

Luftbilanz Stadt Zürich 2004



Bericht Nr. 20070110

Verfasser/in:

Markus Scheller, wissenschaftlicher Mitarbeiter
 Alfred Meier, Fachbereichsleiter
 Fachbereich Labor

Zürich, Januar 2007

Impressum

Herausgeberin

Stadt Zürich

Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich UGZ

Abteilung Umwelt
Fachbereich Labor
Walchestrasse 31
8021 Zürich

www.stadt-zuerich.ch/luft

Sachbearbeitung

Jürg Brunner

Markus Scheller

Susanne Schlatter

Noël Rederlechner

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	3
3	Porträts der Luftschadstoffe.....	5
4	Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung	14
5	Messprogramm der Kampagne 2004	16
6	Resultate der Messkampagne	24
7	Besondere Ereignisse.....	31
8	Messwerttabellen	32
9	Literatur.....	36

1 Zusammenfassung

Im Abstand von fünf Jahren führt der Umwelt- und Gesundheitsschutz regelmässig flächendeckende Messkampagnen in der Stadt Zürich durch. Diese periodischen Flächenuntersuchungen zeigen, wie auch die Langzeituntersuchungen an den permanenten Messstationen, dass sich die Luftqualität seit den 80er-Jahren massiv verbessert hat. Sie zeigen jedoch auch, dass sich diese Verbesserung der Luftqualität immer mehr verlangsamt hat. Inzwischen kann man von einem Stillstand oder gar einer Zunahme der Konzentrationen, beispielsweise bei Stickstoffdioxid (NO₂) ausgehen. Durch die räumliche Verdichtung während der Messkampagnen sind langjährige Belastungsaussagen an vielen Standorten innerhalb der Stadt Zürich möglich.

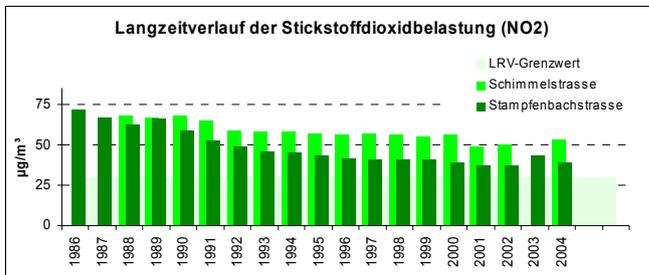


Abb. 1 Konzentrationsverlauf von NO₂ über die letzten knapp 20 Jahre.

Die Messkampagne 2004 (MK04) hat gezeigt, dass die Luftqualität in der Stadt Zürich in vielen Punkten noch immer nicht den Vorgaben der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) entspricht. Beim Feinstaub PM10 zeigt sich dieser Umstand sehr deutlich. An keiner der fünf Feinstaub-Messstationen wurde der LRV-Grenzwert für den Jahresmittelwert eingehalten (Abb. 2).

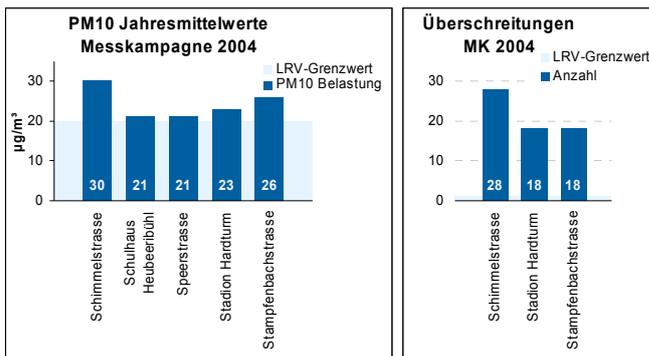


Abb. 2 PM10 Jahresmittelwerte im Vergleich.

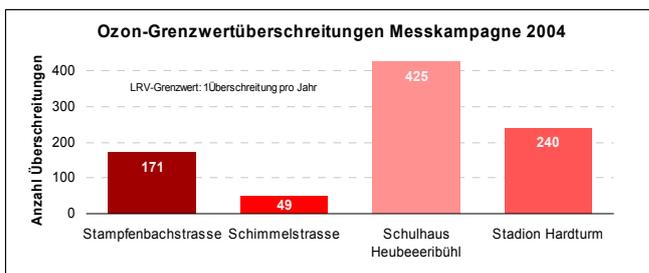


Abb. 3 Ozon-Grenzwertüberschreitungen während der MK04 an vier Messstellen.

Die hohen NO₂-Konzentrationen belasten auch die Ozonbilanz des Jahres 2004. Als Vorläuferschadstoff für Ozon führen sie bei entsprechender Witterung zu hohen Ozonbelastungen. Mit 171 Überschreitungen an der Messstation Stampfenbachstrasse und 425 Grenzwertüberschreitungen im Schulhaus Heubeeribüel zeigt das Jahr 2004 Konzentrationen, wie sie auch in den letzten zehn Jahren beobachtet worden sind. Dies umso beunruhigender vor dem Hintergrund, dass die VOC-Emissionen in dieser Zeit massiv gesenkt werden konnten. Es braucht also noch massive Anstrengungen im Bereich der Stickstoffoxide, um die Ozon-Belastungen weiter senken zu können.

2 Einleitung

Trotz der in den letzten 10 bis 15 Jahren erreichten Fortschritte, bleibt die Stadt Zürich eines der wichtigsten lufthygienischen Sanierungsgebiete der Schweiz. In Zürich überlappt sich eine grosse Bevölkerungsdichte mit der hohen Luftschadstoffdichte. An keinem Ort unseres Landes sind so viele Menschen von übermässigen Belastungen betroffen wie in Zürich und seiner Agglomeration.

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). Mit der Festsetzung von Grenzwerten für Staubpartikel (PM₁₀) mit der Revision der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) im Frühjahr 1998, wird diese Problematik noch stärker betont. Der überwiegende Teil dieser Belastungen stammt aus den Emissionen des motorisierten Strassenverkehrs.

Luftschadstoffe haben vielfältige Auswirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Ökosysteme sowie auf Materialien und Gebäude. In städtischen Gebieten gelangen gesundheitsgefährdende 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 grosser Bedeutung ist weiter 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. 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). Drei Jahre nach dem Erlass der LRV (1986) und nach allmählichem Wirksamwerden der eingeleiteten Emissionsbegrenzungen, wurde eine ähnlich angelegte flächendeckende Untersuchung durchgeführt (Messkampagne 1989/90 (Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ) 1990)). Ihre Ergebnisse dokumentierten bereits erste Erfolge bei den Schadstoffen Schwefeldioxid und Gesamt-Schwebstaub, jedoch konnte bei Stickstoffdioxid noch keine eindeutige Entlastung

festgestellt werden. Selbst in verkehrsfernen Wohngebieten wurde damals der Jahresmittel-Grenzwert nicht eingehalten.

Vier Jahre später, nach erneuter Durchführung einer Flächenuntersuchung (Messkampagne 1994/95 (Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ) 1995), zeichnete sich auch bei diesem zentralen Schadstoff ein deutlicher Rückgang der Immissionen ab. Der Grenzwert für das Jahresmittel blieb jedoch an 12 von total 28 Messpunkten immer noch 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 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 wurden 1999/2000 in einer weiteren Messkampagne gewonnen (Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ) 2001)). Der sehr viel höhere 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 ein weiterer Schwerpunkt bei Stickstoffdioxid, das erstmals ausschliesslich mit so genannten Passivsammlern erfasst wurde.

Dieser Bericht dokumentiert die Messresultate der flächendeckenden Kampagne 2004. Diese Untersuchung konzentrierte sich wieder auf die Problemschadstoffe Feinstaub PM10 und Stickstoffdioxid. Bei den PM10-Inhaltsstoffen wurde wie 1999/2000 der Russanteil bestimmt, diesmal jedoch an drei Standorten. Zusätzlich wurden die in der LRV begrenzten Schwermetalle Blei und Cadmium in PM10 gemessen. Die an Schwebstaub gebundenen toxischen Schwermetalle werden seit 2000 nicht mehr jedes Jahr erfasst, da ihre Grenzwerte überall in der Stadt Zürich eingehalten werden. Dasselbe gilt für den Staubniederschlag (größere Staubteilchen, die rasch zu Boden sinken) und die damit verbundenen Depositionen von Blei, Cadmium und Zink. Sie wurden 2004 wieder in das Messprogramm aufgenommen, um aktuelle Daten zur Verfügung zu haben. Zur räumlichen Differenzierung der Stickstoffdioxidimmissionen kam wiederum eine grosse Zahl von Passivsammlern zum Einsatz. Um einen Vergleich mit den Ergebnissen der vorausgegangenen Kampagnen zu ermöglichen, wurden alle „klassischen“ Messorte einbezogen. Auf Grund aktueller Fragestellungen wurde das Messnetz um einige weitere Messpunkte erweitert, so dass an insgesamt 37 Orten Passivsammler exponiert waren.

Die Kampagne 2004 fiel wieder in eine Phase mit deutlich abgeschwächtem Trend zu tieferen Belastungen. Das Jahr 2004 wies keine aussergewöhnlichen meteorologischen Merkmale auf. Im Gegensatz zum Extremjahr 2003 bewegten sich die Sommertemperaturen im normalen Rahmen und austauschbare Inversionslagen traten nicht gehäuft auf. Die fehlende Dominanz der Witterung lässt deshalb den Zusammenhang zwischen dem Ausstoss der Schadstoffe (Emission) und den in der Aussenluft auftretenden Schadstoffkonzentrationen umso deutlicher hervortreten.

3 Porträts der Luftschadstoffe

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. Jedes Jahr werden gewaltige Mengen an Gasen, Aerosolen und Staubpartikeln in die Luft abgegeben. Dadurch wird die natürliche Zusammensetzung der Atmosphäre verändert, was langfristige auch zu Klimaveränderungen führen wird.

Bei den Luftschadstoffen lassen sich zwei Kategorien unterscheiden: **Primärschadstoffe** werden direkt aus Auspuffen, Kaminen etc. in die Luft abgegeben (Beispiel Kohlenmonoxid). **Sekundärschadstoffe** bilden sich erst in der Atmosphäre durch Einwirkung von Sonnenlicht und/oder durch chemische Reaktionen aus Vorläufersubstanzen (Beispiel Ozon).

In Stadtluft können Hunderte verschiedener Schadstoffe nachgewiesen werden. Da eine lückenlose Messung dieser Vielzahl von Komponenten nicht möglich ist, beschränkt man sich im auf die Erfassung der wichtigsten **Leitschadstoffe**. Ihnen kommt auf Grund der emittierten Mengen, der Konzentrationen in der Aussenluft oder ihren Wirkungen auf Mensch und Umwelt eine besondere Bedeutung zu.

In der Stadt Zürich wird die Luftqualität ganz wesentlich durch die hausgemachten Emissionen aus dem Strassenverkehr, aus Feuerungen in Haushalten, Industrie und Gewerbe bestimmt. Bei Schadstoffen die langlebig sind und deshalb über weite Strecken verfrachtet werden können, ist der "Importanteil" jedoch beträchtlich (Beispiel Ozon).

Die wichtigsten Leitschadstoffe im Einzelnen:

3.1 Feinstaub PM₁₀

Die Ergebnisse zahlreicher epidemiologischer Studien (Leuenberger, Künzli et al. 1998), (Braun-Fahrländer and Grize 2001), (BUWAL 1996) 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 ($10\ \mu\text{m} = 1$ Hundertstel Millimeter) aufweisen. Dieser Teil des Schwebestaubs wird PM₁₀ genannt («Particulate Matter < 10 μm »). Während gröbere Teilchen gar nicht eingeatmet bzw. im oberen Teil des Atemtrakts herausgefiltert werden, kann ein Teil von PM₁₀ den Kehlkopf passieren und über die Hauptbronchien in die Lunge gelangen (kleiner ca. $4\ \mu\text{m}$).

Generell gilt: Je kleiner die Partikel, umso tiefer werden sie eingeatmet. Partikel mit einem mittlerer Durchmesser kleiner als etwa $1\ \mu\text{m}$ dringen bis in die tiefsten Bereiche der Lunge vor und werden teilweise in den Lungenbläschen (Alveolen) abgelagert. Von dort werden sie nur sehr langsam wieder entfernt. Laut neueren medizinischen Erkenntnissen können diese Teilchen wegen ihrer Kleinheit auch in die Blutbahn übertreten.

