



Die Luftqualität in Nürnberg

Fünf Jahrzehnte Luftuntersuchungen in Nürnberg

Impressum

Herausgeber:

Stadt Nürnberg

Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN)

Adolf-Braun-Straße 33, 90429 Nürnberg

sun@stadt.nuernberg.de, www.sun.nuernberg.de

Text: Dr. Werner Balzer, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg

Dokumentation der Messdaten: Anton Will, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg

Gestaltung und Redaktion: Harald Bauer, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg

Titelgestaltung: Stadt Nürnberg, Presseamt/Stadtgrafik, Herbert Kulzer

Kartengrundlagen: Stadt Nürnberg, Amt für Geodaten und Bodenordnung

Druck:

Druckerei

Straße, Hausnummer, PLZ, Nürnberg

Erscheinungsdatum: Juli 2012

Auflage: 500 Exemplare

Die Luftqualität in Nürnberg

Fünf Jahrzehnte Luftuntersuchungen in Nürnberg

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort des Umweltreferenten	7
2	Geschichte	10
2.1	Vom kaiserlichen Edikt zur EU-Richtlinie	10
2.2	Immissionsmessungen in Nürnberg	11
3	Die Luft und ihre Bestandteile	12
4	Luftschadstoffe und Meteorologie	13
5	Die rechtlichen Grundlagen	14
6	Die Parameter	15
6.1	Gasförmige Luftschadstoffe	15
6.1.1	Stickoxide	15
6.1.2	Schwefeldioxid	15
6.1.3	Kohlenmonoxid	16
6.1.4	Ozon	16
6.1.5	Benzol	17
6.2	Staub und Staubinhaltsstoffe	17
7	Flächendeckende Messungen	18
7.1	Altstadt und Südstadt 1969	19
7.2	Gesamtes Stadtgebiet 1981 bis 1987	19
7.3	Sperrung Theresienstraße 1988 / 1989	19
7.4	Schweinau, St. Leonhard, Sandreuth 1991 / 1992	20
7.5	Gesamtes Stadtgebiet 1993 bis 1997	20
7.6	Kleinreuth und Höfen 1997 / 1998	21
7.7	Rehhof 2001 / 2002	22
7.8	Gesamtes Stadtgebiet 2002 bis 2011	22
8	Stationäre Messungen	23
9	Orientierende Außenluftmessungen	24
9.1	Straßennahe Messungen 1992	24
9.2	Messprogramm Güterverkehrszentrum 1994	25
9.3	Straßenabschnittbezogene Messungen 2003 / 2004	26
9.4	Messungen Hafengelände 2003	27
10	Mobile Messungen des Landesamts für Umwelt	27
10.1	Immissionsmessungen nach 23. BImSchV	27
10.2	Orientierende Messungen nach 22. BImSchV 2002 / 2003	28
10.3	Orientierende Messungen am Flughafen 2011	29
11	Bioindikatoren	30
11.1	Regulative Bioindikatoren	31
11.1.1	Flechtenkartierungen 1981 und 1998	31
11.1.2	Exposition von Tabakpflanzen im Rahmen eines EU-Projekts 1996	31
11.2	Akkumulative Bioindikatoren	32
11.2.1	Untersuchung epiphytischer Moose 1979 / 1980	32
11.2.2	Exposition von Graskulturen im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) 1993	33
11.2.3	Untersuchung von Fichtennadeln	33
11.2.4	Exposition von Graskulturen im Rahmen eines EU-Projekts 1996	35
11.2.5	Exposition von Weidelgraskulturen im Hafen 2005	35

12	Entwicklung der Luftqualität in Nürnberg	36
12.1	Einfluss der Emittenten	36
12.2	Verlauf der Immissionen	39
12.2.1	Stickstoffdioxid	39
12.2.2.	Schwefeldioxid	41
12.2.3.	Kohlenmonoxid	41
12.2.4	Ozon	42
12.2.5	Staub	43
12.2.6	Metalle im Staub	44
12.2.7	Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD / PCDF)	45
12.2.8	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	47
12.2.9	Benzol	47
12.2.10	Weitere Schadstoffe	48
13	Nürnberg im Vergleich mit anderen Städten	49
14	Der Nürnberger Luftinformationsdienst	54
15	Der Nürnberger Luftreinhalteplan	56
16	Fazit	58
17	Tabellen und Grafiken	60
18	Verzeichnis der Abkürzungen	91
19	Tabellen und Grafiken im Text	92
20	Literatur	93

1 Vorwort des Umweltreferenten



Bild 1:
Dr. Peter Pluschke,
Umweltreferent der
Stadt Nürnberg.

Im Jahr 1963 hat die Stadt Nürnberg die erste kontinuierlich arbeitende Luftmesseinrichtung in Betrieb genommen. Dieser Bericht ist eine Bilanz der seit fünf Jahrzehnten in Nürnberg durchgeführten Luftgüte-Überwachung.

Von der ersten Stunde an bis heute war es die Chemische Untersuchungsanstalt (heute Bestandteil des städtischen Eigenbetriebs Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg / SUN), die mit hoher wissenschaftlicher und technischer Kompetenz diese Aufgabe wahrgenommen hat. Nürnberg war Vorreiter sowohl in der Luftanalytik wie auch im Immissionsschutz. Mit der Inbetriebnahme der kontinuierlich arbeitenden Messeinrichtung am Hauptmarkt im Jahr 1963 war man den staatlichen Umweltbehörden um Jahre voraus.

Bereits Ende der 1950er Jahre begann die Chemische Untersuchungsanstalt mit punktuellen Untersuchungen der Luftgütequalität. Auslöser waren damals gesundheitliche Beschwerden von Polizisten, die an Verkehrsknotenpunkten zur Verkehrsregelung eingesetzt waren. In den 1950er und 60er Jahren wiesen die Kraftfahrzeuge ein gegenüber dem heute erreichten Stand völlig anderes Emissionsverhalten auf. Kohlenmonoxid war im Einflussbereich des Verkehrs der gefährlichste Schadstoff. Es wurde daher zunächst als Leitschadstoff herangezogen, um die vom Verkehr ausgehende Luftbelastung zu beurteilen ¹⁾.

