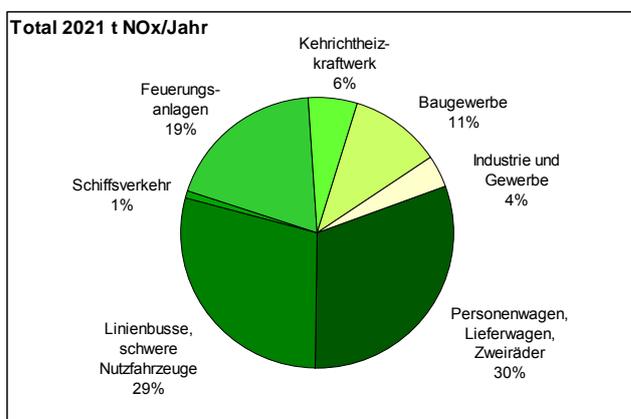


Abb. 33 NO_x Emissionen nach Verursacherguppen in der Stadt Zürich 2005

Auch atmosphärenchemisch nehmen die Stickoxide eine zentrale Rolle ein. Sie spielen bei der Ozonbildung in der unteren Atmosphäre und bei der Entstehung saurer Niederschläge (Bildung von Salpetersäure) eine wesentliche Rolle. Sie sind auch indirekt auch an der Entstehung von Feinstaub PM_{10} beteiligt (Bildung sekundärer Partikel). Auf Pflanzen können Stickoxide, abhängig von der Konzentration, sowohl direkte toxische Wirkungen, als auch unerwünschte Düngeeffekte haben. Letztere führen zu Veränderungen in der Artenzusammensetzung naturnaher oder natürlicher Ökosysteme.

Gegenwärtig (2005) beträgt in der Stadt Zürich der gesamte jährliche Ausstoss an Stickoxiden rund 2'000 Tonnen. Dazu trägt der motorisierte Strassenverkehr ca. 60 % bei. In der Stadt Zürich ist die NO_2 -Belastung weitgehend hausgemacht, die Immissionen werden weitgehend durch die eigenen NO_x -Emissionen aus Verkehr und Feuerungen verursacht. Entsprechend

seinem hohen Beitrag und der bodennahen Freisetzung seiner Abgase, bestimmt im Wesentlichen der motorisierte Strassenverkehr das Belastungsmuster.

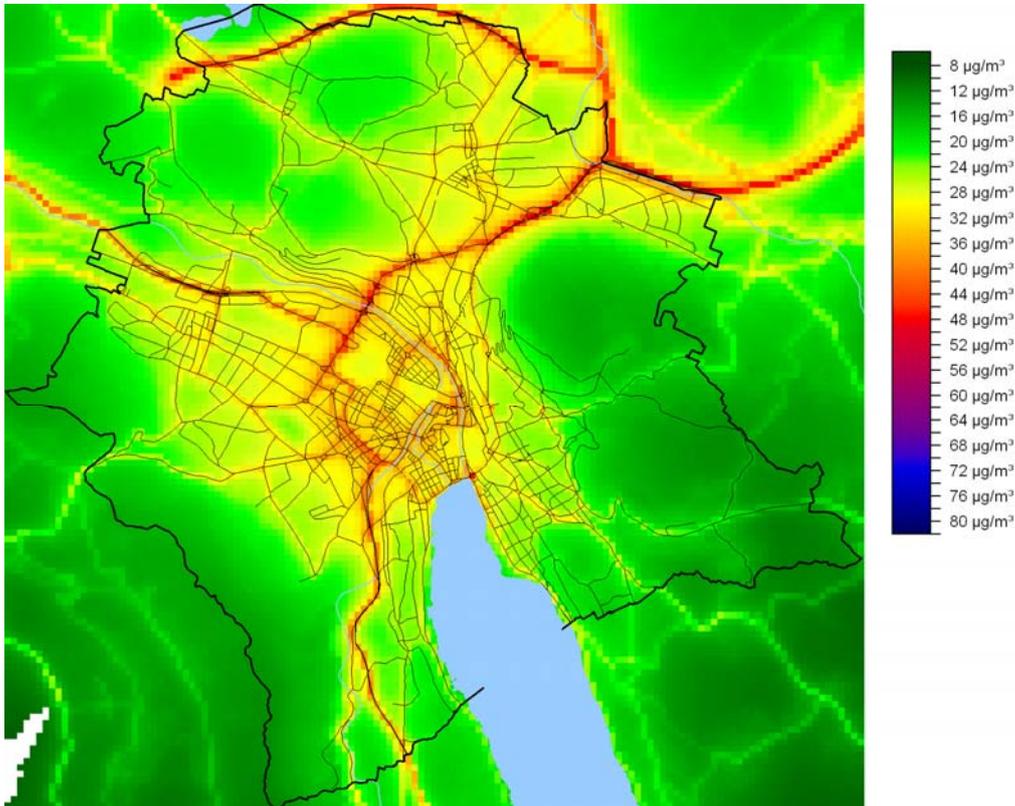


Abb. 34 Modellierter NO₂-Belastung in der Stadt Zürich 2008

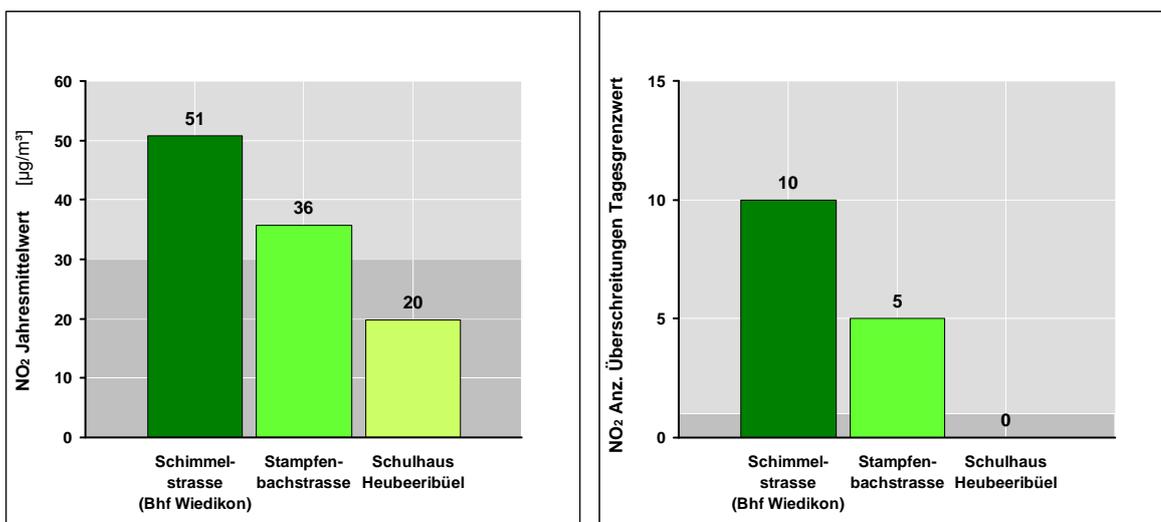


Abb. 35 Jahresmittelwerte und Anzahl Überschreitungen des Tagesmittelwerts für Stickstoffdioxid 2008 an den kontinuierlichen Messstationen in der Stadt Zürich

Die Messwerte der kontinuierlichen Messstationen zeigen an verkehrsexponierten Messorten weiterhin teils deutliche Überschreitungen der Grenzwerte der LRV. Nur abseits von Strassen und in Wohngebieten mit zunehmender Distanz zum Stadtzentrum können die Grenzwerte eingehalten werden.