Mit zunehmender PM₁₀-Belastung treten vermehrt chronische Symptome der Atemwege auf, wie beispielsweise Atemnot, Husten, Auswurf oder Atemwegsinfektionen. Damit verbunden sind auch Einschränkungen der Lungenfunktion, die Auslösung von Entzündungsreaktionen und von Herz-/Kreislaufkrankheiten.

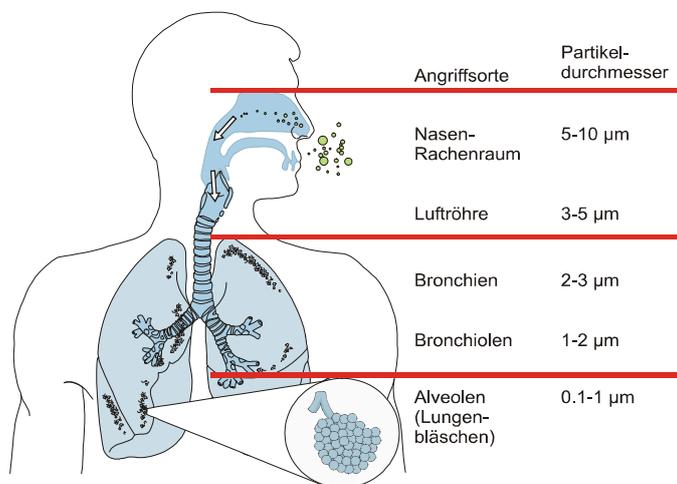


Abb. 4 Orte der Schädigungen verschiedener Feinstaubfraktionen.

In der Luftreinhalte-Verordnung wurde für das Jahresmittel ein Immissionsgrenzwert von 20 Mikrogramm (Millionstel Gramm) pro Kubikmeter Luft festgelegt. Da bei kurzzeitig erhöhten PM10-Belastungen (Smoglagen) ebenfalls gesundheitliche Beeinträchtigungen feststellbar sind, enthält die LRV zusätzlich einen Kurzzeitgrenzwert (50 Mikrogramm pro Kubikmeter als maximaler Tagesmittelwert). Steigen die PM10-Konzentrationen während mehrtägigen Smog-episoden auf ein Mehrfaches der durchschnittlichen Belastung, kommt es beispielsweise zu einer Zunahme der Notfallkonsultationen wegen Asthma bei Kindern und zu Spitaleintritten von über 65-Jährigen infolge einer Bronchitis oder einer Lungenentzündung.

Zur allgemein erhöhten Anfälligkeit für Atemwegserkrankungen durch PM10 kommt die spezifische gesundheitliche Gefährdung durch Dieselrußpartikel. Sie sind Träger kanzerogener Stoffe und können als sehr feinteilige PM10-Komponente bis in die tiefsten Bereiche der Atemwege gelangen (s. nächster Abschnitt: Dieselruß).

Feinstaub PM10 wird von einer grossen Zahl verschiedener Quellen verursacht. Mehr oder weniger hohe 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. Es erstaunt deshalb nicht, dass PM10 ein sehr komplexes Gemisch aus verschiedenen chemischen Bestandteilen darstellt. Dazu kommt, dass Feinpartikel nicht nur direkt aus Auspuffen, Kaminen etc. emittiert werden, sondern auch durch chemische Umwandlungen erst in der Atmosphäre aus gasförmigen Stoffen entstehen (sog. sekundäre Feinpartikel).

In städtischen Gebieten ist jedoch der motorisierte Strassenverkehr der bedeutendste Belastungsfaktor. Darauf weisen deutlich erhöhte PM10-Messwerte an stark befahrenen Strassen hin. Insbesondere werden an Hauptachsen mit viel Schwerverkehr regelmässig die höchsten Immissionen gemessen. In Strassennähe stammen die Feinpartikel nicht nur aus dem Auspuff, sondern auch von Abriebsteilchen der Fahrbahn, der Reifen und Bremsen und vom aufgewirbelten Strassenstaub.

Infolge ihrer Stabilität und geringen Sinkgeschwindigkeit können PM10-Partikel längere Zeit in der Luft bleiben. Sie werden deshalb über grössere Distanzen transportiert. Eine Folge dieser Verfrachtung ist eine relativ homogene Verteilung der PM10 über das Stadtgebiet. Im Weiteren bedeutet dies, dass die örtliche PM10-Belastung neben der Nahausbreitung auch von weiträumig transportierten Anteilen verursacht 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. 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 Europa.

3.2 Dieseleruss

Dieselmotoren stossen eine grosse Zahl von Einzelsubstanzen aus, die teils gasförmig, teils partikelförmig vorliegen. Wie bereits bei PM₁₀ erwähnt, kommt den besonders feinteiligen Dieselpartikeln eine besondere gesundheitliche Bedeutung zu. Sie sind hauptsächlich der Grund, weshalb Dieselabgase ein wesentlich grösseres Gesundheitsrisiko darstellen als Abgase von Benzinmotoren. Der partikelförmige und kohlenstoffhaltige Teil der Dieselmotoremissionen wird auch als „Dieseleruss“ bezeichnet.

Dieselmotorabgase sind von der Weltgesundheitsorganisation WHO als "wahrscheinlich kanzerogen für den Menschen" eingestuft. Diese Bewertung stützt sich einerseits auf tierexperimentelle Daten (v.a. 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 0.1 und 1 Mikrometer, d.h. es handelt sich um eine vollständig alveolengängige Komponente des PM₁₀-Schadstoffkomplexes. Ausserdem besitzen Dieselpartikel im Vergleich zu Teilchen anderer Herkunft eine sehr grosse Partikeloberfläche. Diese Eigenschaft in Kombination mit der hohen Lungengängigkeit ermöglicht es einer Vielzahl krebserregender oder toxischer Substanzen ins Körperinnere vorzudringen. Nach heutigem Wissensstand beruht die Kanzerogenität (Lungentumore) hauptsächlich auf dem inneren Kern der Dieselpartikel, der im Wesentlichen aus elementarem Kohlenstoff besteht. Die auf den Russkernen haftenden weiteren Kanzerogene (z.B. Polyzyklische Aromaten, PAH) tragen zwar zum Krebsrisiko bei, sie 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 ist das zusätzliche Krebsrisiko durch Dieseleruss zwar gering, es wird jedoch allen aufgezwungen.

Auch Dieseleruss ist keine einheitliche Substanz. Er umfasst neben dem Kern aus elementarem Kohlenstoff eine Vielzahl von angelagerten organischen und anorganischen Einzelverbindungen. Damit die Belastungen bewertet werden können, muss jedoch eine eindeutige Messgrösse definiert werden. Derzeit existiert allerdings noch keine Definition, die von der Messmethode unabhängig wäre. In Deutschland wurde deshalb festgelegt, dass Russ in PM₁₀ als Konzentration des elementaren Kohlenstoffs (EC) nach einem bestimmten Referenzmessverfahren zu bestimmen ist (BRD 1995) (VDI 1999). Die im vorliegenden Bericht angegebenen Messergebnisse richten sich nach dieser Konvention.

Die weitaus wichtigsten Emittenten von Russ bzw. von EC sind dieseltreibene Fahrzeuge und Maschinen. Im Jahr 2000 wurden landesweit ca. 4'600 Tonnen Russ ausgestossen. Davon entfielen 1'600 Tonnen auf den motorisierten Strassenverkehr. Weitere bedeutende Beiträge von je ca. 1'000 Tonnen liefert der Bausektor (Arbeitsmaschinen) und die Landwirtschaft.

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. 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 Dieselfahrzeuge (PW, Liefer- und Lastwagen) 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.

Partikelfilter

Bei Partikelfiltern werden zwei Systeme unterschieden, offene und geschlossene Systeme. Sie unterscheiden sich deutlich im Partikelabscheidungsgrad und bei nachgerüsteten Partikelfiltern, auch im Kostenaufwand.

geschlossenes System

Bei einem geschlossenen Filter durchdringt der Abgasstrom eine poröse Filterwand. Die sehr kleinen Russpartikel lagern sich an der Oberfläche der Filterwand ab. Die Partikel werden vor allem durch Umlenkung und Anhaftung im Filter zurückgehalten, verstopfen dessen Löcher (Durchmesser 10 μm) jedoch nicht, da die Partikel einen zu kleinen Durchmesser aufweisen. Die Filterwände sind aus Fasern oder aus einem Pulver aufgebaut. Als Wandmaterial werden diverse Metalle bzw. Keramiken verwendet. Durch die Ablagerung der Partikel an der Oberfläche des Filtermaterials steigt der Druckunterschied im Abgas über den Partikelfilter und es erfolgt automatisch die Regeneration.

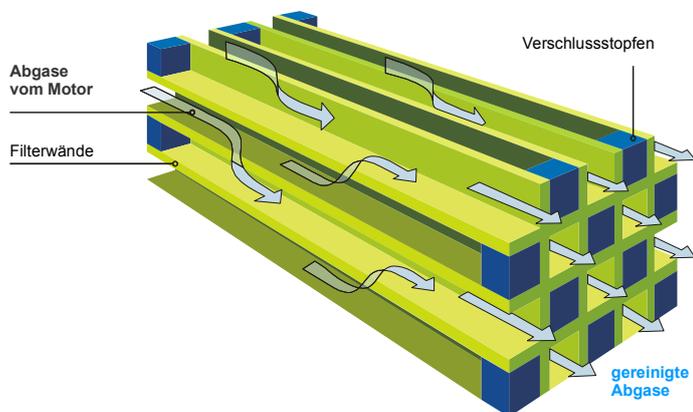


Abb. 5 Schematische Darstellung eines Partikelfilters (geschlossenes System).

offenes System

Beim offenen System handelt es sich um einen Durchflussfilter. Er besteht aus dünnen Stahlfolien mit einer gezielten Strömungsleittechnik. Im Bereich dieser Folien werden die Partikel an den Oberflächen abgelagert. Bei genügend hohen Temperaturen und NO_2 -Konzentrationen werden die Partikel kontinuierlich regeneriert (CRT Prinzip = Continuous Regeneration Trap). Im Unterschied zum geschlossenen System muss das Abgas keine poröse Wand durchdringen. Die Filterwirkung ist besonders für die kleinste Partikelfraktion ($< 100 \text{ nm}$), welche im Abgas von modernen Dieselmotoren die häufigste darstellt, deutlich geringer, als bei einem geschlossenen System. Zudem können erhebliche direkte NO_2 Emissionen entstehen.

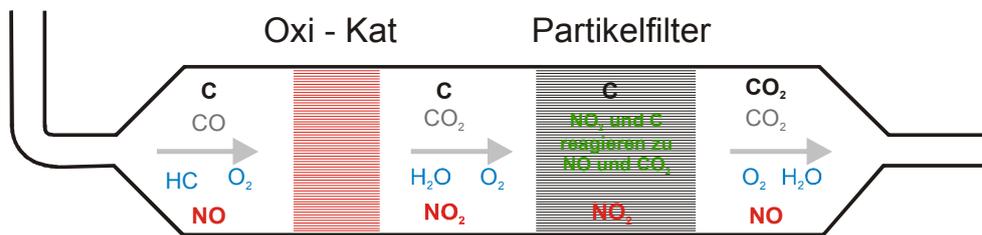


Abb. 6 ein CRT-System (Continuous Regenerating Trap) im Querschnitt.

3.3 Staubbiederschlag und Schwermetalle

Partikel mit Durchmessern oberhalb von etwa 30 μm sind nicht mehr dem Schwebestaub zuzurechnen, da sie in Folge ihrer erhöhten Sinkgeschwindigkeit nicht mehr homogen in der Luft verteilt sind und relativ schnell am Boden deponiert werden. Diese aus der Atmosphäre ausfallenden Teilchen werden als Staubbiederschlag bezeichnet. Was als Feststoff durch Regen, Schnee, Hagel etc. aus der Atmosphäre abgeschieden wird, wird ebenfalls zum Staubbiederschlag gezählt (s. unten).

Messtechnisch wird der Staubbiederschlag als Masse erfasst, die während eines festgelegten Zeitraums (üblicherweise 1 Monat) auf einer normierten Fläche aufgefangen wird (Exposition eines Sammelgefässes, Bergerhoff-Methode). Bei der Deposition handelt es sich um einen Prozess der „Selbstreinigung“ der Atmosphäre. Dabei spielen neben der rein gravitativ bedingten Sedimentation weitere Mechanismen eine wichtige Rolle. Dies sind vor allem das Auswaschen der Partikel (washout) durch Regentropfen und das Ausregnen (rainout) durch Kondensation von Wasserdampf an den Aerosolteilchen (Wolkenbildung), mit anschliessendem Niederschlag. In der regenfreien Zeit spricht man vereinfacht von trockener Deposition, während Regenperioden von nasser Deposition. In der Trockendeposition widerspiegelt sich eher die Emission von Grobpartikeln aus nahen Quellen (z.B. Ausfall aus Rauchfahnen). Die nasse Deposition enthält auch Beiträge von weit entfernten Staubbemittentem.