Noch stärker jedoch als der Verkehr beeinflussten Industrie und Energiewirtschaft die Luftgüte der Wirtschaftswunderjahre. Bis Ende der 1980er Jahre kam es immer wieder zu Smog-Situationen, geprägt von hohen Schwefeldioxid- und Schwebstaubkonzentrationen. Dieser typische „Winter-Smog“ war auch sinnlich wahrnehmbar. Über den Städten bildete sich zu Smog-Zeiten eine dichte Dunstglocke, die – ähnlich wie bei Nebel – die Sicht einschränkte. Die Bundesländer erließen Smog-Verordnungen mit verschiedenen Warnstufen. Bei Erreichen definierter kritischer Werte konnten Verkehrseinschränkungen sowie Betriebseinschränkungen in Industrie und in Kraftwerken vorgenommen werden. Von Anbeginn wurde in Nürnberg der frühzeitigen Information der Öffentlichkeit ein hohes Augenmerk geschenkt und das dafür entwickelte System immer wieder auf den jeweils neuesten Stand der Kommunikationstechnik gebracht. Heute sind alle Daten und ergänzenden Informationen über das Internet zugänglich und Messwerte stehen im Echtzeit-Modus rund um die Uhr zur Verfügung. Diese besondere Qualität ist auch bei internationalen Untersuchungen von Luftinformationsdiensten sehr hoch eingeschätzt worden ²⁾.

In Nürnberg wurden letztmals im Februar 1987 die Werte der 1. Warnstufe der Smog-Verordnung mit Schwefeldioxid-Konzentrationen in der Größenordnung von $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Das letzte in Deutschland registrierte Wintersmog-Ereignis gab es im Jahr 1991 in Berlin.

In Nürnberg hatte die öffentliche Debatte über die Luftqualität noch eine besondere Komponente, da erhebliche Schäden an den historischen Sandsteinbauten zu beobachten waren, vor allem verursacht durch die sauren Luftschadstoffe Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid. Besonders dramatisch stellten sich die Verhältnisse an der Sebalduskirche dar, an der damals noch ein enormer Verkehrsstrom vorbei floss. Im Jahr 1988 waren es noch täglich rund 25 000 Fahrzeuge, deren Abgase direkt das Schreyer-Landauer'sche Epitaph außen am Chor der Sebalduskirche schädigten. Umfangreiche Untersuchungen zur Luftgütesituation und deren Einfluss auf Bauwerke und Kunstschatze haben wesentlich die öffentliche Meinungsbildung zur Sperre des Rathausplatzes für den Durchgangsverkehr beeinflusst. Vorgehensweise und Ergebnis dieses Entscheidungsprozesses hat die seinerzeitige Umwelt-Kommissarin der EU, Margot Wallström als beispielhaftes Projekt zur Rückgewinnung städtischer Räume für die Bürger gewürdigt ³⁾.

Das Immissionschutzrecht wurde in den 1980er und 90er Jahren dahin gehend neu aufgestellt, dass nicht mehr die Symptome bekämpft (beispielsweise durch temporäre Einschränkungen nach Smog-Verordnung bei extremen Luftgütebelastungen), sondern die Ursachen in den Blick genommen wurden. Die Emissionen von Kraftwerken, Industrieanlagen und Kraftfahrzeugen wurden schrittweise immer weiter limitiert. Ziel war die dauerhafte Einhaltung toxikologisch begründeter Immissionsgrenzwerte, unabhängig vom Standort. Das führte innerhalb einer Dekade zu einer technischen Revolution im Bereich der Abluftreinigung und der emissionsmindernden Maßnahmen an den Quellen in Industrie und im Kraftwerksbereich, zur Einführung von Katalysator und Partikelfiltern im Kfz-Bereich sowie zu wesentlichen qualitativen Verbesserungen der Kraftstoffe (Senkung des Schwefelgehalts im Dieselmotorkraftstoff, Verbot von Bleiverbindungen im Otto-Kraftstoff). Damit ließen sich entscheidende Verbesserungen bei der Luftgüte erreichen. Der Winter-Smog gehört in Deutschland definitiv der Vergangenheit an.

Fragen zur Entwicklung der Luftqualität bleiben jedoch weiterhin auf der politischen Agenda, da insbesondere der immer noch wachsende Kraftfahrzeugverkehr – trotz Katalysator und Partikelfilter – auf Grund seines enormen Umfangs in den Ballungsgebieten und entlang der großen Verkehrsadern neue Probleme schuf. Dafür stehen vor allem Stickstoffdioxid und Ozon, die eine neue Form des Smogs prägen: Den Sommer-Smog, der sich vorrangig bei hohen Außentemperaturen und starker Sonneneinstrahlung bildet. Hinzu kommen noch Feinstäube, die über verschiedene Parameter bestimmt werden: als Dieselruß, als PM_{10} oder $\text{PM}_{2,5}$ und in Zukunft vielleicht auch als PM_1 . Der nachfolgende Bericht geht auf diese Parameter genauer ein.

Alle Großstädte kämpfen mit den Emissionen eines nach wie vor enorm hohen Verkehrsaufkommens. Europäische Union und Bundesregierung haben mit den Luftgüterichtlinien die Kommunen zur Erreichung strenger Grenzwerte verpflichtet, allerdings die Vorgaben für die Automobilindustrie zur Umsetzung strikter Emissionsnormen mit einem Zeitverzug gegenüber den Immissions-Grenzwerten ausgestattet. Damit sind die Vorgaben in urbanen Ballungsräumen kaum einzuhalten: Der Verkehr hat inzwischen einen so hohen Anteil an der Luftbelastung, dass nur seine Einschränkung oder eine drastische Reduzierung der von ihm ausgehenden Emissionen zum Ziel führen werden. Der entscheidende Schritt voran kann gelingen, wenn die Emissionsgrenzwerte im Sinne des Euro-6-Standards sowohl bei Personenkraftwagen als auch im

Lastwagenverkehr umgesetzt sind. Auch Innovationen in der Antriebstechnik, also beispielsweise Elektromobilität, der Einsatz von Wasserstoff als Treibstoff oder weiter verbesserte erdgasbetriebene Fahrzeuge können diese Entwicklung unterstützen.