Die langjährige Belastungsgrafik von NO₂ zeigt einen ähnlichen Verlauf, wie diejenige von Feinstaub PM10. 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 Jahren eine Tendenz zur Stagnation. Dies lässt sich in den Langzeitentwicklungen (Abb. 36) 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 bei der Zahl der Überschreitungen des Tagesgrenzwerts nieder.

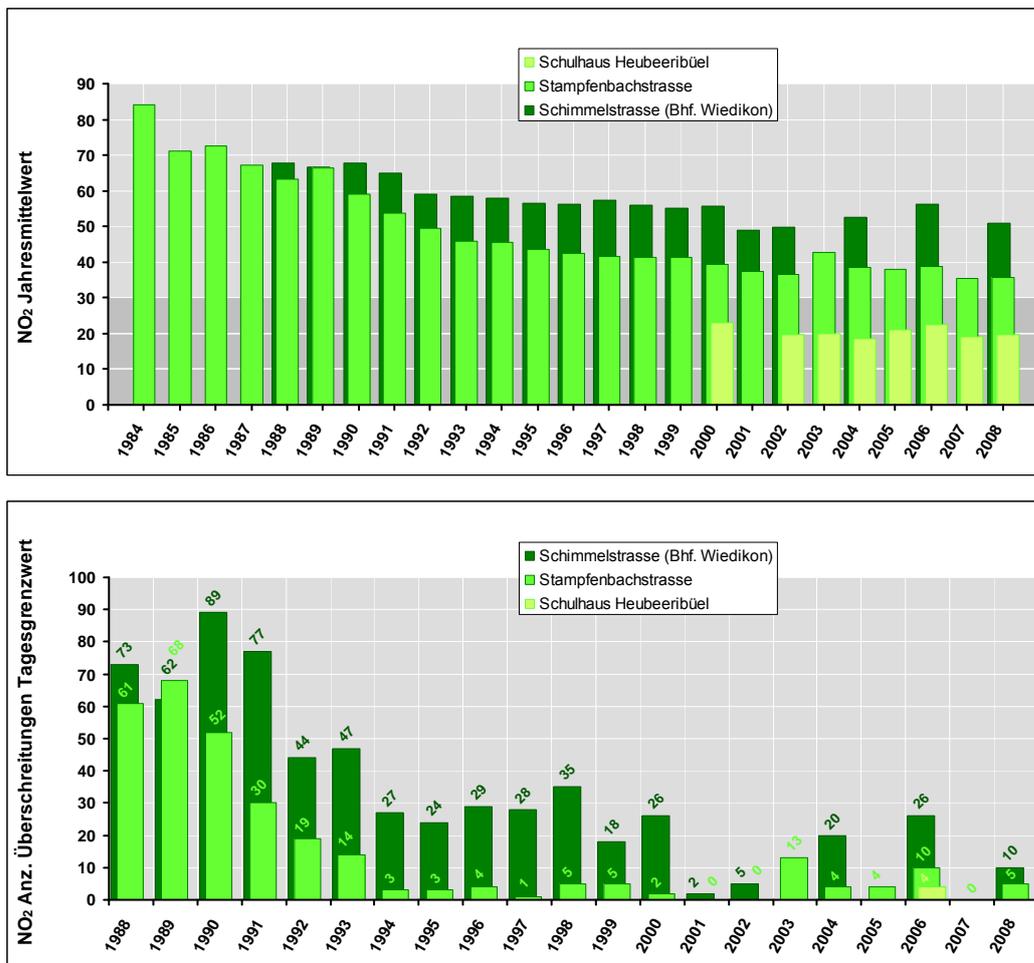


Abb. 36 Langzeitentwicklung Stickstoffdioxid in der Stadt Zürich (Jahresmittelwerte oben, Anzahl Überschreitungen des Tagesgrenzwerts unten)

Mit dem Einsatz von NO₂-Passivsammlern 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 Verfahren (vgl. Anhang A4).

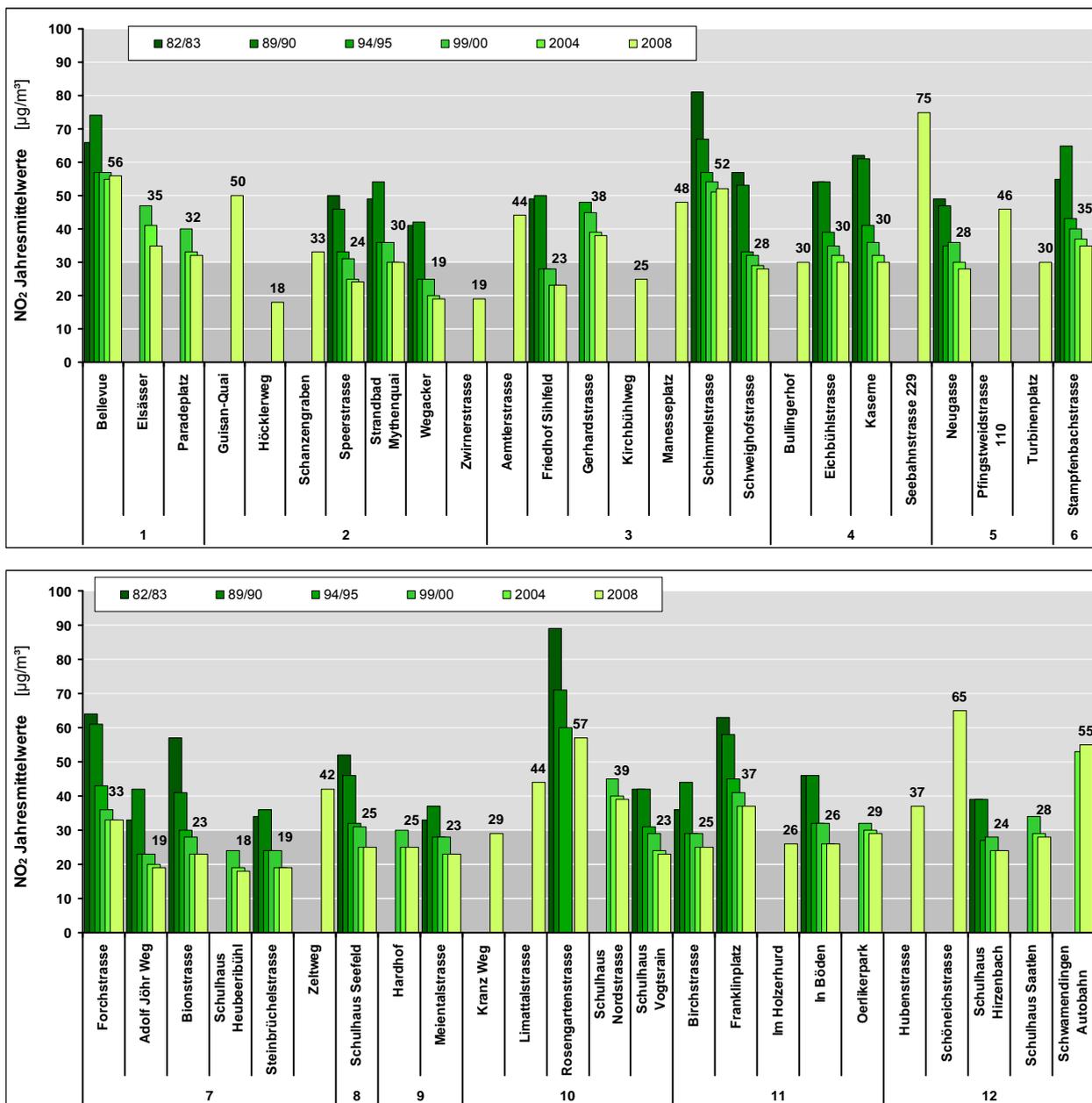


Abb. 37 Entwicklung und aktuelle Messwerte 2008 für NO₂ an den Passivsammler-Messorten der Messkampagne 2008