Bei der Standard-Bergerhoffmethode wird die Niederschlagssumme gemessen, es wird also nicht zwischen diesen beiden Absetzvorgängen unterschieden. Es handelt sich um ein Konventionsverfahren, auf das sich die Grenzwerte beziehen. Dabei muss beachtet werden, dass auf vegetationsbedeckter Oberfläche i.a. viel höhere Depositionsraten resultieren, da die Pflanzen eine Filterwirkung haben.

Die chemische Zusammensetzung des Staubbiederschlags ist ähnlich komplex wie bei PM10. Als Inhaltsstoffe relevant sind in erster Linie Schwermetalle und weitere persistente Stoffe mit einer umweltschädigenden Wirkung (z.B. Dioxine). 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: Das im Staubbiederschlag und im Schwebestaub enthaltene Blei stammte in früheren Jahren hauptsächlich aus dem Motorfahrzeugverkehr. Mit der stufenweisen Senkung des Bleigehalts im Benzin hat der Ausstoss dieses toxischen Schwermetalls stark abgenommen. Grenzwertüberschreitungen sind nicht mehr zu erwarten.

Blei zeigt eine ausgeprägte Tendenz zur Anreicherung im Boden, weshalb die jahrzehntelange Verwendung verbleiten Benzins zu irreversiblen Bodenbelastungen geführt hat. Blei stört die

Biosynthese von Hämoglobin und führt zu Blutarmut. Es beeinträchtigt das Nervensystem und führt zu Nierenschäden.

Cadmium: Auch die Immissionen von Cadmium im Staubbiederschlag und im Schwebestaub und im sind in den letzten Jahren massiv zurückgegangen. Cadmium stammt aus einer Vielzahl von Quellen. In früheren Jahren z.B. aus der Metallverarbeitung, der Herstellung von Farbpigmenten und aus der Kohleverbrennung. Die Verwendung von Cadmium und seiner Verbindungen ist seither sehr stark eingeschränkt oder verboten worden (Stoffverordnung, heute in der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung). Die bis in die 1980er Jahre praktizierte Cadmierung (Korrosionsschutz) stellt jedoch noch heute eine diffuse Quelle dar (Verwitterung). Hingegen stossen die Kehrichtverbrennungsanlagen nach ihrer Sanierung nur noch geringe Mengen an Cadmium aus.

Cadmium ist hoch toxisch und als Krebs erzeugend eingestuft. Hinzu kommt, dass Cadmium von vielen Pflanzen leicht aus dem Boden aufgenommen wird. Es schädigt bei Mensch und Säugetieren v.a. Nieren, Leber und Knochen.

Zink: Zink ist ein häufiges und weltweit verbreitetes Schwermetall. Es findet Verwendung in der industriellen Produktion und für den Korrosionsschutz von Eisen. 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, für Zink im Schwebestaub gibt hingegen es keine LRV-Grenzwerte.

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 Umgebung von Zementwerken zu erwarten).

Verglichen mit früheren Jahrzehnten ist in der Stadt Zürich auch die Menge des gesamten Staubbiederschlags stark zurückgegangen. Der LRV-Grenzwert wird seit 1990 auch an stark verkehrsexponierten Orten eingehalten. Ebenso konnte die bis 1995 noch problematische Bleideposition an stark verkehrsexponierten Stellen deutlich unter den Grenzwert gesenkt werden. Entsprechend dieser Entwicklung werden Depositionsdaten nicht mehr jährlich, sondern nur noch im Rahmen der flächendeckenden Messkampagnen erhoben. Dieses reduzierte Messprogramm wird aufrechterhalten, da die höchsten Belastungen nach wie vor in urbanen Gebieten auftreten. Ausserdem ist der Staubbiederschlag eine Luftverunreinigung die von der Bevölkerung gut wahrgenommen wird, was immer wieder zu entsprechenden Anfragen und Klagen führt.

3.4 Stickoxide

Stickoxide entstehen vor allem als unerwünschte Nebenprodukte bei Verbrennungsvorgängen. Dabei reagiert bei hohen Temperaturen der Luftstickstoff (N_2) mit dem Sauerstoff (O_2) der Verbrennungsluft. 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 Luftreinhalte-Verordnung (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. Damit begünstigt es Atemwegserkrankungen. Ein Teil des eingeatmeten Stickstoffdioxids wird in der Lunge absorbiert und gelangt zum Teil als giftiges Nitrit ins Blut.

Auch atmosphärenchemisch nehmen die Stickoxide eine zentrale Rolle ein. So bei der Ozonbildung in der unteren Atmosphäre und bei der Entstehung saurer Niederschläge (Bildung von Salpetersäure). Sie sind auch indirekt an der Entstehung von Feinstaub PM10 beteiligt (Bildung sekundärer Partikel). Auf Pflanzen können Stickoxide – abhängig von der Konzentration – sowohl direkte toxische Wirkungen, als auch unerwünschte Düngeeffekte haben. Letztere führen zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung in naturnahen oder natürlichen Ökosystemen.

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 NO₂-Belastung weitgehend hausgemacht, d.h. die Immissionen werden durch die eigenen NO_x-Emissionen bestimmt. Entsprechend seinem hohen Beitrag und der bodennahen Freisetzung seiner Abgase, bestimmt im Wesentlichen der motorisierte Strassenverkehr das Belastungsmuster.

3.5 Ozon

Ozon ist eines der wichtigsten Spurengase in der Atmosphäre. Das natürliche Vorkommen von Ozon in 20 bis 30 km Höhe (Ozonschicht) schützt uns vor der schädlichen Ultraviolettstrahlung der Sonne. Auch in den untersten Schichten der Atmosphäre (Troposphäre) kommt Ozon natürlicherweise vor, allerdings in relativ tiefen Konzentrationen (in unseren Breiten etwa 30 bis 40 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft).

Stark erhöhte Ozonkonzentrationen treten in Bodennähe typischerweise während sommerlicher Schönwetterperioden auf. Während solcher Phasen werden Ozon und weitere Oxidantien (oxidierend wirkende Substanzen) durch komplizierte photochemische Prozesse aus Vorläuferschadstoffen gebildet. Ozon gilt dabei als Leitsubstanz dieses Sommer- oder Photosmogs.

Ozon ist ein typischer sekundärer Luftschadstoff, d.h. es entsteht erst in der Atmosphäre durch 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). Voraussetzung für eine Anreicherung des Ozons mit entsprechend hohen Ozonmaxima ist eine mehrere Tage andauernde stabile Hitzeperiode (meist Hochdruckwetterlagen). Auf Grund dieser ausgeprägten Wetterabhängigkeit schwankt die Ozonbelastung von Jahr zu Jahr. Die allmähliche Ozonbildung während des Transportes des Vorläufergemisches erklärt, 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.

Die geringere Belastung in Quellnähe darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass dem motorisierten Strassenverkehr die entscheidende Bedeutung bei der Ozonbildung zukommt. Aus den Auspuffen der Motorfahrzeuge entweicht ein "ideales" Gemisch der beiden Ozonvorläuferschadstoffe. 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 stammen rund 32 % der totalen Emissionen aus dem Strassenverkehr (Auspuff und Verdampfungsverluste abgestellter Fahrzeuge). Allerdings gehört ein grosser Teil der von Benzinfahrzeugen emittierten VOC zu den VOC-Verbindungen mit dem höchsten Ozonbildungspotential.

Ozon ist in höheren Luftschichten der Troposphäre (unterstes „Stockwerk“ der Atmosphäre) relativ langlebig und kann – je nach Wetterlage– über weite Strecken transportiert werden. So tragen die Emissionen aus unseren Nachbarländern beträchtlich zur Ozonimmission in der Schweiz bei. Gemäss neuesten Erkenntnissen sind am Ozon in der sog. freien Troposphäre (oberste Schicht) sogar die Emissionen der gesamten Nordhalbkugel beteiligt (Hintergrundozon). Es ist somit eine hohe Grundbelastung vorhanden, 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 z.B. am Gewebe des Atemtraktes. Da Ozon kaum wasserlöslich ist, dringt es tief in die Lunge ein und kommt dort mit Gewebe in Kontakt, das nicht durch eine Schleimschicht geschützt ist.

Die ersten akuten Wirkungen treten etwa zwischen 100 bis 120 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft auf. Die schweizerischen Immissionsgrenzwerte haben sich gemäss Umweltschutzgesetz an solchen Wirkungsschwellen zu orientieren, weshalb der maximale Stundenmittelwert für Ozon bei 120 Mikrogramm pro Kubikmeter festgelegt wurde (s. Immissionsgrenzwerte). 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 jedoch 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 – etwa ab 180 bis 200 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft – kann es bei mehrstündigem Aufenthalt im Freien und bei gleichzeitiger reger körperlicher Aktivität zu Einschränkungen der Lungenfunktion kommen. Dies vermindert vorübergehend die körperliche Ausdauerfähigkeit.

3.6 Schwefeldioxid

Da alle fossilen Brenn- und Treibstoffe in unterschiedlichem Umfang Schwefelverbindungen enthalten, entsteht beim Verbrennen Schwefeldioxid (SO_2). Schwefeldioxid ist der klassische Luftschadstoff des sauren Wintersmogs vergangener Jahrzehnte.

Erhöhte Konzentrationen von Schwefeldioxid führen zu Reizungen der Augen und Schleimhäute und können Erkrankungen der Atemwege verursachen. Schwefeldioxid wird in der Luft zum Teil in Schwefeltrioxid (SO_3) oxidiert, so dass in Niederschlägen ein Gemisch aus schwefliger Säure und Schwefelsäure vorliegt. Dies hat eine schädliche Versauerung von Böden und Gewässern zur Folge. Da Schwefeldioxid weiträumig transportiert werden kann, sind vom sauren Regen auch Gebiete weitab von Ballungszentren betroffen. Schwefeldioxid kann Pflanzen aber auch direkt schädigen (Abbau von Chlorophyll).

In der Stadt Zürich wird Schwefeldioxid zum grössten Teil aus Feuerungsanlagen freigesetzt (94%). Nur rund 1% stammen aus dem motorisierten Strassenverkehr, überwiegend von dieselbetriebenen Fahrzeugen.

Die SO₂-Belastungen haben in der Stadt Zürich seit Mitte der 80er-Jahre kontinuierlich abgenommen. Seit 1990 wurden auch an hochbelasteten Messstellen keine Überschreitungen des LRV-Grenzwertes für das Jahresmittel mehr registriert. Vereinzelt kamen bis 1993 noch Überschreitungen des maximalen Tagesmittelwertes vor (während mehrtägigen Inversionslagen im Winter). Die Immissionen von Schwefeldioxid stellen heute jedoch kein lokales Problem mehr dar. 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.

Diese starke Verbesserung ist zum Teil mit der Substitution von stark schwefelhaltigen Brennstoffen (Kohle, Schweröl) durch fossile Energieträger mit geringem Schwefelgehalt (Heizöl „Extra leicht“, Erdgas) zu erklären. Zum anderen Teil konnte der Schwefelgehalt im Heizöl und im Dieselöl dank Fortschritten in der Entschwefelungstechnik stark reduziert werden. Die Lenkungsabgaben auf Heizöl „Extra leicht“ mit einem Schwefelgehalt von mehr als 0.1% (1998) sowie auf Benzin und Diesel mit einem Schwefelgehalt von mehr als 0.001% (2004) werden dazu beitragen die Säureeinträge noch weiter zu senken. Die hohen Qualitätsanforderungen an Treibstoffe (praktisch schwefelfrei) sind für den störungsfreien Betrieb neuer Motoren- und Abgasbehandlungstechnologien notwendig.

Wegen der Preisentwicklung ist Heizöl "Schwer" (Schweröl) als Brennstoff für Grossverbraucher wieder attraktiv geworden. Grosse Anlagen dieser Art stellen bedeutende lokale Quellen für SO₂, aber auch für NO_x und PM₁₀ dar. Damit der erreichte Stand bei SO₂ gehalten werden kann, sind verschärfte Emissionsbegrenzungen unerlässlich. In übermässig luftbelasteten Gebieten gilt dies auch für NO_x und PM₁₀.