Die Nürnberger Luftgütesituation hat sich über die letzten 50 Jahre sehr stark verbessert. Sie ist in Teilbereichen der Stadt aber nach wie vor nur befriedigend. Insbesondere die in bestimmten Gebieten noch zu hohen Stickstoffdioxid-Konzentrationen müssen weiter gesenkt werden. Die Luftmessstation Von-der-Tann-Straße weist beim Jahresmittelwert – jedoch bei sinkender Tendenz – noch Überschreitungen auf. Die anderen vier Messstationen für Stickstoffdioxid im Stadtgebiet zeigen schon heute Messwerte im Rahmen der gültigen Grenzwerte.

In enger Zusammenarbeit mit staatlichen Dienststellen hat das Umweltamt der Stadt Nürnberg einen Luftreinhalteplan entwickelt, dessen umfangreiche Maßnahmen nach heutiger Einschätzung – bei konsequenter Umsetzung – bis etwa zum Jahr 2015 die Einhaltung auch des Jahresmittelwertes für Stickstoffdioxid in Höhe von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in allen Stadtteilen ermöglichen werden. Damit wären dann alle verbindlichen Grenzwertregelungen für Luftschadstoffe im gesamten Stadtgebiet Nürnbergs erfüllt.

Weniger problematisch ist in Nürnberg die Feinstaub-Belastung. Diesbezügliche Grenzwertfestsetzungen sind in Nürnberg bisher durchwegs eingehalten worden. Langfristig kann aber Ozon wieder eine erhöhte Rolle spielen, zwar weniger im Bereich des dicht bebauten inneren Stadtgebiets, aber durchaus im städtischen Umland, da es sich bei Ozon um einen Schadstoff handelt, der sich durch luftchemische Prozesse aus verschiedenen Vorläuferverbindungen bildet. In der Peripherie der Städte herrschen dafür vorteilhafte Bedingungen. Erhöhte Ozon-Konzentrationen treffen also eher die am Stadtrand bzw. im Umland lebende Bevölkerung und auch die Landwirtschaft, da erhöhte Ozonwerte das Pflanzenwachstum und den Ernteertrag beeinträchtigen können.

Seit 50 Jahren liefert die umfangreiche Überwachung und kompetente Auswertung der Luftgütesituation in Nürnberg wichtige Beiträge zu politischen Entscheidungen und zum Verständnis von Wirkungsketten. Die Schadstoffbelastungen waren in diesen 50 Jahren noch nie so niedrig wie heute, aber wir wissen auch, dass wir noch nicht das Niveau erreicht haben, das im Sinne einer guten urbanen Lebensqualität zu fordern ist. Auch für die nächste Dekade stellen sich erhebliche Herausforderungen im Immissionsschutz und in der Luftgüteüberwachung.



Dr. Peter Pluschke
Umweltreferent der Stadt Nürnberg

2 Geschichte

2.1 Vom kaiserlichen Edikt zur EU-Richtlinie

Seitdem vor wahrscheinlich einer Million Jahren die Verwendung des Feuers begann, ist die Verbrennung von Biomasse und fossilen Energieträgern die bedeutendste Quelle der durch Menschen verursachten Luftverunreinigungen ⁴⁾. Mit der Gründung von Siedlungen und Städten hat sich dann die räumliche Konzentration von Feuerstätten und damit die Freisetzung von Rauch sowie weiterer lufthygienisch relevanter Emissionen erhöht. So dürften beispielsweise im mittelalterlichen Nürnberg der Qualm der Herdfeuer, aber auch die Abluft von Handwerksbetrieben wie Gerbereien und Abdeckereien sowie der Geruch von Fäkalien, Fäulnis und Verwesung vor allem bei Inversionswetterlagen zu einem – an heutigen Verhältnissen gemessen – ekelerregenden Gestank geführt haben, an den sich aber das Geruchsempfinden der damaligen Bevölkerung anpassen musste.

Als sich ab dem 13. Jahrhundert in Europa der Einsatz von Steinkohle als Energieträger verbreitete ⁵⁾, kam es vor allem in Städten zu Beschwerden über Belästigungen durch Rauch. In Deutschland war das von Kaiser Friedrich II. erlassene Edikt von 1240 über die Reinhaltung von Luft, Gewässer und Boden ein erster Schritt zum Immissionschutzrecht ⁶⁾.

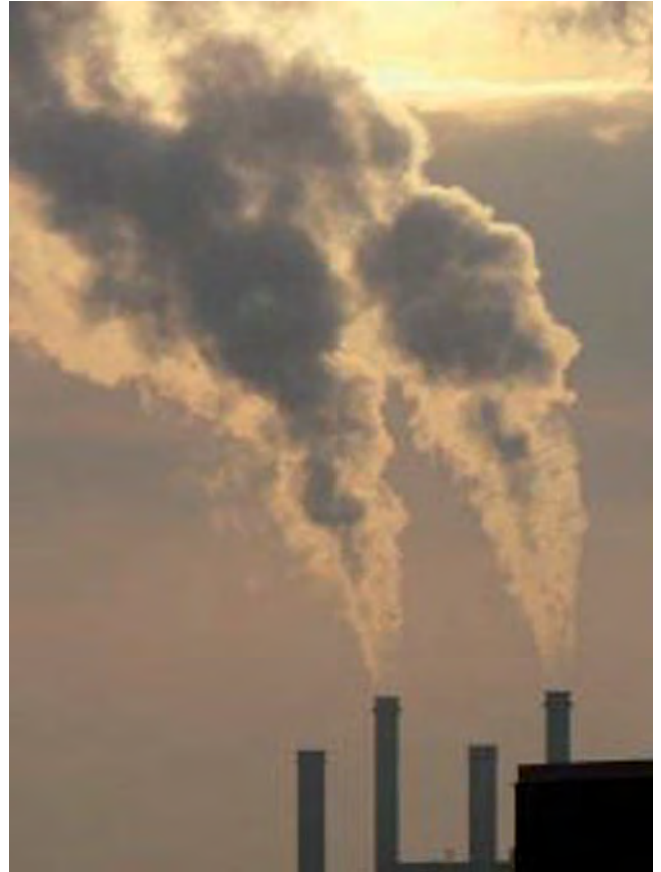


Bild 2: Abgase aus Industriebetrieben (Foto: www.pixelio.de).