Die Resultate der Passivsammlermessungen zeigen, dass sich die NO₂-Belastung insbesondere an verkehrsexponierten Messorten deutlich verbessert hat. So liegen die Messwerte im Bereich des Langzeitgrenzwerts oder halten diesen deutlich ein. Sie zeigen auch, dass die Abnahme an verkehrsexponierten Messorten deutlich geringer ausfällt. Wieso dies so ist, kann mit der folgenden Grafik (Abb. 38) gezeigt werden. Sie zeigt den Zusammenhang zwischen den

NO₂-Messwerten und den entsprechenden Gesamtstickoxid NO_x-Messwerten an Messorten in und im nahen Umfeld der Stadt Zürich.

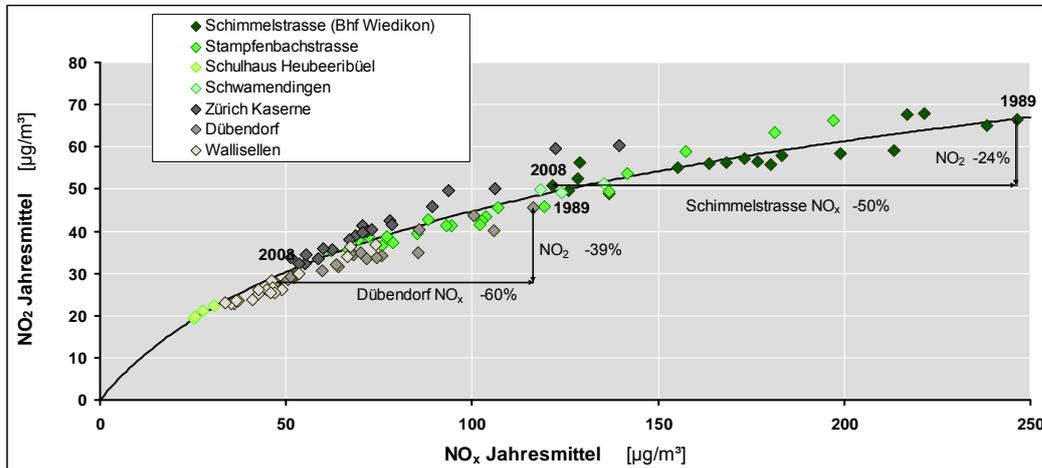


Abb. 38 NO₂-Jahresmittelwerte in Funktion des NO_x-Jahresmittelwerts an Messstationen in der Stadt Zürich und der näheren Agglomeration seit Messbeginn an den jeweiligen Messorten (NO_x in µg/m³ NO₂) (Quelle Daten Zürich-Kaserne, Dübendorf: BAFU/EMPA – Quelle Daten Wallisellen: OSTLUFT)

Hat sich die NO_x-Belastung an der Schimmelstrasse zwischen 1989 und 2008 halbiert, so hat die NO₂-Belastung im selben Zeitraum nur gerade um 24% abgenommen. Wird dieselbe Betrachtung für den NABEL-Messort Dübendorf durchgeführt, hat die NO₂-Belastung in diesem Zeitraum deutlich stärker abgenommen. Um an der Schimmelstrasse die NO₂-Immissionen in den Bereich des Grenzwerts zu senken, müssten die Stickoxid-Emissionen um mindestens noch einen Faktor 2 gesenkt werden.

4.6 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 µg/m³). 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 [13]). 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. 39).

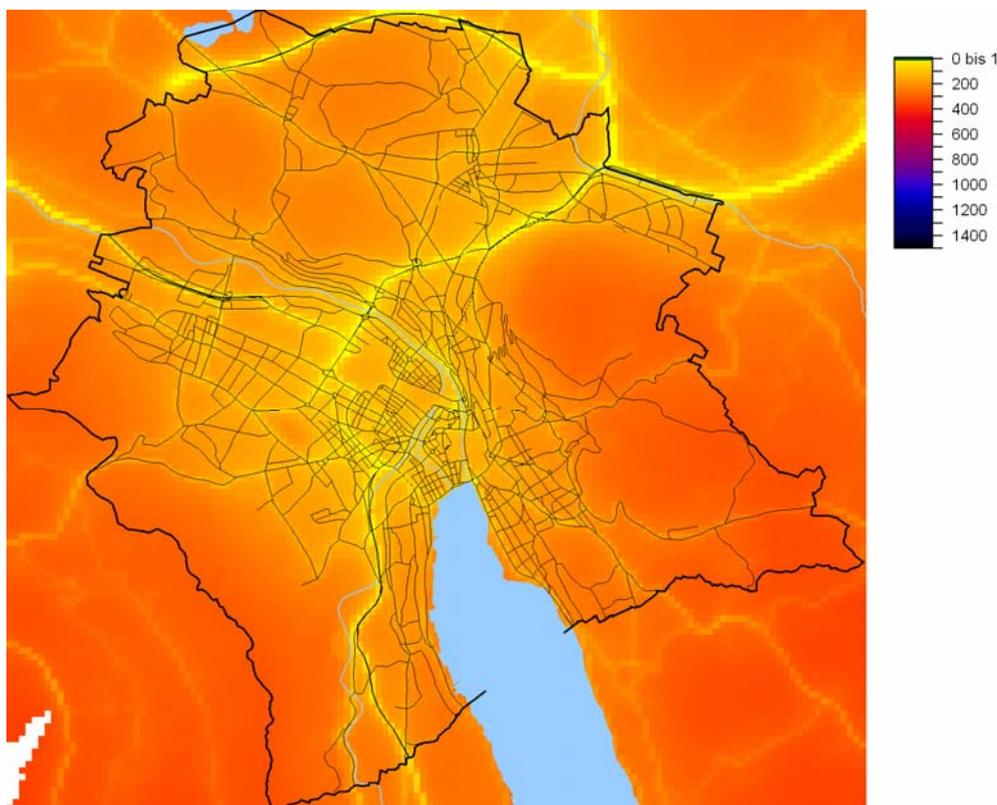


Abb. 39 Modell der Zahl der Überschreitungen des O_3 -Stundengrenzwerts in der Stadt Zürich 2008

Die geringere Belastung in Quellnähe 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.