3.7 Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid (CO) entsteht bei Verbrennungsprozessen, wenn nicht genügend Sauerstoff für eine "vollständige" Verbrennung vorhanden ist. Es kann in fast allen Verbrennungsabgasen nachgewiesen werden. CO ist ein farb- und geruchloses Gas, und stammt zu mehr als 89% aus den Abgasen von Motorfahrzeugen

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 den Sauerstofftransport im Blut bereits bei relativ niedrigen Konzentrationen behindert. In höheren Konzentrationen (z.B. beim Laufen lassen von Motoren in geschlossenen Räumen) wirkt CO bei Mensch und Tier als tödliches Atemgift.

In der Stadt Zürich wird Kohlenmonoxid zu 97 % vom motorisierten Strassenverkehr emittiert. Davon verursachen die benzinbetriebenen Fahrzeuge (v.a. PW) rund 90 %. Der Rest stammt aus Feuerungsanlagen, gewerblichen Maschinen und der Kehrichtverbrennung. Infolge des sehr hohen Verkehrsanteils gilt Kohlenmonoxid als typischer Leitschadstoff des motorisierten Verkehrs.

Die CO-Belastungen haben in der Stadt Zürich seit Mitte der 80er-Jahre kontinuierlich abgenommen. Seit 1986 wurden keine Überschreitungen des LRV-Grenzwertes für das Tagesmittel mehr registriert. Diese positive Entwicklung ist eine Folge motorseitiger Massnahmen und vor allem der verschärften Abgasvorschriften (Katalysator für Motorfahrzeuge). Mit den neuen EU-Abgasnormen EURO 4 wird der CO-Ausstoss noch weiter zurückgehen.

4 Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

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

Tab. 1 Grenzwerte 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 1/2-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 1/2-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 1/2-h-Mittelwerte eines Monats ≤ 100 µg/m ³ 1-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Schwebestaub (PM10) ¹⁾	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 x Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Blei (Pb) im Staubniederschlag	100 µg/m ² x Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Staubniederschlag	2 µg/m ² x Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Zink (Zn) im Staubniederschlag	400 µg/m ² x Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Thallium (Tl) im Staubniederschlag	2 µg/m ² x Tag	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Hinweise: 1 mg = 1 Milligramm = 0,001 g 1 µg = 1 Mikrogramm = 0,001 mg 1 ng = 1 Nanogramm = 0,001 µg Das Zeichen « ≤ » bedeutet «kleiner oder gleich».		1) Feindisperse Schwebestoffe mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm

Alarm- oder Warnwerte haben hingegen eine andere Funktion. Wenn die Konzentrationen auf alarmierend hohe Werte steigen, 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 (Schweiz. Eidgenossenschaft 1997). Ausserdem werden die Emissionen einer Vielzahl von Stoffen mit begründetem Verdacht auf eine Krebs erzeugende Wirkung in der LRV begrenzt.

5 Messprogramm der Kampagne 2004

Die Messungen erfolgten während der Dauer eines Jahres vom 1. Januar bis zum 31. Dezember 2004. Neben den permanent betriebenen UGZ-Stationen Stampfenbachstrasse und Schimmelstrasse/Bhf. Wiedikon, wurde zusätzlich beim Stadion Hardturm eine mobile Messstation in Betrieb genommen. Mit diesem Stationsnetz erfolgte eine Erfassung aller LRV-Leitschadstoffe gemäss Abschnitt 4 sowie von Russ. Die ebenfalls im Dauerbetrieb stehende Ozonstation Schulhaus Heubeeribüel wurde zusätzlich mit einem Staubprobensammler (High Volume-Sampler) ausgerüstet: Ein zweites Messgerät dieses Typs wurde an der ebenfalls schwach verkehrsexponierten Speerstrasse installiert. Die Bestimmung der PM10-Konzentration mit High Volume-Samplern (manuelle gravimetrische Methode) erfolgte stichprobenweise (Tagesmittelwerte jeden dritten Tag). Somit umfasste das PM10-Messnetz 5 Standorte mit unterschiedlicher Charakteristik (stark verkehrsexponiert bis verkehrsfremd/peripher). Hier wurden auch als PM10-Inhaltsstoffe die Schwermetalle Blei und Cadmium bestimmt.

Parallel zum Stationsbetrieb wurde – in Anlehnung an die Flächenuntersuchung 1999/2000 – ein Netz aus 37 NO₂-Passivsammler-Messpunkten aufgebaut. Die Passivsammler wurden jeweils während 14 Tagen exponiert, bevor sie im eigenen Labor analysiert wurden. Dies ergab innerhalb der Kampagnendauer pro Messort 26 Einzelwerte, aus denen die Jahresmittel berechnet wurden. Auf Grund dieser 14-tägigen Exposition blieb die Verfolgung der zeitlichen Belastungsschwankungen auf dieses Messintervall beschränkt. Dieses Messkonzept stellt einen guten Kompromiss zwischen den Bedürfnissen (hohe örtliche und zeitliche Auflösung) und den zu Verfügung stehenden Mitteln dar.

Wenn immer möglich wurden aus Vergleichsgründen die gleichen Messorte verwendet, wie in den vorangegangenen Kampagnen. Einen Gesamtüberblick über die Lage der Messstellen auf Stadtgebiet gibt Abb. 7. Bei der gezielten Standortauswahl sind folgende Kriterien beachtet worden: Topographie (Stadtbecken, Hanglagen, Glatttal), Nutzungsart, Verkehrs- und Emissionskataster sowie Bevölkerungs- und Bebauungsdichte. Die Berücksichtigung aller Stadtkreise stellte eine weitere Randbedingung dar. Die Errichtung von Messstellen an unterschiedlich strukturierten und belasteten Orten ermöglichte einen Überblick über die Variationsbreite der NO₂-Immissionen.

Bei ausreichender Repräsentativität einer Messstelle können Abschätzungen für vergleichbare Gebiete durchgeführt werden. Da die räumliche Struktur der Immissionen hauptsächlich durch den Strassenverkehr bestimmt wird, werden folgende die Standorttypen unterschieden:

- Typ W: Wohnzone abseits von verkehrsreichen Hauptachsen; Distanz der Messstelle zur nächsten verkehrsreichen Strasse mindestens 100 Meter.
- Typ WV: Wohnzone oder gemischte Wohn- und Geschäftszone mit direkter Exposition auf eine verkehrsreiche Hauptachse; die Messstelle befindet zwischen Gebäuden und Fahrbahnrand, das heisst, ausserhalb der eigentlichen Verkehrsanlage.
- Typ V: Verkehrsreicher Platz mit hoher Fussgängerfrequenz.
- Typ G: Grünzone; Messort abseits von Verkehrsachsen mit keiner oder nur sehr geringer Bebauung, innerhalb der Freihaltezone.

Sämtliche Messorte der Messkampagne sind in der folgenden Übersichtskarte angegeben und farblich nach Standorttyp markiert. Ihre genaue Lage kann den Detailplänen der Abb. 8 bzw. Abb. 9 entnommen werden. In der Tab. 2 werden die Messorte zudem kurz charakterisiert.

5.1 Messorte der MK 2004 im Überblick

- | | | |
|--|--|--|
| <p>Typ WV: Verkehrsexponiert</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 Elsässer 8 Gerhardstrasse 9 Schimmelstrasse 10 Schweighof 18 Stampfenbachstrasse 21 Forchstrasse 25 Rehalp 26 Bernerstrasse Nord 29 Rosengartenstrasse 30 Schulhaus Nordstrasse 38 Tulpenstrasse 39 Schwamendingen Autobahn | <p>Typ W: Wenig Verkehr</p> <ul style="list-style-type: none"> 3 Paradeplatz 4 Speerstrasse 6 Wegacker 11 Eichbühlstrasse 13 SBB Stellwerk 14 Neugasse 15 Schiffbaustrasse 16 Stadion Hardturm 17 Bionstrasse 22 Schulhaus Heuberibühl 23 Steinbrüchel 24 Schulhaus Seefeld 28 Meientalstrasse 31 Schulhaus Vogtsrain 32 Birchstrasse 33 Dynamoweg/ Oerlikerpark 35 In Böden 36 Grosswiesen/ Schulhaus Hirzenbach 37 Schulhaus Saatlén | <p>Typ G: Grünzone</p> <ul style="list-style-type: none"> 5 Mythenquai 7 Friedhof Sihlfeld 12 Kasernenhof 20 Adolf Jöhr Weg 27 Hardhof |
| | | <p>Typ V: Verkehrsreicher Platz</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Bellevue 19 Unispital 34 Franklinplatz |

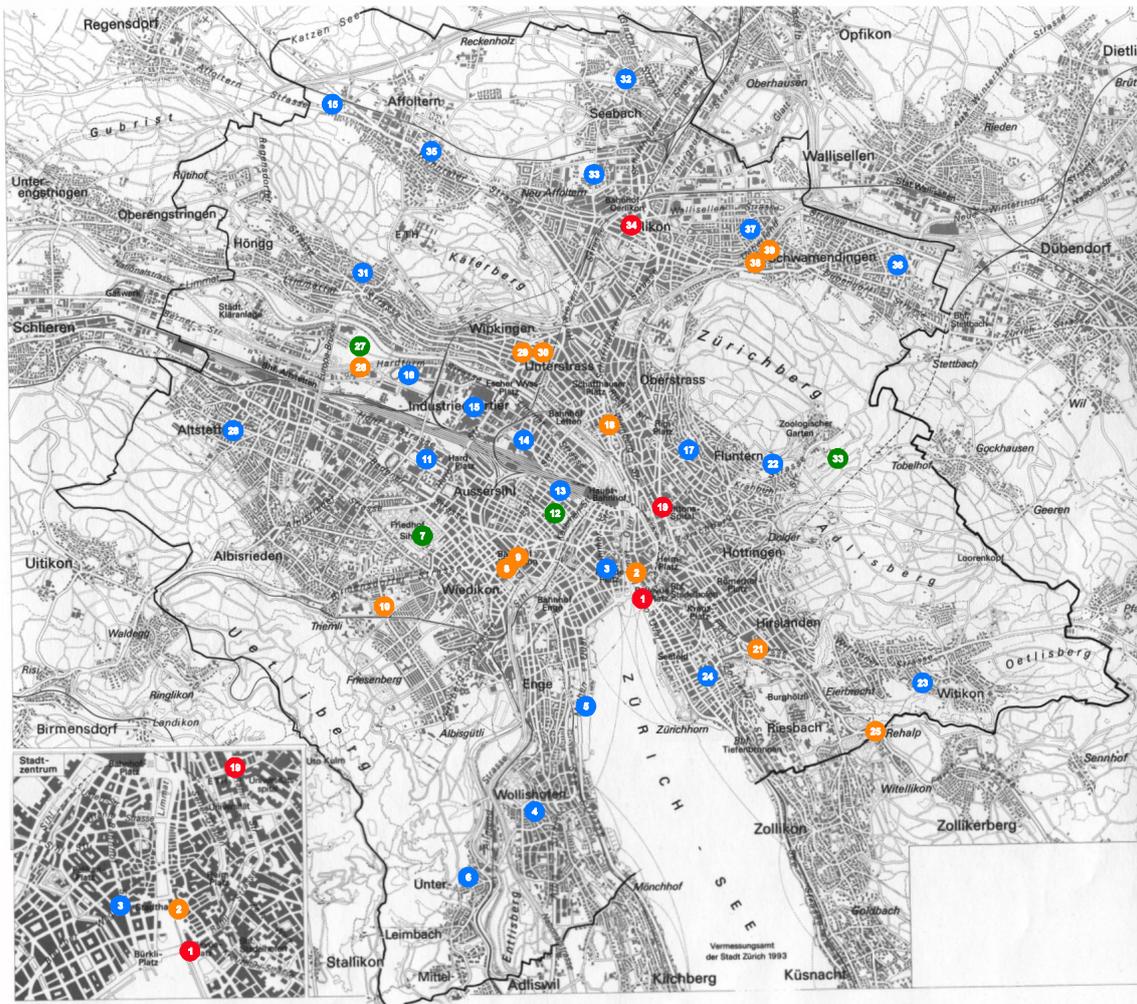


Abb. 7 Die auf der Karte eingezeichneten Messorte sind nach Standorttypen farblich unterschieden.