Mit der industriellen Revolution im 18. Jahrhundert vervielfachten sich die Schadstoffemissionen sowie die damit verbundenen Probleme für Umwelt und Gesundheit. In England, wo die Industrialisierung damals am weitesten fortgeschritten war, ergriff man erste technische und rechtliche Immissionsschutzmaßnahmen. In Deutschland war das Immissionsschutzrecht von 1869 bis 1974 über das Anlagengenehmigungsrecht in der Gewerbeordnung sowie durch bundes- und landesrechtliche Vorschriften geregelt. Die erste bundesweit gültige technische Regelung zur Genehmigung von Anlagen und zum Immissionsschutz war die am 28. September 1964 in Kraft getretene „Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ (TA-Luft) ⁷⁾. Sie richtete sich als interne Anweisung an die Genehmigungsbehörden. Erst 1974 wurde das Bundesimmissionschutzgesetz als einheitliche Rechtsgrundlage für die damalige Bundesrepublik Deutschland erlassen.

Mit der „Richtlinie des Rates der Europäischen Union über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität“ aus dem Jahr 1996 ⁸⁾ wurde erstmals auf europäischer Ebene ein umfassender Rahmen zur Luftreinhaltung festgelegt, der von den Mitgliedsstaaten in nationales Recht umzusetzen war. Mehrere darauf folgende Tochterrichtlinien gaben die zu untersuchenden Parameter, die Grenzwerte, die Untersuchungsmethoden, aber auch die zu ergreifenden Maßnahmen in Fällen von Grenzwertüberschreitungen vor. Die aktuellste Umsetzung des europäischen Immissionschutzrechtes in nationales deutsches Recht ist die 39. Verordnung zum Bundesimmissionschutzgesetz (39. BImSchV) aus dem Jahr 2010 ⁹⁾.

2.2 Immissionsmessungen in Nürnberg

Die im Jahre 1884 durch einen königlichen Erlass gegründete Städtische Chemische Untersuchungsanstalt (ab 1987 Chemisches Untersuchungsamt, seit 2006 Bestandteil des städtischen Eigenbetriebs Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg) beschäftigte sich bis nach dem Zweiten Weltkrieg fast ausschließlich mit der Kontrolle von Lebensmitteln und lebensmittelherstellender Betriebe. Im Jahresbericht des Jahres 1955 ¹⁰⁾ wird erstmals erwähnt, dass „im Berichtsjahr 28 Begutachtungen in Belästigungsangelegenheiten, häufig auf Ersuchen anderer städtischer Dienststellen wie Gesundheitsamt, Gewerbeamt und Bauordnungsbehörde durchgeführt wurden“. In Ermangelung klarer Rechtsgrundlagen war zu ermitteln, „ob die Belästigungen unzumutbarer Art oder gesundheitsschädlich sind“ und es sollten gegebenenfalls Maßnahmen zur Beseitigung der Belästigung vorgeschlagen werden.

Die Zahl der Begutachtungen vor Ort nahm in den folgenden Jahren zu. 1957 wurden erste Messgeräte beschafft, um die vorher subjektive Beurteilung auf eine wissenschaftlich vergleichbare Basis zu stellen. An stark befahrenen Straßen und in Tunnels wurden regelmäßig Kohlenmonoxidmessungen durchgeführt ¹¹⁾. Die – zunächst diskontinuierliche – Messung von Schwefeldioxid, damals eine allgemeine Leitsubstanz für die Höhe der Luftverschmutzung, begann im Jahre 1959 ¹²⁾. Der Einsatz eines automatischen Schwefeldioxid-Analysators war 1963 der Einstieg in die kontinuierliche Immissionsmessung ¹³⁾.

1969 wurde die Chemische Untersuchungsanstalt von der Bayerischen Obersten Baubehörde mit der Durchführung des ersten flächenbezogenen Immissionsmessprogramms in der Nürnberger Altstadt und in der Südstadt beauftragt. Es folgten drei weitere flächenbezogene Messprogramme über das gesamte Stadtgebiet (1982 - 1987, 1993 - 1997, 2002 - 2011).

Zunächst in Zusammenarbeit mit dem damaligen Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen wurde ab 1963 die kontinuierliche Messstelle für Schwefeldioxid im Amtsgebäude der Chemischen Untersuchungsanstalt am Hauptmarkt betrieben. In den folgenden Jahren kamen die Parameter Kohlenmonoxid, Stickoxide und Schwebstaub hinzu. Wegen des Verkaufs des Gebäudes befindet sich die Messstation seit 2004 auf dem Gelände der Feuerwache am Jakobsplatz. Seit 1994 betreut das Chemische Untersuchungsamt die Luftmessstation der Flughafen Nürnberg GmbH auf dem Gelände des Flughafens.

Das damalige Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU, heute: Bayerisches Landesamt für Umwelt) begann 1975 mit dem Betrieb von Luftmessstationen in Nürnberg, zunächst am Bahnhof, in Ziegelstein (bis 2011) und in der Olgastraße (bis 2001), außerdem in Mögeldorf (1978 - 1994), in Muggenhof (ab 1978) und in Langwasser (1979 - 2001). Seit 2001 wird die Luftmessstation in Muggenhof vom LfU und der Stadt Nürnberg gemeinsam betrieben.

Bild 3: Das erste Luftmessfahrzeug der Chemischen Untersuchungsanstalt wurde im Jahr 1965 beschafft. Hier ist es im Jahr 1973 im Marien Tunnel im Einsatz (Foto: Stadtarchiv Nürnberg).



3 Die Luft und ihre Bestandteile

Die Luft besteht im Wesentlichen aus Stickstoff, Sauerstoff, den Edelgasen sowie Kohlendioxid. Die Anteile mancher Komponenten können sich verändern, wie zum Beispiel bei Kohlendioxid. Dessen Anteil hat sich im Laufe der letzten zweihundert Jahre auf Grund anthropogener Emissionen um ein Drittel erhöht und kann zudem jahreszeitlich schwanken.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Luft.