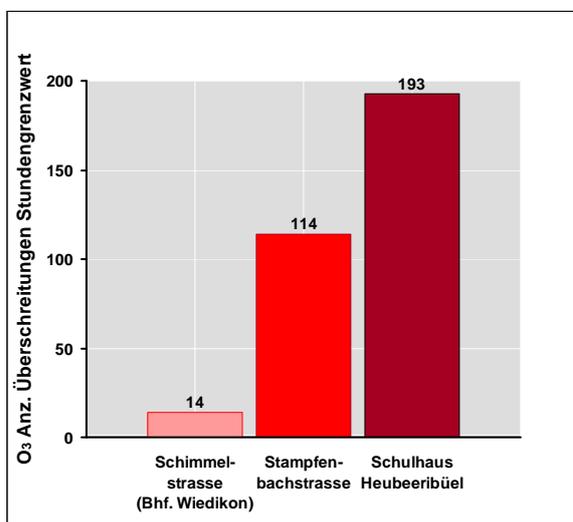


Abb. 40 Anzahl Überschreitungen des Ozon Stundengrenzwerts in der Stadt Zürich 2008

Auf Grund der ausgeprägten Wetterabhängigkeit schwankt die Ozonbelastung von Jahr zu Jahr. Das Ausbleiben lang anhaltender, hochsommerlicher Wetterlagen 2008 schlägt sich auch in der Zahl der Überschreitungen des Stundengrenzwerts für Ozon nieder. An allen Messorten wurde die geringste Zahl an Überschreitungen seit 1990 registriert.

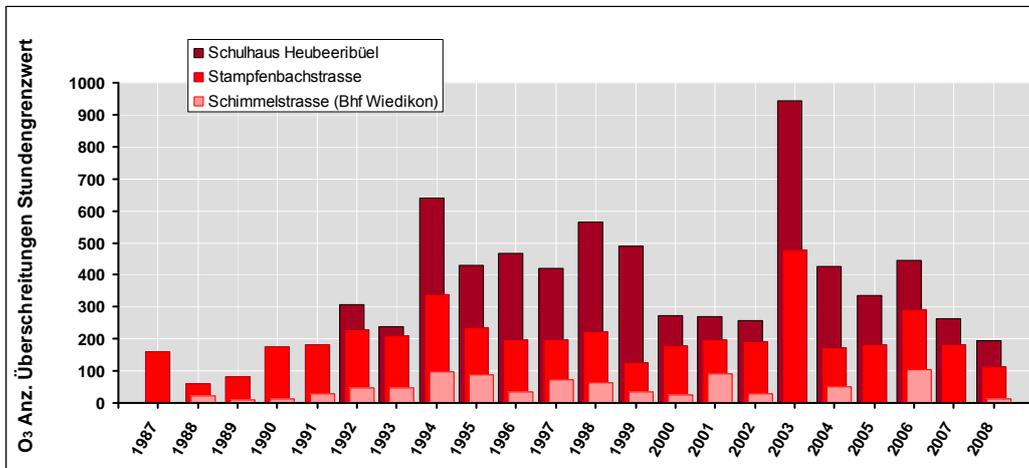


Abb. 41 Langzeitentwicklung der Zahl der Überschreitungen des Ozon-Stundengrenzwerts in der Stadt Zürich

Zur Beurteilung der Langzeitbelastung dient der 98-Perzentilwert eines Monats - 98% aller gemessenen Halbstundenmittelwerte eines Monats für Ozon liegen unter diesem Wert. Wird die Langzeitentwicklung der 98-Perzentilwerte betrachtet (Abb. 42), so scheint sich eine Abnahme der Ozonbelastung über die Jahre abzuzeichnen.

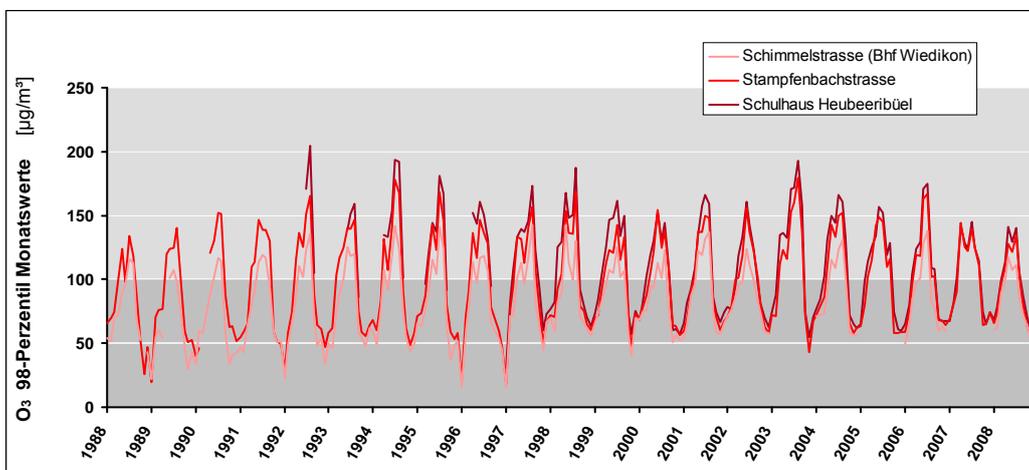


Abb. 42 Langzeitentwicklung der 98-Perzentil Monatswerte für Ozon in der Stadt Zürich

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 Heubeerbüel 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.

So haben die mittleren Spitzenbelastungen beim Schulhaus Heubeerbüel um $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, an der Stampfenbachstrasse um $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jährlich abgenommen. Einzig am stark verkehrsexponierten Messort Schimmelstrasse bleiben die mittleren Ozon-Höchstwerte auf tiefem Niveau stabil.

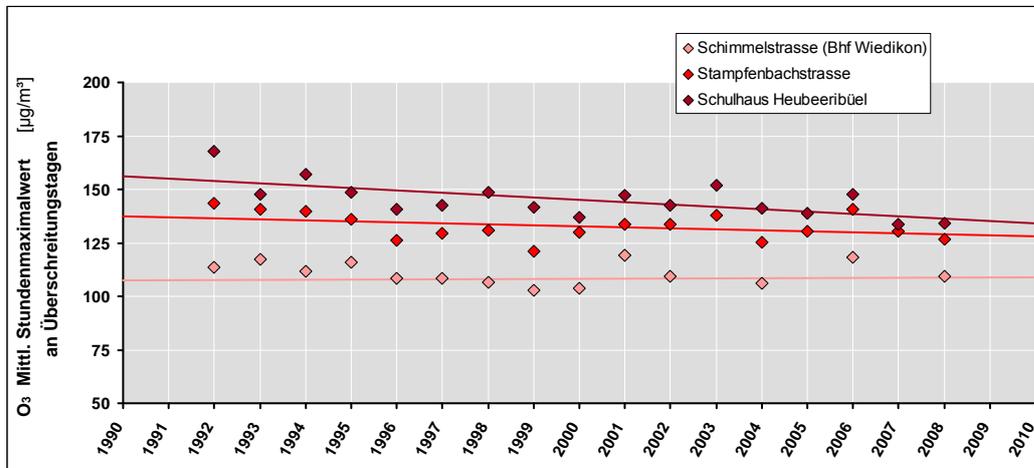


Abb. 43 Entwicklung der mittleren Maximalbelastungen an Ozon seit 1992 in der Stadt Zürich

4.7 Carbonyl-Verbindungen

Erstmals wurden 2008 im Rahmen der Messkampagne die Luftbelastung durch Carbonyle (Aldehyde, Ketone) untersucht. Carbonyle sind ein Teil der VOC und spielen eine nicht unwesentliche Rolle in der komplexen Chemie des Photo-smogs. Diverse der Verbindungen sind zudem für Mensch und Umwelt gesundheitsgefährdend. Verschiedene Substanzen stehen im Verdacht krebserregend zu sein. Bekannteste Vertreter sind Formaldehyd, ein bekanntes Wohngift, oder Aceton, ein oft verwendetes Lösungsmittel.

Aldehyde stammen aus vielen Quellen. Sie können natürlichen Ursprungs sein, werden jedoch auch vom Strassenverkehr, insbesondere dem Schwerverkehr, freigesetzt. Ketone sind gebräuchliche Lösungsmittel, welche in industriellen Anwendungen, z.B. im Druckgewerbe, zum Einsatz kommen.