5.2 Detailplan der Messorte



Abb. 8 Detailansichten von den Messorten der Stadtkreise 1 – 6.



Abb. 9 Detailsichten von den Messorten der Stadtkreise 7 - 12.

5.3 Beschreibung der Messstationen

Tab. 2 Details zur Lage resp. zur Verkehrssituation an den Messstellen

Nr.	Typ	Messort, Lage, Quartier, Koordinaten	Beschreibung Messort und Quartier
1	V	Bellevue , Auf Seite Uto-Quai, Kreis1/Hochschulen, Koord.: 683580 ; 246770	Messort auf verkehrsreichem, zweiseitig bebautem Platz im Zentrum (ca. 51'000 Fz/Tag, Distanz 5 m). Verkehrslärm 70 dB. Niedrige Einwohnerdichte (17 E/ha). Hohe Fussgängerdichte.
2	WV	Elsässer , Limmat-Quai 18, Kreis1/Rathaus, Koord.: 683465 ; 247075	Kleiner Platz an verkehrsreicher Strasse (ca. 15'000 Fz/Tag). Verkehrslärm vor Sperrung (70 dB)
3	W	Paradeplatz , Bahnhofstr. 23, Kreis1/City, Koord.: 683115 ; 247165	Messort befindet sich am nördlichen Rand des Paradeplatzes, verkehrsfrei (Zubringer).
4	W	Speerstrasse , Wachtelstr. 17, Kreis2/Wollishofen, Koord.: 682250 ; 244140	Wohn- und Geschäftsquartier am Stadtrand. Niedrige Bebauungs- und Einwohnerdichte (44 E/ha). Lokalverkehr.
5	G	Strandbad Mythenquai , Mythen-Quai 95 im Eingangsbereich, Kreis2/Enge, Koord.: 682815 ; 245460	Messort im Park am See, Distanz zur angrenzenden (abgeschirmten) Hauptachse (ca. 24'000 Fz/Tag) 40 m.
6	W	Wegackerstrasse , Wegackerstr. 2, Kreis2/Leimbach, Koord.: 681425 ; 243310	Wohn- und Geschäftsquartier am Stadtrand (Sihltal). Niedrige Bebauungs- und Einwohnerdichte. (31 E/ha). Lokalverkehr.
7	G	Friedhof Sihlfeld , Nähe Kapelle A, Kreis3/Sihlfeld Koord.: 680800 ; 247650	Grünfläche in Stadtmitte (Abstand zu stark befahrenen Strassen ca. 250 m), allseitig von Wohn- und Geschäftsquartieren umgeben.

Nr.	Typ	Messort, Lage, Quartier, Koordinaten	Beschreibung Messort und Quartier
8	WV	Gerhardstrasse, Gerhardstr. 5, Kreis3/Sihlfeld, Koord.: 681915 ; 247185	Zwischen zwei Hauptverkehrsachsen (Schimmelstrasse, 26'000 Fz/Tag und Weststrasse, 21'000 Fz/Tag) mit je einem Abstand von ca. 75 Metern. Einwohnerdichte (130 E/ha).
9	WV	Schimmelstrasse, Birmensdorferstr. 83, Kreis3/Sihlfeld, Koord.: 681960 ; 247245	Messort an Transitachse (26'000 Fz/Tag, Distanz 3 m). Strassenverkehrslärm 69 dB. Wohn- und Geschäftsquartier hohe Bebauungs- und Einwohnerdichte (130 E/ha).
10	WV	Schweighofstrasse, Schweighofstr. 369, Kreis3/Friesenberg, Koord.: 680330 ; 246670	Messort an Hauptachse (ca. 13'000 Fz/Tag, Distanz 5 m). Verkehrslärm 67 dB. Niedrige Bebauungs- und Einwohnerdichte (43 E/ha).
11	W	Eichbühlstrasse, Eichbühlstr. 43, Kreis4/Hard, Koord.: 680880 ; 248555	Wohn- und Geschäftsquartier mittlerer Bebauungs- und Einwohnerdichte (88 E/ha). Nähe Güterbahnhof und Hardstrasse (250m). Lokalverkehr.
12	W	Kasernenhof (NABEL), Kanonengasse 20, Kreis4/Langstrasse, Koord.: 682450 ; 247990	Verkehrsfreie Hinterhofsituation, kleiner Park in Stadtmitte. Wohn- und Geschäftsquartier. Mittlere Bebauungs- und Einwohnerdichte (95 E/ha). (Standort der NABEL-Station).
13	W	SBB Stellwerk, Gleisfeld Höhe Lagerstr. 96, Kreis4/Langstrasse, Koord.: 682440 ; 248215	Messort innerhalb des Gleisfeldes, in 40 Metern Distanz zur Lagerstasse (ca. 13'500 Fz/Tag).
14	W	Neugasse, Josefstr. 175, Kreis5/Gewerbeschule, Koord.: 682100 ; 248800	Messort im verkehrsfreien Innenhof einer Wohnüberbauung. Hohe Bebauungs- und Einwohnerdichte (148 E/ha).
15	W	Schiffbaustrasse, Schiffbaustr. 10, Kreis5/Escher Wyss, Koord.: 681495 ; 249235	Hintergrundmessort zur Pfingstweidstrasse. Zur Zeit der Messkampagne 04 relativ schwach befahrene Strasse, jedoch mit Baustellenverkehr.

Nr.	Typ	Messort, Lage, Quartier, Koordinaten	Beschreibung Messort und Quartier
16	WV	Stadion Hardturm, Förrlibuckstr. 220, Kreis5/Escher Wyss, Koord.: 680670 ; 249650	An Abzweigung Förrlibuckstr. / Sportweg mit ca. 4'000 Fz/Tag. Quartier mit relativ niedriger, jedoch steigender Einwohnerdichte (20 E/ha). 150 Meter Abstand zur Pfingstweidstr. (40'000 Fz/Tag).
17	W	Bionstrasse, Bionstr. 10, Kreis6/Oberstrass, Koord.: 684130 ; 248680	Wohn- und Geschäftsquartier in Hanglage. Mittlere Bebauungs- und Einwohnerdichte (61 E/ha). Geringer Lokalverkehr.
18	WV	Stampfenbachstrasse, Stampfenbachstr. 144, Kreis6/Unterstrass, Koord.: 683140 ; 249020	Messort an Hauptachse (ca. 8'500 Fz/Tag, Distanz 3 m). Verkehrslärm 72 dB. Wohn- und Geschäftsquartier. Mittlere Bebauungs- und Einwohnerdichte (83 E/ha).
19	V	Uni Spital, Universitätsstr. 2, Kreis6/Hochschulen, Koord.: 683830 ; 247950	An verkehrsreicher Strasse (24'000 Fz/Tag). Keine Wohnhäuser in unmittelbarer Umgebung. Quartier mit niedriger Einwohnerdichte (17 E/ha).
20	G	Adolf Jöhr Weg, Kreuzung Forrenweidstr./ Sagentobelstr., Kreis7/Hottingen, Koord.: 686005 ; 248575	Messort in Waldlichtung neben Sportanlagen. Distanz zu Tobelhofstrasse (ca. 7'000 Fz/Tag) ca. 180 m.
21	WV	Forchstrasse 145, Kreis7/Hirslanden, Koord.: 684990 ; 246135	Messort an Hauptachse (14'000 Fz/Tag, Distanz 2 m). Verkehrslärm 70 dB. Mittlere Bebauungs- und Einwohnerdichte (73 E/ha).
22	W	Schulhaus Heubeeribüel Heubeeriweg 30, Kreis7/Fluntern, Koord.: 685135 ; 248470	Messort an erhöhter Lage am Stadtrand, gegen offenes Feld, Hanglage. Niedrige Bebauungs- und Einwohnerdichte (34 E/ha). Schwacher Lokalverkehr.
23	W	Steinbrüchelstrasse, Steinbrüchelstr. 44, Kreis7/Witikon, Koord.: 687060 ; 245660	Wohn- und Geschäftsquartier am Stadtrand. Niedrige Bebauungs- und Einwohnerdichte (33 E/ha). Lokalverkehr.

Nr.	Typ	Messort, Lage, Quartier, Koordinaten	Beschreibung Messort und Quartier
24	WV	Rehalp Auf Höhe Forchstr. 407 Kreis8/Weinegg, Koord.: 686465 ; 245060	An Hauptverkehrsachse mit 15'000 Fz/Tag (Abstand: 30 Meter). Direkt an der Tram-Wendeschleife. Mittlere Bebauungsdichte.
25	W	Schulhaus Seefeld, Tuggenerweg, Kreis8/Mühlebach, Koord.: 684425 ; 245800	Wohn- und Geschäftsquartier. Hohe Bebauungs- und mittlere Einwohnerdichte (87 E/ha). Lokalverkehr. Verkehrslärm und Umgebungsgeräusch 60 dB.
26	WV	Bernerstrasse Nord, Bei Ausfahrt nach Pflingstweidbrücke, Kreis9/Altstetten, Koord.: 679885 ; 249765	Messort an Autobahn (50'000 Fz/Tag), niedrige Bebauungsdichte. Grenzt an Sportanlage Hardhof.
27	G	Hardhof, Am Gehweg durch die Sportanlage, Kreis9/Altstetten, Koord.: 680015 ; 249995	Messort innerhalb Park-/Sportanlage. In unmittelbarer Umgebung keine Bebauung. Kein motorisierter Verkehr.
28	W	Meientalstrasse, Meientalstr./ Stampfenbrunnenstr., Kreis9/Altstetten, Koord.: 678485 ; 248885	Wohn- und Geschäftsquartier am westlichen Stadtrand. Niedrige Bebauungs- und Einwohnerdichte (50 E/ha). Lokalverkehr.
29	WV	Rosengartenstrasse, Einfahrt zum Schulhaus, Kreis10/Wipkingen, Koord.: 682100 ; 249935	Messort an Hauptachse (ca. 57'000 Fz/Tag, Abstand 15 m). Verkehrslärm 76 dB. Wohn- und Geschäftsquartier mit mittlerer Bebauungs- und Einwohnerdichte (102 E/ha).

6 Resultate der Messkampagne

In diesem Kapitel werden die Messresultate der Messkampagne vorgestellt und zum Teil mit Messwerten aus früheren Jahren verglichen.

6.1 Feinstaub PM₁₀

Die PM₁₀ Messwerte der MK04 liegen im Bereich der letzten Jahre. Der Messort Schimmelstrasse weist auf Grund seiner stark verkehrsexponierten Lage mit 30 µg/m³ den höchsten Jahresmittelwert auf. Am andern Ende der Skala befinden sich die Messorte Heubeeribühl und Speerstrasse. Sie sind praktisch nicht vom motorisierten Strassenverkehr beeinflusst. Die Stationen Stadion Hardturm und Stampfenbachstrasse repräsentieren eine durchschnittliche städtische Belastung.

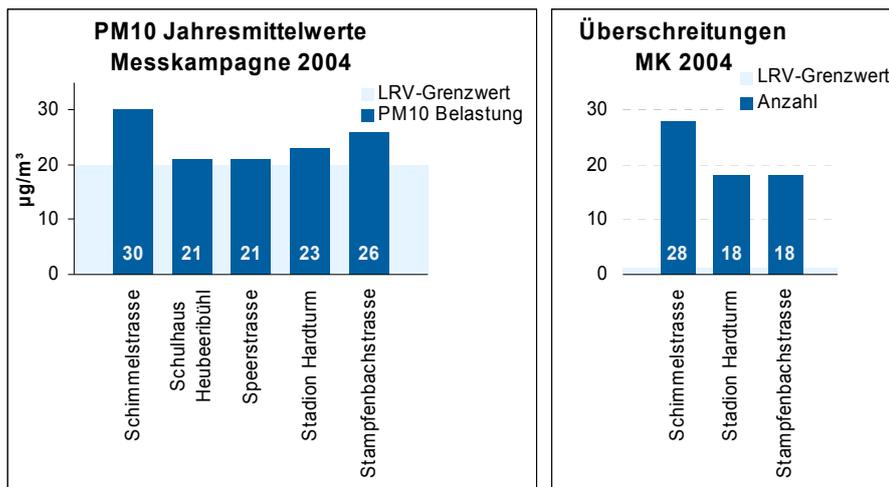


Abb. 10 PM₁₀ Jahresmittelwerte und LRV-Grenzwertüberschreitungen der Messkampagne 2004.