Komponente	Abkürzung	Volumenanteil
Hauptbestandteile		
Stickstoff	N ₂	78,084 %
Sauerstoff	O ₂	20,942 %
Argon	Ar	0,934 %
Spurenstoffe		
Kohlendioxid	CO ₂	0,038 %
- vorindustriell	CO ₂	0,028 %
Neon	Ne	18,180 ppm
Helium	He	5,240 ppm
Methan	CH ₄	1,760 ppm
Krypton	Kr	1,140 ppm
Wasserstoff	H ₂	~500 ppb
Distickstoffoxid	N ₂ O	317 ppb
Kohlenmonoxid	CO	50-200 ppb

1 % = 10.000 ppm (parts per million); 1 ppm = 1.000 ppb (parts per billion)

Zudem kann die Luft abhängig von Standort, Jahreszeit und klimatischen Verhältnissen gasförmige Stoffe enthalten, die – je nach ihrer Konzentration – mit einem Risiko für die Umwelt und die menschliche Gesundheit verbunden sind. Die Tabelle 2 zeigt einige Luftschadstoffe in den üblicherweise auftretenden Volumen- und Massenkonzentrationen, wobei die Angabe des Volumenanteils inzwischen nicht mehr gebräuchlich ist.

Tabelle 2: Luftschadstoffe (übliche Konzentrationen).

	Abkürzung	Volumenanteil	Massenkonzentration
Stickstoffdioxid	NO ₂	10 - 30 ppb	5 - 20 µg/m ³
Schwefeldioxid	SO ₂	4 - 15 ppb	20 - 60 µg/m ³
Ozon	O ₃	20 - 100 ppb	40 - 200 µg/m ³
Benzol	C ₆ H ₆	0,3 - 3 ppb	1 - 10 µg/m ³

Die beispielhaft aufgeführten Schadstoffe können auch aus natürlichen Quellen stammen. So gibt es beispielsweise eine Ozon-Hintergrundbelastung von etwa 40 µg/m³, die durch die Vermischung bodennaher und höherer, ozonhaltiger Luftschichten oder durch den Abbau von Naturstoffen (Terpenen) verursacht wird. Schwefeldioxid und Stickoxide können bei Vulkanausbrüchen freigesetzt werden. Darüber hinaus kann in der Atmosphäre auch feste (Staub) und flüssige (Nebel) Materie enthalten sein, die relevant für Umwelt und Gesundheit ist.

4 Luftschadstoffe und Meteorologie

Die Belastung der Außenluft durch Schadstoffe ist generell abhängig von der Quelle, dem Massenstrom sowie von den klimatischen und geografischen Verhältnissen. Dabei spielen noch die Stabilität des jeweiligen Stoffes und die Eigenschaften eventueller Abbauprodukte eine Rolle. Besonders problematisch können deshalb Wettersituationen sein, die einen horizontalen oder vertikalen Transport verhindern und für eine Schadstoffanreicherung in der Nähe der Emissionsquelle sorgen. Als besonders dramatische Beispiele galten winterliche Smog-Situationen, die bei länger anhaltenden Inversionswetterlagen bis zum Anfang der 1990er Jahre insbesondere in Ballungsgebieten entstanden. Bevor in den 1960er Jahren die ersten Maßnahmen zur Minderung der Staub- und Schwefeldioxidemission ergriffen wurden, führten diese Ereignisse oft zu einer dramatischen Erhöhung der Sterblichkeit bei kranken und empfindlichen Personen.

Ein weiteres Beispiel für die Klimaabhängigkeit von Luftschadstoffen ist das Ozon, das insbesondere bei austauscharmen sommerlichen Hochdruckwetterlagen und intensiver Sonneneinstrahlung gesundheitsrelevante Konzentrationen in der Außenluft erreichen und Grenzwerte überschreiten kann.

Letztendlich gilt aber für jeden Schadstoff, der in die Außenluft eingetragen wird: Seine Immissionskonzentration hängt davon ab, mit welcher Geschwindigkeit er durch den Wind weitertransportiert wird und sich dabei mit weniger belasteter Luft vermischen und verdünnen kann. Außerdem führen Regen und Schnee zu einer Reinigung der Atmosphäre von Staub und Schadstoffen.

Es können aber auch die geografischen oder städtebaulichen Verhältnisse eine Rolle spielen, wenn diese den Luftaustausch beeinflussen. So wird eine Stadt wie Stuttgart, die in einem Talkessel liegt, bei ähnlichen Emissionen immer eine vergleichsweise höhere Luftbelastung haben als eine Stadt wie Nürnberg, wo die relativ ebene Umgebung einen ungehinderten Abtransport belasteter Luftmassen in nahezu alle Richtungen ermöglicht. Im kleineren Maßstab ist dieses Phänomen der Schadstoffanreicherung auch in Straßenabschnitten mit hoher Randbebauung und starkem Verkehrsaufkommen zu beobachten.



Bild 4: Inversionswetterlagen führten vor allem in den 1960er und 1970er Jahren zu oftmals dramatischen Smog-Ereignissen.

Auch Nürnberg blieb davon nicht verschont, wie dieses Foto aus dem Jahr 1971 zeigt (Foto: Nürnberger Nachrichten).

5 Die rechtlichen Grundlagen

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ist der rechtliche Rahmen für alle Maßnahmen zur Luftreinhaltung in Deutschland. Das Gesetz selbst regelt jedoch nur die grundsätzlichen Anforderungen. Die technischen Einzelheiten sind in den Durchführungsverordnungen (BImSchV) und Verwaltungsvorschriften (TA-Luft, TA-Lärm) geregelt.

Die TA-Luft vom 14. September 1964 war die erste bundesweit gültige immissionsschutzrechtliche technische Vorschrift. Sie wurde mehrfach geändert – zuletzt am 24. Juli 2002 ¹⁴⁾ – und dabei an technische Neuerungen und aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse angepasst. Die TA-Luft gibt in erster Linie die Verfahren zur Genehmigung von immissionsschutzrechtlich relevanten Anlagen vor und regelt in diesem Zusammenhang auch die Ermittlung von Vorbelastungen. Diese kann – wie es auch in Nürnberg durchgeführt wurde – zum Beispiel durch flächendeckende Immissionsmessungen erfolgen.