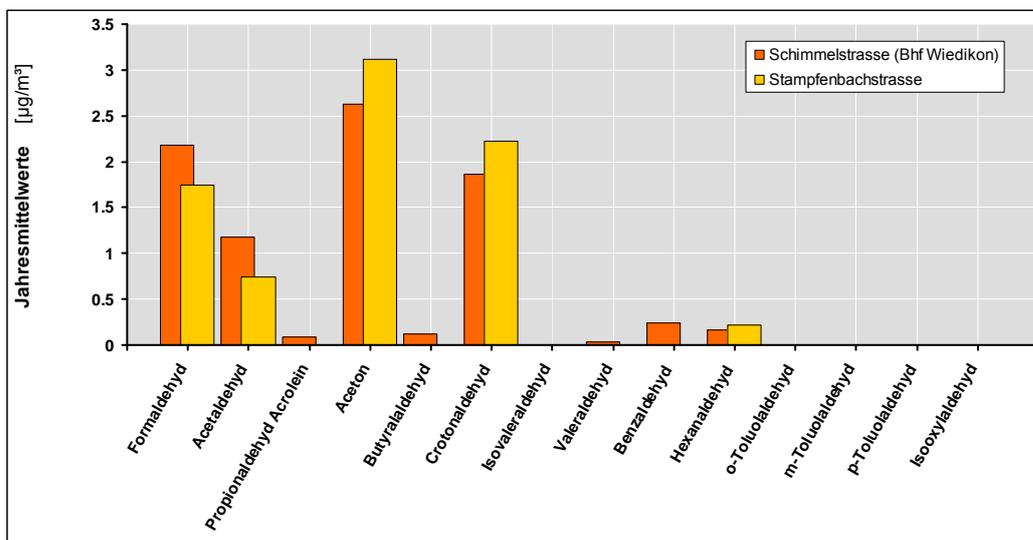


Abb. 44 Jahresmittelwerte ausgewählter Carbonylverbindungen 2008 (Messwerte unter der Bestimmungsgrenze werden nicht angezeigt)

4.8 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.

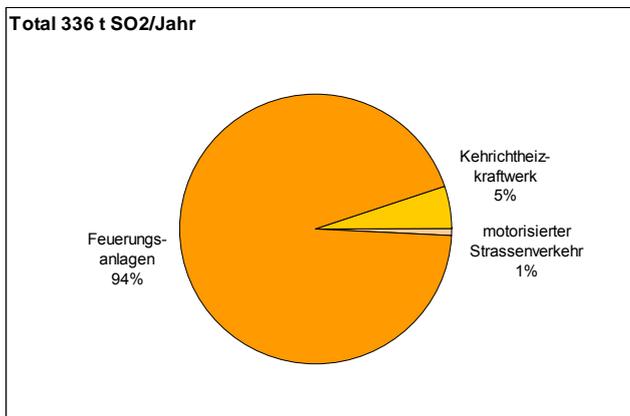


Abb. 45 SO_2 Emissionen nach Verursachern in der Stadt Zürich 2005

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, beispielsweise bei der Herstellung von Grafit, können auch unangenehme Geruchsbelästigungen auftreten.

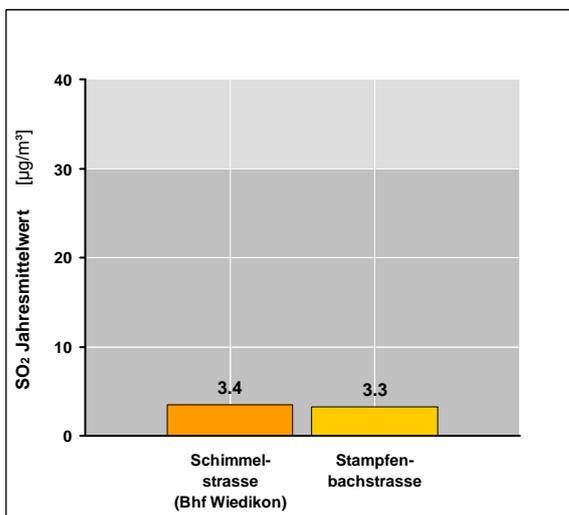


Abb. 46 Schwefeldioxid-Jahresmittelwerte 2008 in der Stadt Zürich

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. Die Jahrmittelwerte 2008 liegen an allen Messorten bei 10% des Grenzwerts der LRV. Vereinzelt Überschreitungen des maximalen Tagesmittelwerts wurden noch bis Anfang der 90er Jahre während mehrtägiger Inversionslagen im Winter registriert.

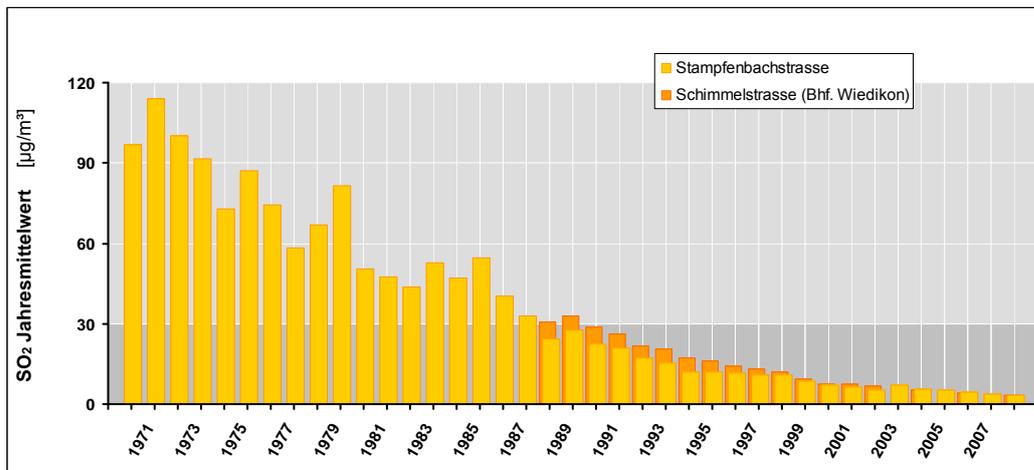


Abb. 47 Langzeitentwicklung der Schwefeldioxid-Belastung in der Stadt Zürich

Diese starke Verbesserung ist zum Teil mit dem Ersatz von stark schwefelhaltigen Brennstoffen (Kohle, Schweröl) durch fossile Energieträger mit geringem Schwefelgehalt (Heizöl „Extra leicht“, Erdgas) zu erklären. Die Lenkungsabgaben auf Heizöl „Extra leicht“ mit einem Schwefelgehalt von mehr als 0.1% [14] sowie auf Benzin und Diesel mit einem Schwefelgehalt von mehr als 0.001% [15] 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 auf die Partikelbildung einen grossen Einfluss hat.

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.

4.9 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.

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 Kehrlichtverbrennung.