Bei den Überschreitungen der Tagesmittelwerte kommen die Belastungsbedingungen besser zum Vorschein. An den beiden wenig belasteten Standorten wurde nur jeder dritte Tag gemessen, was zur Folge hat, dass von diesen Standorten keine Überschreitungsanzahlen zur Verfügung stehen.

In Abb. 11 sind die PM₁₀-Jahresmittelwerte der MK04 früheren Messkampagnen gegenübergestellt. Die starke PM₁₀-Belastungsminderung an der Schimmelstrasse zwischen der MK99/00 und der MK04 hängt mit der Verschiebung der PM₁₀-Messgeräte und dem dadurch angewachsenen Strassenabstand zusammen. An den übrigen Messstellen ist ein geringer oder kein Rückgang der PM₁₀-Jahresmittelwerte zu verzeichnen.

Am Verlauf der PM₁₀-Immissionswerte an den beiden Messstellen Stampfenbachstrasse und Schimmelstrasse in Abb. 12 erkennt man gut, ist dass in den letzten 5 Jahren keine Abnahme beim PM₁₀ zu verzeichnen war.

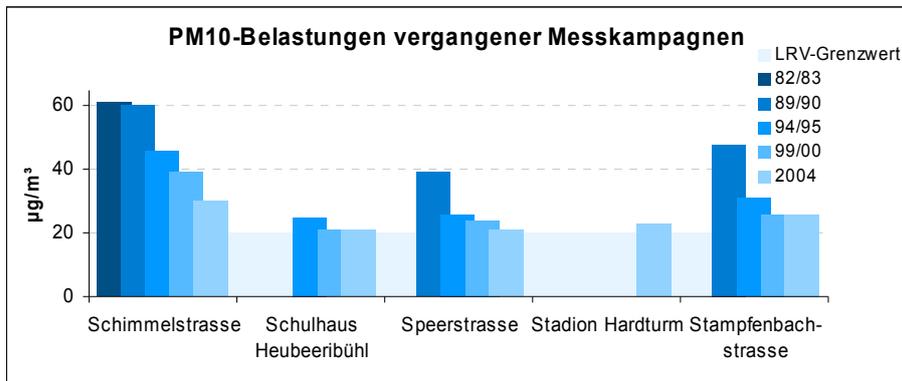


Abb. 11 PM10 Jahresmittelwerte im Vergleich zu früheren Messkampagnen des UGZ.

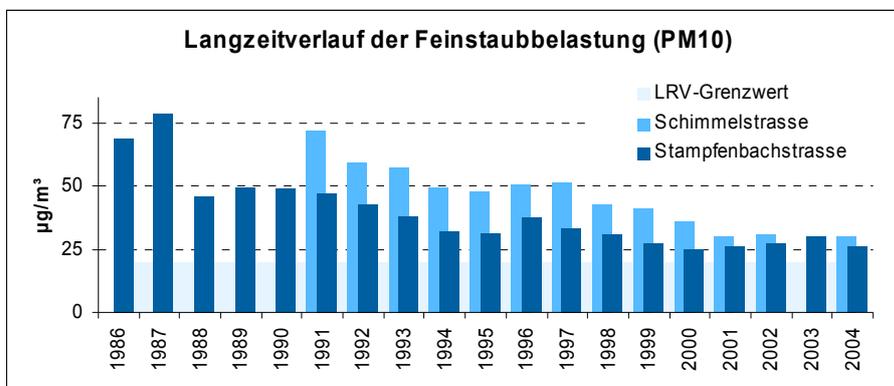


Abb. 12 PM10-Jahresmittelwerte der letzten knapp 20 Jahre.

6.2 Inhaltsstoffe des Feinstaubes

Feinstaub PM10 ist ein sehr heterogenes Gemisch vieler Substanzen von verschiedenster Herkunft. Eine wichtige Fraktion des Feinstaubes bildet der elementare Kohlenstoff, da er besonders gesundheitsgefährdend ist.

Elementarer Kohlenstoff (EC)

An den EC-Messwerten lässt sich ein Messort bezüglich seiner Verkehrsexposition charakterisieren. Ist der Anteil an EC hoch, handelt es sich um einen Messort, in der Nähe einer viel befahrenen Strasse. Beim EC-Messwert handelt es sich zu einem grossen Teil um ein Dieselerussignal. Gut zu erkennen ist dies anhand des Wochenverlaufes von EC links unten in der Abb. 13. An der verkehrsexponierten Schimmelstrasse, mit einem hohen EC-Anteil, verringert sich das EC-Messsignal am Wochenende, besonders stark nimmt es am Sonntag ab. Durch die weitgehend fehlenden Lastwagen sinken die Dieselerussmissionen stark, was zu diesen niedrigeren EC-Belastungen an den Wochenenden führt.

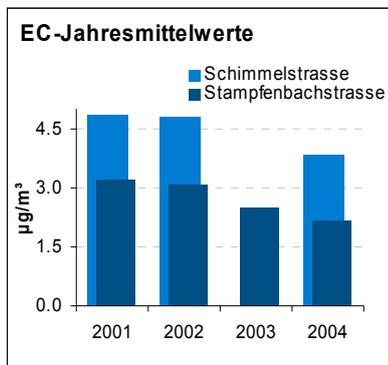
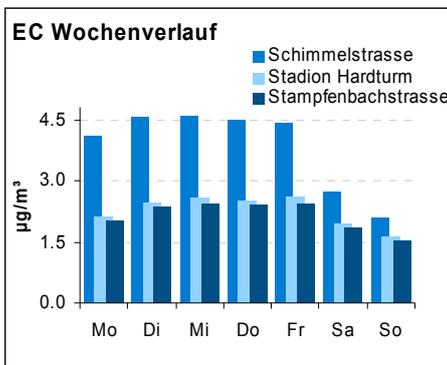
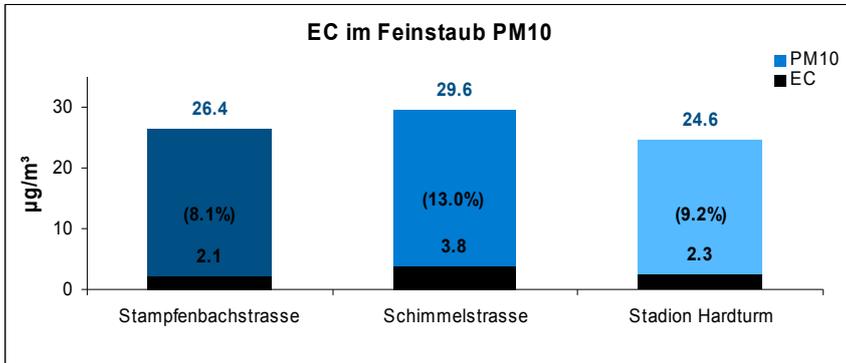


Abb. 13 Jahresmittelwerte, Wochen- und mehrjährige Verläufe von EC an verschiedenen Stationen in der Stadt Zürich.

Schwermetalle im Feinstaub

Neben dem elementaren Kohlenstoff gibt es noch eine Vielzahl von problematischen Stoffen im Feinstaub. Schwermetalle, von denen in der Abb. 14 zwei Jahresmittelwerte von Blei und Cadmium dargestellt sind, gehören zu solchen Problemstoffen. Die LRV-Grenzwerte für Blei (500 ng/m³) und für Cadmium (1.5 ng/m³) werden jedoch bei weitem nicht erreicht.

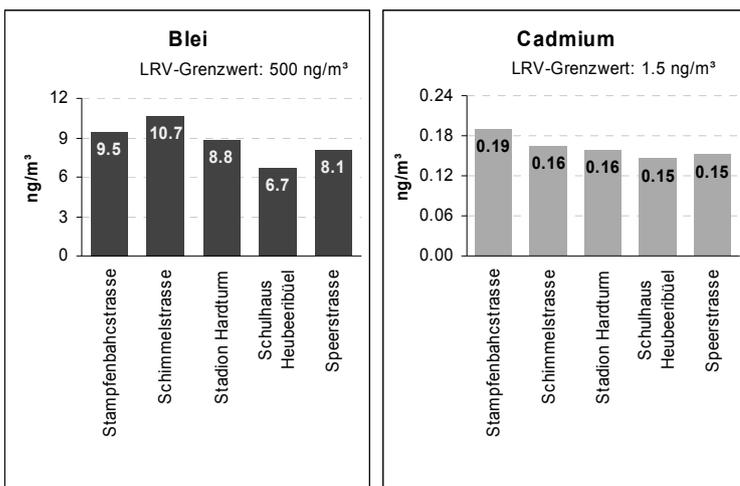


Abb. 14 Schwermetallkonzentrationen im Feinstaub.

6.3 Staubniederschlag

Der Staubniederschlag bezeichnet die gröbere Staubfraktion mit einem Durchmesser grösser als etwa 30 µm. Im Gegensatz zum Feinstaub besitzt dieser Staubanteil eine deutlich höhere Sinkgeschwindigkeit und wird relativ schnell deponiert. Die Staubniederschlagsmenge wurde erfasst und zusätzlich auf den Gehalt von Schwermetallen untersucht. Die eingefärbten Flächen der Abb. 15 entsprechen dem LRV-Grenzwert.

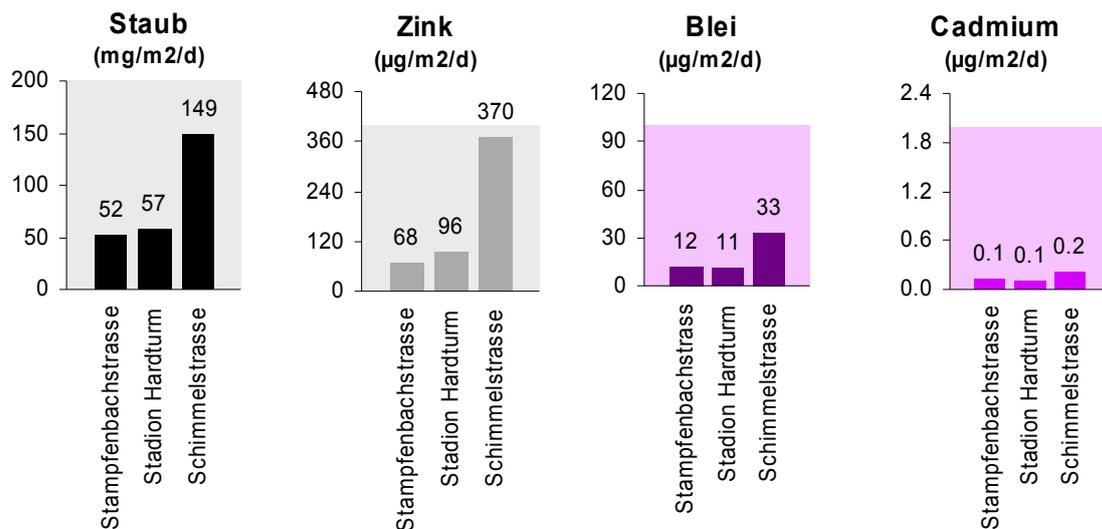


Abb. 15 Staubniederschlag und in ihm enthaltene Schwermetalle an drei Messorten der MK04.

Obige Abbildung zeigt, dass die LRV-Grenzwerte für den Staubniederschlag, wie auch für seine Inhaltsstoffe an allen drei Messorten eingehalten worden sind. Die Staub- und Zinkbelastungen am Messort Schimmelstrasse liegen bei 75% bzw. 90% des LRV-Grenzwertes.

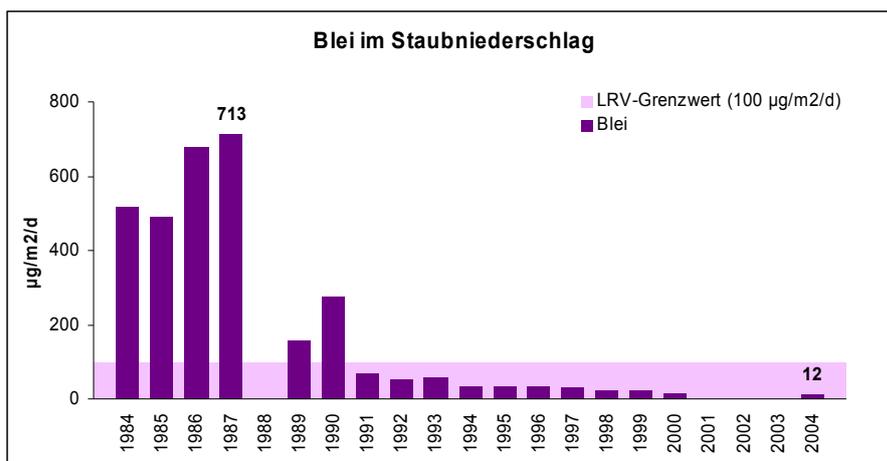


Abb. 16 Langjähriger Verlauf von Blei im Staubniederschlag an der Messstation Stampfenbachstrasse.