Die Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft über Grenz- und Leitwerte der Luftqualität aus dem Jahre 1980 wurden erst aufgrund eines Urteils des Europäischen Gerichtshofes in Deutschland umgesetzt: Die damalige Bundesregierung erließ die 22. BImSchV ¹⁵⁾ vom 26. Oktober 1993 mit Immissionswerten für Schwefeldioxid, Schwellenwerten für Ozon und Referenzmethoden für Messverfahren. Sie wurde mehrmals überarbeitet und schließlich durch die 39. BImSchV ⁹⁾, die im Jahr 2010 in Kraft trat, ersetzt.

Mit der 23. BImSchV vom 16. Dezember 1996 ¹⁶⁾ wurde erstmals eine Verordnung erlassen, die gezielt „verkehrslenkende Maßnahmen“ vorsieht, wenn bestimmte Schadstoffgrenzwerte überschritten werden. Außer Stickstoffdioxid, für das bereits in der TA-Luft Grenzwerte existierten, wurden durch diese Verordnung Immissionsgrenzwerte für die neu eingeführten Parameter Benzol und Dieselruß festgelegt. Auch diese Verordnung wurde inzwischen aufgehoben (Aufhebung zum 21. Juli 2004 durch Verordnung vom 13. Juli 2004, BGBl. I S. 1612) und durch die 39. BImSchV ersetzt.

Eine umfassende europaweite Regelung des Immissionsschutzes begann mit der „Richtlinie des Rates der Europäischen Union über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität“ ⁸⁾ aus dem Jahr 1996. Insgesamt vier Tochterrichtlinien erschienen in den Jahren 1999 bis 2004. Das Chemische Untersuchungsamt führte dazu bereits im Jahre 2000 in Nürnberg ein internationales Symposium zu den vielfältigen Fragen zur Umsetzung dieser Richtlinie durch ¹⁷⁾.

Die Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 ¹⁸⁾ trat mit Wirkung zum 11. Juni 2010 an Stelle der bisherigen Luftqualitätsrahmenrichtlinie (Richtlinie 96/62/EG) ⁸⁾ und der „Tochterrichtlinien“ in Kraft. Die darin vorgegebenen Grenz-, Richt- und Schwellenwerte sind inzwischen durch die 39. BImSchV vom 2. August 2010 in Deutsches Recht umgesetzt worden ⁹⁾. Die Tabelle 17.1 stellt die derzeit gültigen Grenzwerte dieser Verordnung dar.

6 Die Parameter

Eine Möglichkeit, die über den Luftweg transportierten oder deponierten Schadstoffe zu charakterisieren, ist die Zuordnung entsprechend ihrem Aggregatzustand. Im wesentlichen treten die Schadstoffe als Gase auf, oder sie sind an Staubpartikel gebunden. Die meteorologischen Umweltbedingungen wie Temperatur oder Luftdruck und die spezifischen Eigenschaften wie Siedepunkt und Dampfdruck sind hierbei von Bedeutung.

6.1 Gasförmige Luftschadstoffe

6.1.1 Stickoxide

Die Stickoxide Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) entstehen als Folgeprodukte bei Verbrennungsprozessen: Entweder aus den Luftkomponenten Stickstoff und Sauerstoff, die bei hohen Temperaturen miteinander reagieren oder durch die Verbrennung von organischen Stickstoffverbindungen, die in fossilen Brennstoffen enthalten sind. Dabei entsteht zunächst das instabile Stickstoffmonoxid, das sich je nach Bedingungen innerhalb einiger Sekunden oder Minuten mit Sauerstoff zum stabileren Stickstoffdioxid verbindet und großräumig ausbreiten kann.

Da die Stickoxid-Emissionen aus Kraftwerken durch Änderung der Verbrennungsprozesse und Einführung der Rauchgasreinigung stark reduziert werden konnten, ist mittlerweile der Kfz-Verkehr der Hauptverursacher der Stickstoffdioxidbelastung in der Umwelt. So ist Stickstoffdioxid auch inzwischen eine Leitsubstanz für verkehrsbedingte Luftverunreinigungen. Im Nürnberger Stadtgebiet liegt die jährliche Durchschnittsbelastung in etwa zwischen 30 und 50 µg/m³.

6.1.2 Schwefeldioxid

Schwefeldioxid (SO₂) entsteht hauptsächlich beim Verbrennen schwefelhaltiger Energieträger wie Kohle, Heizöl oder Dieseltreibstoff. Kritisch war die Belastung bis Ende der 1980er Jahre in sogenannten „Smog-Episoden“, meistens während der Wintermonate bei austauscharmen Wetterlagen und hoher Heizaktivität. Die Konzentrationen in der Außenluft gingen seit den 1970er Jahren erheblich zurück. Dies konnte durch technische Maßnahmen wie Rauchgasentschwefelung, Heizungsumstellungen auf umweltfreundliche Brennstoffe und Einsatz von Fernwärme erreicht werden. Der Jahresdurchschnittswert in der Nürnberger Innenstadt ging damit von 100 µg/m³ im Jahr 1969 auf 5 µg/m³ im Jahr 2011 zurück.

Auch der Schwefelgehalt im Dieseltreibstoff wurde stark reduziert: Bis zum Jahr 2000 war ein Schwefelgehalt von 0,035 % (= 350 ppm) zulässig, ab 2005 erfolgte eine Absenkung auf 0,005 % (= 50 ppm). Schließlich erfolgte ab 2009 die Einführung des „schwefelfreien“ Treibstoffs mit Schwefelgehalten von weniger als 0,001 % (= 10 ppm)¹⁹⁾. Da vergleichbare Regelungen auch für mobile Maschinen und für die Binnenschifffahrt auf den Weg gebracht wurden, spielt Schwefeldioxid keine Rolle mehr als Schadstoff. Die Luft weist in weiten Bereichen Deutschlands allmählich wieder Schwefeldioxidgehalte im Bereich der vorindustriellen Werte auf.

6.1.3 Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid (CO) entsteht bei der unvollständigen Verbrennung organischer Verbindungen wie zum Beispiel fossiler Brennstoffe. Seine Hauptquellen sind der Kraftfahrzeugverkehr und Hausheizungen. In den 1950er und 60er Jahren wurden im Straßenverkehr noch große Mengen an Kohlenmonoxid freigesetzt – mit entsprechenden gesundheitlichen Auswirkungen. Die seither erfolgte Weiterentwicklung und die energetische Optimierung der Verbrennungsmotoren führte auch zu einer Minimierung der Freisetzung von Kohlenmonoxid. Damit spielt Kohlenmonoxid heute als Luftschadstoff keine Rolle mehr.