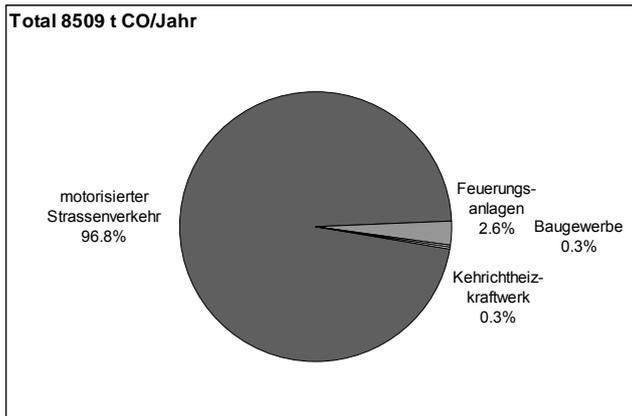


Abb. 48 CO Emissionen nach Verursachern in der Stadt Zürich 2005

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. Die maximalen Tagesmittelwerte 2008 liegen an den Messorten Stampfenbachstrasse, wie Schimmelstrasse mit 1.2 mg/m^3 deutlich unter dem Grenzwerte von 8 mg/m^3 (Abb. 49).

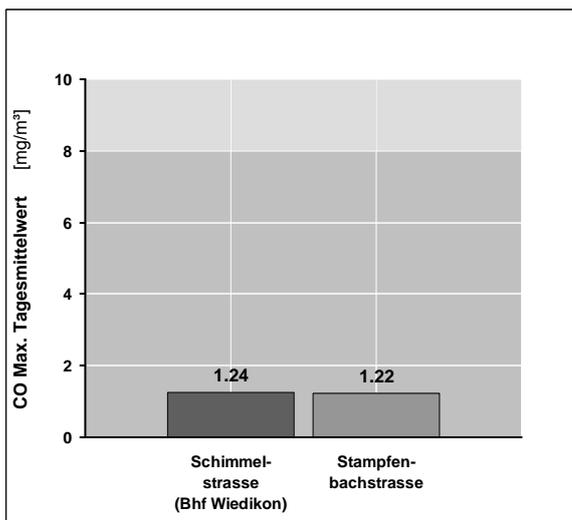


Abb. 49 Maximale Kohlenmonoxid-Tagesmittelwerte 2008 in der Stadt Zürich

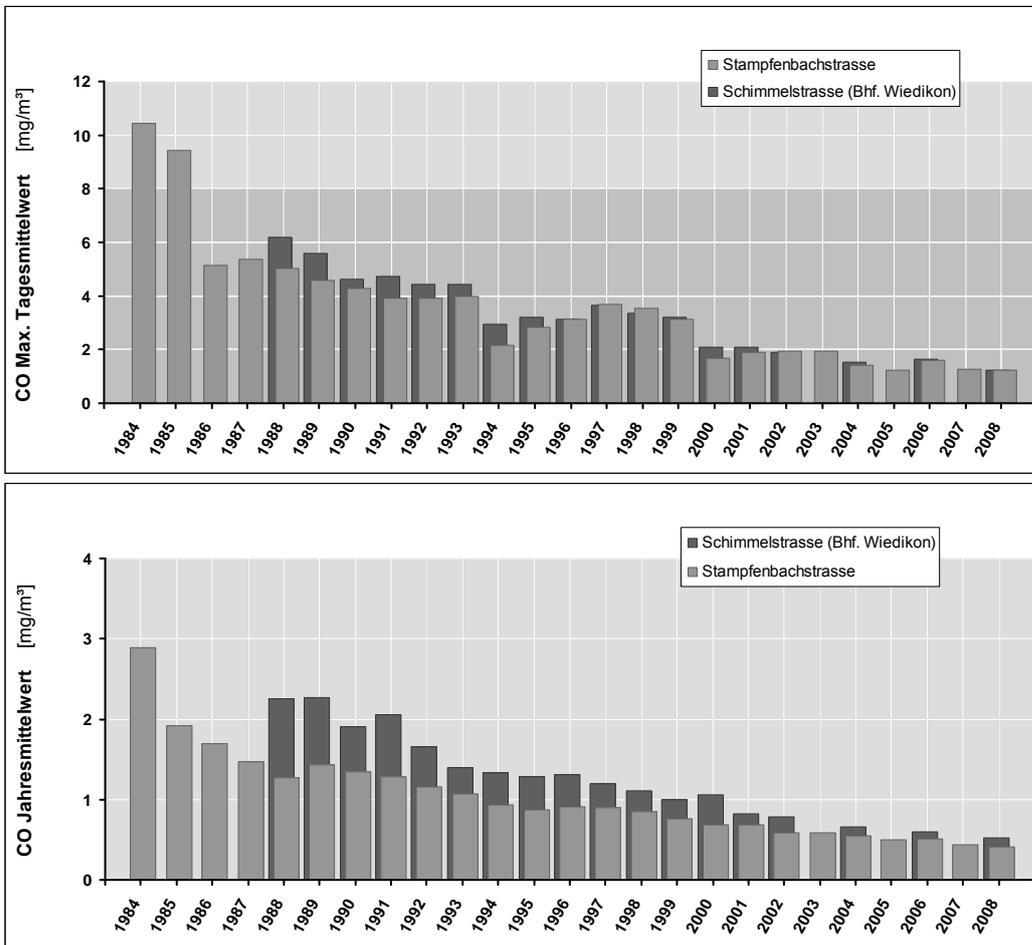


Abb. 50 Langzeitentwicklung der Kohlenmonoxid-Belastungen (Maximale Tagesmittelwerte oben, Jahresmittelwerte unten) in der Stadt Zürich

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.

5 Literatur

- [1] Schweiz. Eidgenossenschaft, Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG), Stand am 1. August 2008, SR 814.01, EDMZ, Bern, 1983
- [2] Schweiz. Eidgenossenschaft, Luftreinhalte-Verordnung (LRV), Stand am 1. Januar 2009, SR 814.318.142.1, EDMZ, Bern, 1985
- [3] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Luftbelastung in der Stadt Zürich 1982/83, Zürich, 1983,
- [4] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Luftbelastung in der Stadt Zürich - Resultate 1989/90, Zürich, 1990,
- [5] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Luftbelastung in der Stadt Zürich - Resultate der Messkampagne 1994/95, Zürich, 1995,
- [6] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Fachbereich Labor, Luftbilanz Stadt Zürich 2000, Zürich, 2001
- [7] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Fachbereich Labor, Luftbilanz Stadt Zürich 2004, Zürich, 2007
- [8] BUWAL, Schwebestaub - Messung und gesundheitliche Bewertung, Schriftreihe Umwelt, Bd. Nr. 270, BUWAL, 1996
- [9] 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
- [10] C. Braun-Fahrlander 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
- [11] econcept, Die luftschadstoffbedingten Gesundheitskosten in der Stadt Zürich, im Auftrag Gesundheits- und Umweltdepartement der Stadt Zürich, Zürich, 2008
- [12] Schweiz. Eidgenossenschaft, Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV), Stand am 1. Februar 2009, SR 814.81, EDMZ, Bern, 2007
- [13] Bundesamt für Umwelt (BAFU), Flüchtige organische Verbindungen (VOC) - Anthropogene VOC-Emissionen Schweiz 1998, 2001 und 2004 2007
- [14] 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
- [15] 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
- [16] Neosys AG, Emissionen des Strassenverkehrs in der Stadt Zürich 2004, im Auftrag Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Gerlafingen, 2005
- [17] M. Scheller, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Abstandsversuche mit NO₂-Passivsammlern, Bericht Nr. 20060913, Zürich, 2006
- [18] E. Parlow et al., Klimaanalyse der Stadt Zürich (KLAZ) - Abschlussbericht Phase 1, im Auftrag Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Basel/Berlin, 2008