Die Reduzierung von Blei im Staubniederschlag zeigt, was gezielte Umweltmassnahmen bewirken können (Abb. 16). Durch das Verbot von verbleitem Benzin, sanken die Blei-Konzentrationen an der Stampfenbachstrasse von der Mitte der 80-er Jahre bis anfangs 90-er Jahre stark ab und blieben seit dem dauernd unter dem LRV-Grenzwert. Seit den höchsten Belastungen sanken die Bleiwerte um den Faktor 50.

6.4 Stickstoffdioxid (NO₂)

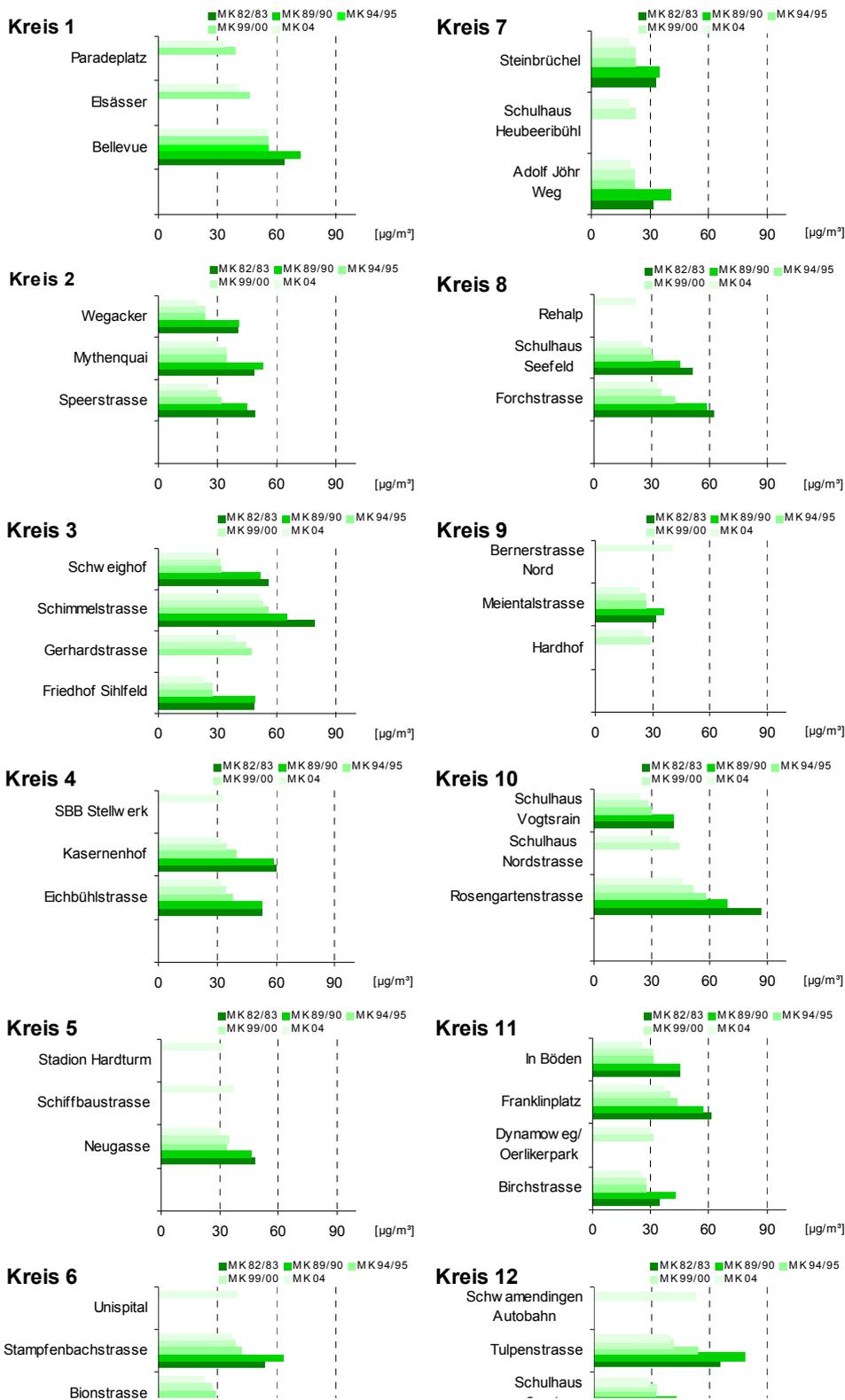


Abb. 17 Stickstoffdioxidbelastungen der letzten fünf Messkampagnen im Vergleich, nach Stadtkreisen aufgeteilt

Mit dem Einsatz von NO₂-Passivsammlern lässt sich ein engmaschiges Messnetz aufbauen. In der Abb. 17 sind die Passivsammler-Messresultate der MK04 mit denen früheren Messkampagnen verglichen.

Die langjährige Belastungsgrafik von Stickstoffdioxid zeigt einen ähnlichen Verlauf, wie diejenige von Feinstaub PM10. Die Konzentrationen sind zwar seit den 80-er Jahren stark zurückgegangen, jedoch stagnieren die Werte seit einigen Jahren über dem Grenzwert oder scheinen eher noch anzusteigen.

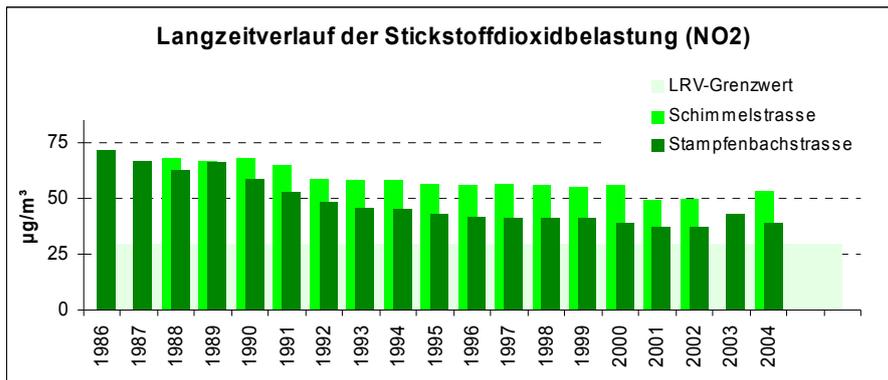


Abb. 18 Stickstoffdioxid-Belastung in der Stadt Zürich im Verlauf der letzten 19 Jahre.

6.5 Ozon

An der Stampfenbachstrasse wurden im Jahr 2004 171 Stunden mit Ozonkonzentrationen über dem LRV-Grenzwert verzeichnet. An der wenig verkehrsexponierten Messstation Heubereibühl wurden im gleichen Zeitraum 425 Überschreitungen gemessen. Je stärker ein Messort dem motorisierten Strassenverkehr ausgesetzt ist (höhere NO Konzentrationen), desto niedriger fallen die Überschreitungszahlen für Ozon aus. NO wird durch Ozon zu NO₂ oxidiert, was zu einer zeitweiligen O₃-Zehrung führt. Dieses NO₂ trägt jedoch in peripheren Lagen wiederum in gleichem Masse zur Ozonbildung bei. Die Ozonbildung wird daher durch das emittierte NO nicht vermindert, sondern im Gegenteil, ohne emittiertes NO würde ein grosser Teil der Ozonproduktion wegfallen.

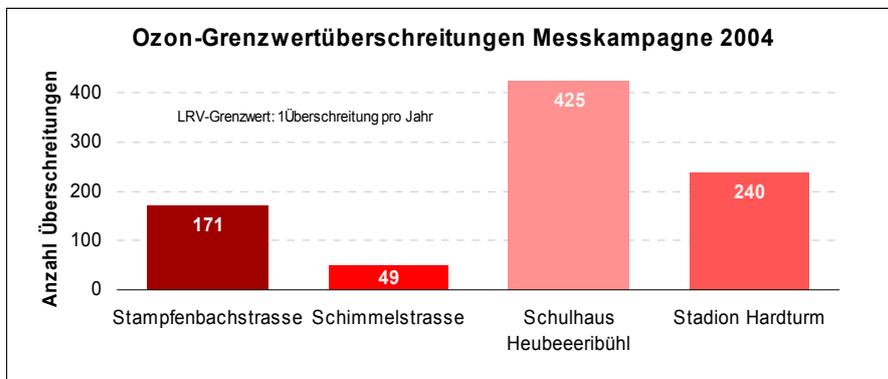


Abb. 19 Anzahl LRV-Grenzwertüberschreitungen während der MK04.

Die Überschreitungszahlen der MK04 reihen sich in die Zahlen der letzten Jahre ein. Die hohen Messwerte des Jahres 2003 sind durch die aussergewöhnlichen Witterungsbedingungen entstanden und stellen eine Ausnahme dar.

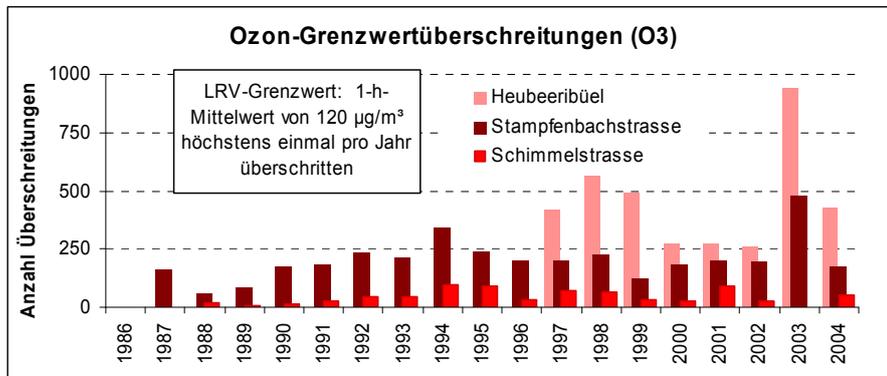


Abb. 20 Grenzwertüberschreitungen für Ozon seit Ende der 80-er Jahre.

7 Besondere Ereignisse

Die Schadstoffbelastung ist ein Produkt von Einflüssen verschiedenster Art. Neben anthropologischen Einflüssen, spielt die Meteorologie eine sehr wichtige Rolle. Nachfolgend ist ein Beispiel angeführt, das den grossen Einfluss der Wetterverhältnisse auf die Luftqualität zeigt.

Im Dezember 2004 lag eine mehrtägige Inversionslage über Zürich. Die Luftschadstoffe reicherten sich unter der Dunstglocke an und die Tages-Grenzwerte für Feinstaub PM10 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wurden mehrfach überschritten. Am Abend des 16. Dezembers änderte sich die Wetterlage abrupt. Die stabile Hochdrucklage wurde durch windiges, regnerisches Wetter abgelöst. Ein starker Südwestwind räumte die stark belastete Luft aus und die Schadstoffwerte fielen innerhalb einer Stunde massiv. Die Werte für Feinstaub PM10 verringerten sich von über $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Temperaturanstieg von über vier Grad innerhalb einer halben Stunde zeigt ebenfalls, dass die Luftmassen fast schlagartig ausgetauscht wurden.