In Nürnberg liegt die Außenluftbelastung durch Kohlenmonoxid – je nach Standort – im Jahresdurchschnitt zwischen 0,1 und 1,0 mg/m³. Mit der Überschreitung von Grenzwerten ist heute und in Zukunft nicht mehr zu rechnen.

6.1.4 Ozon

Ozon (O₃) ist eine Verbindung aus drei Sauerstoff-Atomen. Hohe Ozonkonzentrationen in bodennahen Luftschichten, die weit über der natürlichen Hintergrundbelastung von etwa 40 - 60 µg/m³ liegen, können bei lang anhaltenden, austauscharmen Wetterlagen entstehen. Bei intensiver Sonneneinstrahlung tragen Vorläufersubstanzen (Stickoxide, Kohlenwasserstoffe und weitere, meist verkehrsbedingte Luftschadstoffe) zur Ozonbildung bei. Da einige dieser Schadstoffe wiederum bevorzugt mit Ozon reagieren, kommt es in Ballungsgebieten und in der Nähe von verkehrsreichen Straßen meist wieder zu einem raschen Abbau des Ozons. Die Ozonkonzentrationen zeigen daher einen eigentümlichen, charakteristischen Verlauf: Ein starker Anstieg im Laufe des Vormittags, Maximalwerte um Mittag oder im Laufe der Nachmittagsstunden, ein rascher Rückgang am späten Nachmittag und ein Absinken auf Werte gegen Null im Laufe der Nacht. Kurioserweise treten erhöhte Ozon-Konzentrationen gerade dann auf, wenn die Luft besonders rein ist, da dann die Reaktionspartner zum Abbau des Ozons fehlen. Ein Phänomen, das sich beispielsweise in stadtfernen Hochgebirgsgegenden beobachten lässt. Hohe Konzentrationen findet man deshalb oft im Umland der Städte und in ländlichen Reinluftgebieten.

In Nürnberg werden die höchsten Ozonkonzentrationen meistens an der Messstation am Flughafen in Stadtrandlage gemessen. Sie liegen bei maximal 200 bis 250 µg / m³. Ozon gehört zu den Schadstoffen, die sowohl eine kurzfristige und nach Ende der Belastung wieder nachlassende (akute), als auch eine langfristige (krebserzeugende) Wirkung haben. Außerdem ließen sich Schädigungen der Erbsubstanz durch Ozon nachweisen. Von Bedeutung für die Festsetzung von Luftgüterichtwerten ist auch die vom Ozon verursachte Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums und des Ernteertrags.

6.1.5 Benzol

Benzol (C_6H_6) ist ein Bestandteil des Mineralöls und wird hauptsächlich durch den Kraftfahrzeugverkehr freigesetzt, sowohl durch Verdampfung aus Treibstofftanks als auch durch Freisetzung mit den Abgasen. Auch bei anderen Verbrennungsprozessen – zum Beispiel in Industriebetrieben – entsteht Benzol. Weltweit werden pro Jahr rund 400 000 Tonnen Benzol in die Atmosphäre emittiert. Benzol kann zu Schädigungen des blutbildenden Systems führen und Krebs auslösen (Leukämie).

Erst mit der 23. BImSchV wurde zum 1. Juli 1995 ein Grenzwert für Benzol von zunächst $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel und später – ab dem 1. Juli 1998 – von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgelegt. Mit der Umsetzung der Richtlinie 2000/69/EG erfolgte eine weitere Reduzierung auf $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittelwert. Wesentliche Beiträge zur Verringerung der Benzolimmission waren die Einführung des geregelten Katalysators und die Senkung des Benzolgehaltes von Otto-Treibstoffen ab dem Jahr 2000 von vorher maximal 5 % auf maximal 1 %¹⁹⁾. Heute liegen in verkehrsreichen Gebieten die Benzol-Konzentrationen bei weniger als $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel, in engen Straßenschluchten mit hohem Verkehrsaufkommen, in der Nähe von Tankstellen und in schlecht belüfteten Tiefgaragen können sich aber zeitweilig höhere Konzentrationen aufbauen.

6.2 Staub und Staubinhaltsstoffe

Die in der Luft verteilten festen Teilchen lassen sich je nach Durchmesser unterscheiden in Grobstaub, der nach kurzer Verweilzeit als Staubbiederschlag auf den Boden sinkt und Schwebstaub mit einer Verweilzeit in der Atmosphäre von bis zu 14 Tagen. Stäube werden sowohl durch natürliche als durch anthropogene Prozesse (Industrie, Transport- und Verladevorgänge oder Verbrennungsanlagen) in die Luft eingetragen. In städtischen Ballungsgebieten ist der Straßenverkehr als dominierende Quelle anzusehen. Die natürlichen Quellen sind zum Beispiel Pollen, durch Wind aufgewirbelter Erdboden und Vulkanstaub. Die verkehrsbedingte Feinstaubbelastung setzt sich in erster Linie zusammen aus Ruß, Abrieb von Reifen, Kupplung und Bremsbelägen sowie Aufwirbelungen. Stäube können stark giftige, teilweise krebserregende Stoffe wie Schwermetalle, Asbest, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe oder persistente chlororganische Verbindungen (Pentachlorphenol, polychlorierte Biphenyle, Dioxine / Furane) enthalten.

Besondere Bedeutung wegen ihrer geringen Größe und der damit verbundenen Lungengängigkeit hat die als PM_{10} sowie die als $PM_{2,5}$ bezeichnete Feinstaubfraktion mit einem Durchmesser kleiner 10 bzw. $2,5 \mu\text{m}$. In jüngster Zeit wurde zusätzlich der Parameter PM_1 für noch feinere Partikel definiert. Derzeit wird in Fachkreisen im Kontext der Überprüfung der Europäischen Luftgüterichtlinien eine Debatte darüber geführt, mit welchen Messtechniken und mit welcher Zielorientierung die Feinstaubproblematik in Zukunft am besten zu regeln sei. Es spricht vieles dafür, dass der bisher im Vordergrund stehende Parameter PM_{10} mittelfristig durch eine Überwachungsstrategie abgelöst wird, bei der zielgenauer die gesundheitlichen Wirkungen der (besonders kritischen) Feinstaubpartikel und gleichzeitig auch deren Hauptquelle – die von Kraftfahrzeugen emittierten Partikel – in den Blick genommen werden. Im Einklang mit Überlegungen der Länderarbeitsgemeinschaft Immissionsschutz hat sich das Umweltreferat der Stadt Nürnberg über seine Mitwirkung in den Umweltgremien des Bayerischen und des Deutschen Städtetags sowie des Europäischen Städtebunds Eurocities auch für eine solche Revision eingesetzt. Ein mögliches Konzept könnte aus der Kombination von Dieselrußmessungen (mit dem sog. Aethalometer) und $PM_{2,5}$ - bzw. PM_1 -Messungen bestehen.