- [19] VDI, Chemisch-analytische Bestimmung des elementaren Kohlenstoffes nach Extraktion und Thermodesorption des organischen Kohlenstoffes - Messen von Russ (Immission), VDI 2465 Blatt 1, Düsseldorf, 1996
- [20] VDI, Thermographische Bestimmung des elementaren Kohlenstoffes nach Thermodesorption des organischen Kohlenstoffes - Messen von Russ (Immission), VDI 2465 Blatt 2, Düsseldorf, 1999
- [21] C. Hüglin, Zeitlich hochaufgelöste chemische Charakterisierung von Feinstaub an NABEL-Stationen, Fachtagung "Feinstaub in der Schweiz", Dübendorf EMPA Akademie, 2006
- [22] E. D. Palmes et al., Personal Sampler for Nitrogen Dioxide, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **37**, (10), 570 - 577, 1976
- [23] 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

Anhänge

A1 Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV)

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></p> <p>mg = Milligramm: 1 mg = 0.001 g µg = Mikrogramm: 1 µg = 0.001 mg ng = Nanogramm: 1 ng = 0.001 µg</p> <p>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) (Schweiz. Eidgenossenschaft 1983) 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 keinerlei negativen Effekte auf die Schutzobjekte zu erwarten.

Bei diesen wirkungsorientierten Schwellen handelt es sich nicht um Alarmwerte. Alarm- oder Warnwerte haben hingegen 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 (wie Benzol und Dieselruss). Da sie bereits in kleinsten Mengen schädlich sind, müsste als Wirkungsschwelle ein unrealistischer „Nullwert“ gefordert werden. Es gilt jedoch ein allgemeines Minimierungsgebot (Literaturhinweis USG?). 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 Luftreinhalteverordnung (LRV) in dunklem Grau hinterlegt.

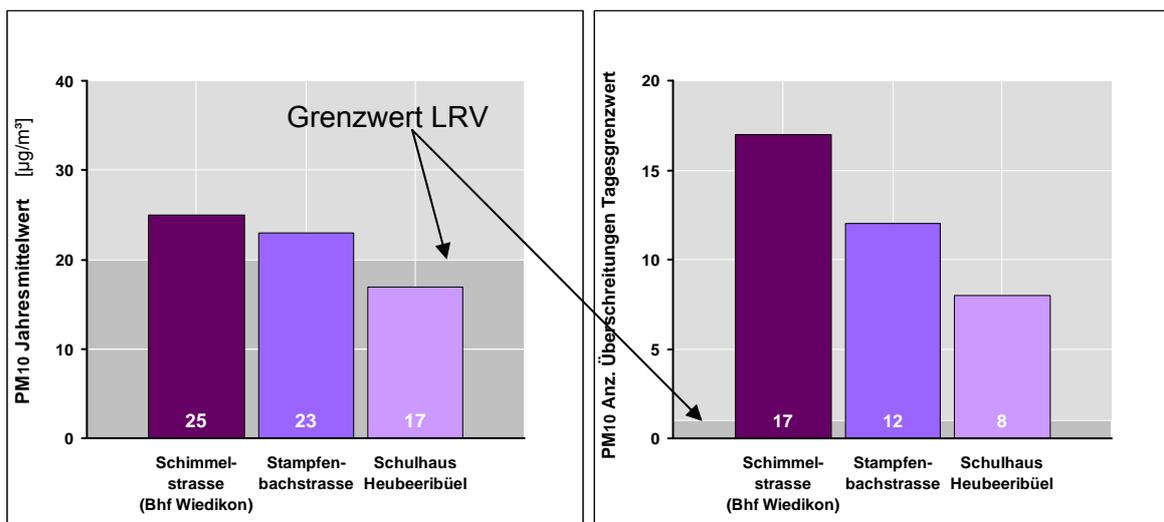


Abb. 51 Beispielgrafiken

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

Bestimmung des Verkehrseinflusses

Basis zur Bestimmung des Verkehrseinflusses 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	$10'000 < DTV_S$

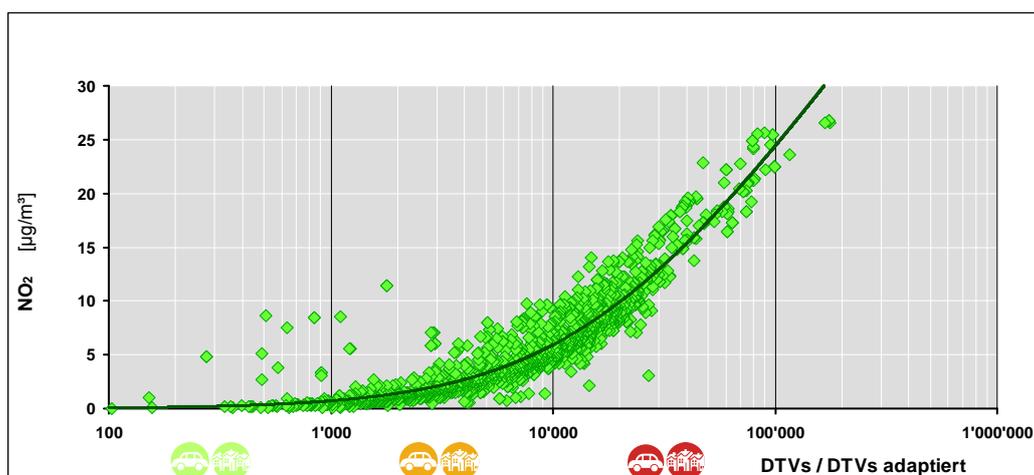


Abb. 52 NO_2 -Belastung durch den Strassenverkehr in Abhängigkeit des durchschnittlichen täglichen Verkehrs DTV_S (LKW's 10-fach gewichtet)

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 [16] ergibt sich ein funktioneller Zusammenhang zwischen dem DTV_S und der modellierten, durch den Strassenverkehr verursachten NO_2 -Belastung am Strassenrand (vgl. Abb. 52). 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 [17] (Abb. 53). 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.

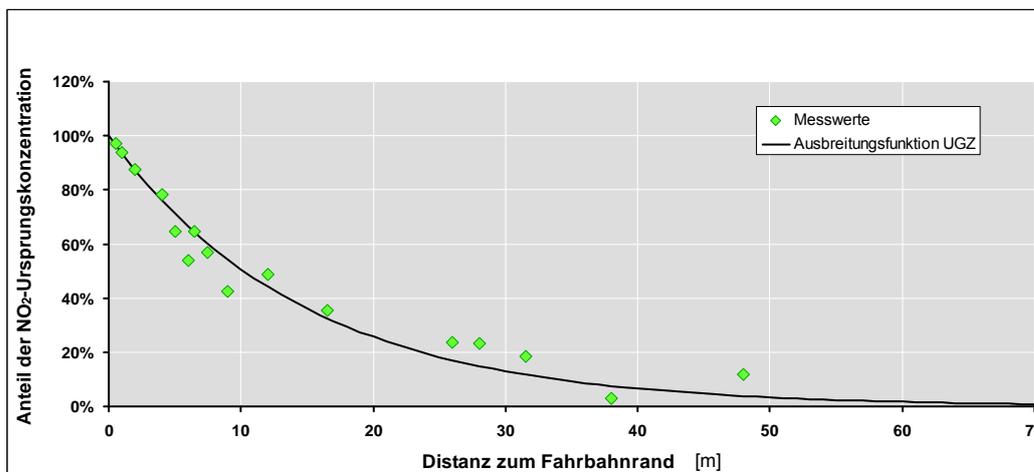


Abb. 53 Abnahme der strassenverkehrsbedingten NO_2 -Belastung in Funktion des Abstand des Messorts zum Strassenrand

Mit der Umkehrfunktion von Funktion (1) lässt sich der adaptierte durchschnittliche Tagesverkehr DTV_S *adaptiert* berechnen, welcher die entsprechende NO_2 -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.