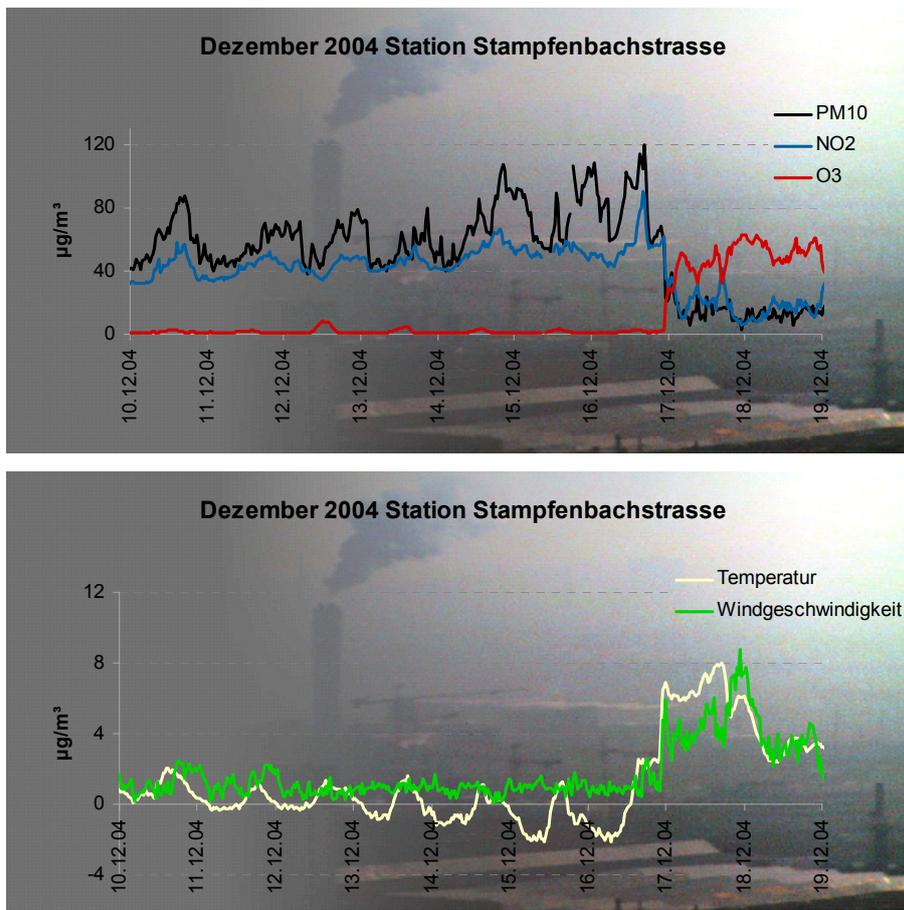


Abb. 21 Das Ende einer Inversionslage im Dezember 2004 mit grafischer Darstellung der Schadstoff- und Wetter-Messwerte der Messstation Stampfenbachstrasse.

8 Messwerttabellen

Ozon	Jahresmittelwert	Stundenwerte	Höchster	Höchster
		> 120 µg/m ³ [Anzahl]	Stundenwert	98% Monats-Wert [µg/m ³]
Stampfenbachstrasse	42	171	182	152
Schimmelstrasse	33	49	168	131
Heubeeribühl	58	425	195	166
Stadion Hardturm	43	240	186	155

Feinstaub PM10	Jahresmittelwert [µg/m ³]	95%-Wert [µg/m ³]	Höchster	Tageswerte
			Tagesmittelwert [µg/m ³]	>50 µg/m ³ [Anzahl]
Stampfenbachstrasse	26	54	78	18
Schimmelstrasse	30	58	73	28
Heubeeribühl	21			
Stadion Hardturm	23	55	81	18
Speerstrasse	21			

NO2	Jahresmittelwert	95%-Wert [µg/m ³]	Höchster	Stundenwerte
			Tagesmittelwert	>80 µg/m ³ [Anzahl]
Stampfenbachstrasse	39	77	94	4
Schimmelstrasse	53	92	98	20
Stadion Hardturm	33	69	81	2

NO	Jahresmittelwert	95%-Wert [µg/m ³]	Höchster
			Tagesmittelwert
Stampfenbachstrasse	25	97	150
Schimmelstrasse	50	144	204
Stadion Hardturm	17	77	139

NOx	Jahresmittelwert	95%-Wert [µg/m ³]	Höchster
			Tagesmittelwert
Stampfenbachstrasse	40	111	148
Schimmelstrasse	67	156	198
Stadion Hardturm	31	91	145

Feinstaub PM10	Jahresmittelwert				
	82/83	89/90	94/95	99/00	2004
	[µg/m ³]				
Stampfenbachstrasse		*48	*31	26	26
Schimmelstrasse	*61	*60	*46	39	30
Heubeeribühl		*39	*26	24	21
Stadion Hardturm					23
Speerstrasse		*39	*26	*24	21

Kreis Messort		Nr. Typ		Jahresmittelwerte NO2				
				MK 82/83	MK 89/90	MK 94/95	MK 99/00	MK 2004
[µg/m³]								
1	Bellevue	1	V	64	72	56	56	55
1	Elsässer	2	VW				46	41
1	Paradeplatz	3	W				39	33
2	Speerstrasse	4	W	49	45	32	30	25
2	Mythenquai	5	G	48	53	35	35	30
2	Wegacker	6	W	40	41	24	24	20
3	Friedhof Sihlfeld	7	G	48	49	27	27	23
3	Gerhardstrasse	8	WV			47	44	39
3	Schimmelstrasse	9	WV	79	65	56	53	53
3	Schweighof	10	WV	56	52	32	31	29
4	Eichbühlstrasse	11	W	53	53	38	34	32
4	Kasernenhof	12	W	60	59	40	35	32
4	SBB Stellwerk	13	W					33
5	Neugasse	14	W	48	46	34	35	30
5	Schiffbaustrasse	15	W					37
5	Stadion Hardturm	16	WV					32
6	Bionstrasse	17	W	56	40	29	27	23
6	Stampfenbachstrasse	18	WV	54	63	42	39	39
6	Unispital	19	V					40
7	Adolf Jöhr Weg	20	G	32	41	22	22	20
7	Schulhaus Heubeeribühl	21	W				23	19
7	Steinbrüchel	22	W	33	35	23	23	19
8	Forchstrasse	23	WV	62	59	42	35	33
8	Rehalp	24	WV					22
8	Schulhaus Seefeld	25	W	51	45	31	30	25
9	Bernerstrasse Nord	26	WV					40
9	Meientalstrasse	27	W	32	36	27	27	23
9	Hardhof	28	G				29	25
10	Rosengartenstrasse	29	WV	87	69	58	52	46
10	Schulhaus Nordstrasse	30	WV				44	40
10	Schulhaus Vogtsrain	31	W	41	41	30	28	24
11	Birchstrasse	32	W	35	43	28	28	25
11	Dynamoweg/ Oerlikerpark	33	W				31	30
11	Franklinplatz	34	V	61	57	44	40	37
11	In Böden	35	W	45	45	31	31	26
12	Grossw. Schulh.Hirzenb.	36	W	38	38	26	27	24
12	Schulhaus Saatlén	37	W		43	32	33	29
12	Schwamendingen Autobahn	38	WV					53
12	Tulpenstrasse	39	WV	66	78	54	41	40

Staubniederschlag, langjähriger Verlauf

Staubniederschlag			Blei				
	Stampfenbachstrasse	Schimmelstrasse	Stadion Hardturm		Stampfenbachstrasse	Schimmelstrasse	Stadion Hardturm
	[mg/m ² Tag]	[mg/m ² Tag]	[mg/m ² Tag]		[µg/m ² Tag]	[µg/m ² Tag]	[µg/m ² Tag]
1981				1981			
1982				1982			
1983				1983			
1984	216			1984	520		
1985	204			1985	490		
1986	194			1986	680		
1987	306			1987	713		
1988	131			1988	157		
1989	128			1989	275		
1990	142			1990	191		
1991	116	192		1991	70	280	
1992	75	171		1992	54	218	
1993	78	181		1993	59	202	
1994	82	167		1994	36	175	
1995	70	158		1995	34	146	
1996	70	158		1996	33	100	
1997	59	156		1997	29	100	
1998	54	155		1998	21	91	
1999	64	196		1999	23	98	
2000	62	182		2000	16	82	
2001				2001			
2002				2002			
2003				2003			
2004	52	149	57	2004	12	33	11

Zink			Cadmium				
	Stampfenbachstrasse	Schimmelstrasse	Stadion Hardturm		Stampfenbachstrasse	Schimmelstrasse	Stadion Hardturm
	[µg/m ² Tag]	[µg/m ² Tag]	[µg/m ² Tag]		[µg/m ² Tag]	[µg/m ² Tag]	[µg/m ² Tag]
1981				1981			
1982				1982			
1983				1983			
1984				1984	2		
1985				1985	3		
1986	1140			1986	4		
1987	1331			1987	2		
1988	1812			1988	1		
1989	1611			1989	1		
1990	585			1990	1		
1991	201	690		1991	1	1	
1992	151	512		1992	1	1	
1993	148	526		1993	0	1	
1994	107	543		1994	0	1	
1995	103	512		1995	0	1	
1996	103	495		1996	1	1	
1997	82	486		1997	0	1	
1998	77	499		1998	0	1	
1999	81	522		1999	0	0	
2000	83	451		2000	0	0	
2001				2001			
2002				2002			
2003				2003			
2004	68	371	96	2004	0	0	0

Staubniederschlag MK04

1. Quartal	Staub (mg m-2 d-1)	Cd (µg m-2 d-1)	Pb (µg m-2 d-1)	Zn (µg m-2 d-1)	2. Quartal	Staub (mg m-2 d-1)	Cd (µg m-2 d-1)	Pb (µg m-2 d-1)	Zn (µg m-2 d-1)
Stampfenbachstrasse	49	0	14	71	Stampfenbachstrasse	60	0	16	75
Stadion Hardturm	52	0	12	101	Stadion Hardturm	66	0	13	107
Schimmelstrasse	159	0	32	321	Schimmelstrasse	176	0	39	393

3. Quartal	Staub (mg m-2 d-1)	Cd (µg m-2 d-1)	Pb (µg m-2 d-1)	Zn (µg m-2 d-1)	4. Quartal	Staub (mg m-2 d-1)	Cd (µg m-2 d-1)	Pb (µg m-2 d-1)	Zn (µg m-2 d-1)
Stampfenbachstrasse	59	0	10	64	Stampfenbachstrasse	40	0	9	63
Stadion Hardturm	58	0	12	89	Stadion Hardturm	49	0	9	89
Schimmelstrasse	139	0	37	425	Schimmelstrasse	124	0	23	341

2004	Staub (mg m-2 d-1)	Cd (µg m-2 d-1)	Pb (µg m-2 d-1)	Zn (µg m-2 d-1)
Stampfenbachstrasse	52	0	12	68
Stadion Hardturm	57	0	11	96
Schimmelstrasse	149	0	33	371

Schwermetall im Feinstaub

	Stampfenbachstrasse	Schimmelstrasse	Stadion Hardturm	Heubeeribühl	Speerstrasse
	2004	2004	2004	2004	2004
	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³
Pb	9.50	10.66	8.83	6.72	8.05
Cd	0.19	0.16	0.16	0.15	0.15
Cr	5.40	4.59	2.58	1.23	1.61
Co	0.14	0.13	0.08	0.06	0.14
Ni	3.36	1.84	1.32	0.78	1.86
Cu	31.50	45.13	38.22	6.80	11.93
Mo	2.61	3.41	1.80	0.66	1.12
Tl	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
Zn	33.36	40.42	42.62	19.05	24.24
Fe	1046.69	1257.28	771.31	243.59	388.34

9 Literatur

Braun-Fahrländer, C. and L. Grize (2001).

Bericht über drei aufeinander folgende Untersuchungen von 6-7-jährigen Kindern in den SCARPOL-Studienorten während der Schuljahre 1992/93, 1995-1997 und 1998/99. SCARPOL. Basel.

BRD. (1995).

"23. Bundesimmissionsschutzverordnung der BRD (23. BImSchV)."

BUWAL, Ed. (1996)

Schwebestaub - Messung und gesundheitliche Bewertung. Schriftreihe Umwelt, BUWAL.

Leuenberger, P., N. Künzli, et al. (1998)

"Etude suisse sur la pollution de l'air et les maladies respiratoires chez l'adulte (SAPALDIA)." Schweiz. Med. Wochenschr. **128**: 150 - 161.

Schweiz. Eidgenossenschaft. (1983)

"Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz USG)." Stand am 10. Juni 1997 Retrieved 814.01.

Schweiz. Eidgenossenschaft. (1997)

"Luftreinhalte-Verordnung (LRV)." Änderung vom 15. Dezember 1997 Retrieved SR 814.318.142.1.

Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ) (1990)

Luftbelastung in der Stadt Zürich - Resultate 1989/90. Zürich, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ).

Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ) (1995)

Luftbelastung in der Stadt Zürich - Resultate der Messkampagne 1994/95. Zürich, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ).

Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ) (2001)

Luftbilanz Stadt Zürich 2000. Fachbereich Labor. Zürich, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ).

VDI (1999)

Thermographische Bestimmung des elementaren Kohlenstoffes nach Thermodesorption des organischen Kohlenstoffes. Messen von Russ (Immission). Düsseldorf. **4**.