Bestimmung des Siedlungseinfluss

Die NO₂-Belastung in Folge von Siedlungsemissionen können für jeden Messort dem Klimamodell der Stadt Zürich (KLAZ Phase 1) entnommen werden [18]. 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 Fahrzeug-äquivalente 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 Bestimmung von elementarem und organischem Kohlenstoff

Die bisher zur Bestimmung von elementarem und organischem Kohlenstoff eingesetzten Analyseverfahren der Coulometrie und Thermografie [19, 20] haben beide den Nachteil der Überschätzung des Anteils an elementarem Kohlenstoff.

Ursache dafür ist bei der Coulometrie die unvollständige Extraktion organischer Substanzen aus dem Probenfilter. Auf der Probe verbleibende Substanzen werden zusammen mit Russanteilen bei hohen Temperaturen (~650 °C) in einer oxidierenden Atmosphäre als elementarer Kohlenstoff bestimmt.

Im Falle der Thermografie wird in einem ersten Schritt unter einer nicht oxidierenden Atmosphäre (Helium) und hohen Temperaturen der organische Anteil der Probe in CO₂ überführt. Ein Teil des organischen Materials kann dabei verkokelt und im folgenden Schritt unter oxidierender Atmosphäre als elementarer Kohlenstoff bestimmt werden.

Um die Überschätzung des elementaren Kohlenstoffs in Folge der Pyrolyse von organischen Anteilen (PC) zu korrigieren, wird seit kurzem das thermografische Messverfahren mit einer Messung der optischen Transmission der Probe kombiniert. Das TOT-Verfahren (Thermo-optische Transmission) wird voraussichtlich in Zukunft das coulometrische Verfahren als Referenzverfahren ablösen. Noch nicht definitiv festgelegt ist dabei das anzuwendende Temperaturprogramm, wobei in Europa voraussichtlich der Standard EUSAAR-2 zur Anwendung kommen wird.

Um die Vergleichbarkeit zwischen früheren und aktuellen Messresultaten zu gewährleisten, wurden sämtliche EC/OC-Messresultate auf das neue TOT-Verfahren (EUSAAR-2) überführt.

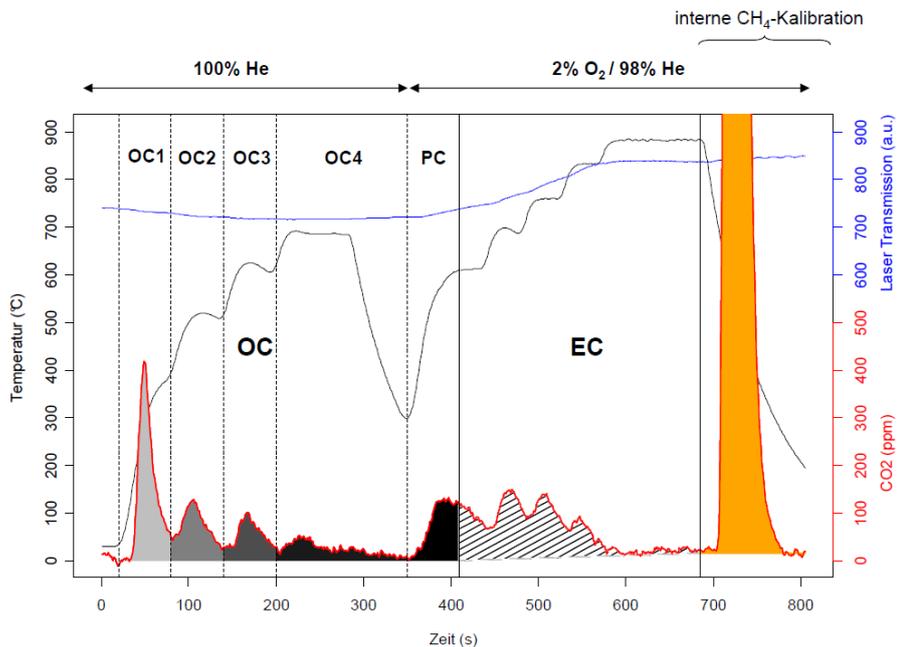


Abb. 54 Beispiel für die EC/OC-Analyse gemäss dem TOT-Verfahren [21]

A5 Stickstoffdioxid Passivsammler

Bei den Passivsammlern für Stickstoffdioxid handelt es sich um ein günstiges Messverfahren für punktuelle Messungen der NO_2 -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 NO_2 kann mit dem Verfahren jedoch sehr gut bestimmt werden.



Abb. 55 Aufbau der eingesetzten Passivsammler

Das Messverfahren basiert auf der Diffusion von NO_2 in Folge eines Konzentrationsgefälles [22]. An einem Ende eines Plexiglasrohrs werden, mit einem Adsorbens (Triethanolamin) überzogene Chromstahlgitter befestigt. Am anderen Ende wird ein Teflonfilter befestigt, der Turbulenzen

durch Windstösse eliminiert. Die laufende Adsorption von NO_2 an den Chromstahlgittern führt zum benötigten Konzentrationsgefälle, welches das System durch laufendes Heranführen von NO_2 aus der Aussenluft auszugleichen versucht.

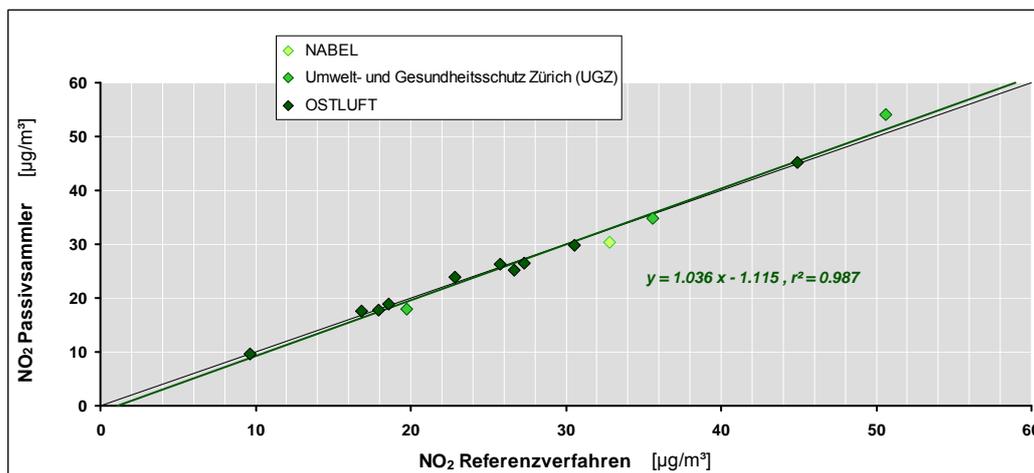


Abb. 56 Vergleich der kalibrierten Passivsammler-Jahresmittelwerte mit den entsprechenden Jahresmittelwerten des Referenzverfahrens (Chemilumineszenz) an allen Messstationen, an denen beide Messverfahren eingesetzt werden.

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 [23]. Ein Vergleich der Jahresmittelwerte von Referenzverfahren und kalibrierten Passivsammler-Jahresmittelwerten (Abb. 56) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der beiden Messverfahren.