7 Flächendeckende Messungen

Die TA-Luft beschreibt bis zur Fassung vom 27. Februar 1986 ²⁰⁾ die Durchführung von flächendeckenden Messungen für quadratische (meist 1 km² große) Beurteilungsflächen. Dementsprechend ist das Nürnberger Stadtgebiet in ein Messnetz mit über 200 Messpunkten aufgeteilt. Die jeweiligen Messprogramme bestanden aus mehreren Messabschnitten, die innerhalb eines mehrjährigen Zeitraumes zu beproben waren. Pro Jahr wurden an jedem Messpunkt im ungefähren 4-Wochen-Rhythmus dreizehn Luftproben entnommen. Die Probenahme erfolgte für 30 oder 60 Minuten an unterschiedlichen Wochentagen und zu unterschiedlichen Tageszeiten durch den Immissions-Messwagen des Chemischen Untersuchungsamtes. Die Untersuchung auf die jeweiligen Parameter fand entweder vor Ort im mobilen Labor des Messwagens oder in den Laborräumen des Chemischen Untersuchungsamtes statt. Aus den Messergebnissen wurden zunächst der Mittelwert für den Messpunkt und aus den vier Eckpunkten einer Beurteilungsfläche der Flächenmittelwert für die gemessenen Luftschadstoffe errechnet. Die Flächenmittelwerte, in Bezug zu Grenzwerten gesetzt, lieferten die Grundlagen

- für Immissionsprognosen,
- für die Feststellung von Belastungsschwerpunkten
- sowie für städteplanerische Maßnahmen.

Die TA-Luft vom 24. Juli 2002 ¹⁴⁾ zog eine wesentliche Änderung nach sich: Stationäre Messungen im Verbund mit Prognoserechnungen zur Ermittlung flächenhafter Verteilung von Luftschadstoffen traten an die Stelle der flächendeckenden Messungen. Dennoch wurde das letzte Messprogramm in den Jahren 2002 - 2011 gemäß den Vorgaben der TA-Luft vom 27. Februar 1986 durchgeführt, um auch flächenhaft die erheblichen Verbesserungen der Immissionssituation zu dokumentieren, die sich als Folge der im Jahr 1996 auf den Weg gebrachten Europäischen Luftqualitäts-Richtlinien ergeben. Damit kann die Entwicklung des Luftreinhalteplans auf einem räumlich differenzierten Bild der Luftgüteverhältnisse in Nürnberg aufsetzen und damit auch sehr zielgerichtet die örtlichen Schwachpunkte in den Blick nehmen.

In Nürnberg gab es drei flächendeckende Messprogramme über das gesamte Stadtgebiet und vier Messprogramme über kleinere Teilflächen. Die erfassten Parameter zeigt Tabelle 17.2, der Umgriff der einzelnen Messabschnitte und die Messergebnisse sind in den Karten im Abschnitt 17.3 dargestellt.

Das Chemische Untersuchungsamt beteiligte sich in all den Jahren intensiv an der Fachdebatte über messtechnische Fragestellungen im Immissionsschutz wie auch zur Methodik von Auswertung und planerischer Umsetzung der mit den Messungen gewonnenen Erkenntnisse ^{21), 22)}

Bild 5: Die flächendeckenden Messungen werden mit einem Immissions-Messwagen durchgeführt.



7.1 Altstadt und Südstadt 1969

Im Auftrag der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern führte die damalige Chemische Untersuchungsanstalt vom 1. Februar bis 31. Juli 1969 das erste Immissionsmessprogramm in Nürnberg durch. Man betrachtete eine Fläche von 16 Quadratkilometern im Bereich der Nürnberger Altstadt und der Südstadt. Im Untersuchungsgebiet wurden

- der Staubbiederschlag,
- die Inhaltsstoffe des Staubbiederschlags, sowie
- die Schwefeldioxidimmissionen

gemäß den Vorgaben der damaligen TA-Luft ⁷⁾ gemessen. Eine Karte zur Verteilung der Schwefeldioxidimmission ist unter 17.3.7 abgedruckt.

7.2 Gesamtes Stadtgebiet 1981 bis 1987

Durch Beschluss des Stadtrates vom 8. April 1981 wurde die damalige Chemische Untersuchungsanstalt beauftragt, ein flächendeckendes Immissionsmessprogramm über das gesamte Nürnberger Stadtgebiet durchzuführen. Es wurden erstmals 217 Messstellen im gesamten Stadtgebietes festgelegt. Die Untersuchung erfolgte in sechs Abschnitten. Die Ergebnisse wurden in fünf Berichten zusammengefasst ^{13), 23), 24), 25), 26)}.

Die Messabschnitte und deren räumliche Umgriffe zeigt die Karte 17.3.1. Die räumliche Verteilung der Belastung der Außenluft durch die Parameter Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid zeigen die Karten 17.3.4, 17.3.8 und 17.3.11. Die Ergebnisse der Metalluntersuchungen im Schwebstaub und Staubbiederschlag für den Bereich Südstadt sind unter 17.4 zu finden.

7.3 Sperrung Theresienstraße 1988 / 1989

Die städtische Arbeitsgruppe „Sperrung Durchfahrt Rathausplatz“ beauftragte am 9. Oktober 1987 das damalige Chemische Untersuchungsamt mit der Messung von Luftschadstoffen, um die Auswirkungen einer – zunächst befristeten – Sperrung des Durchgangsverkehrs auf die Luftqualität in der Innenstadt beurteilen zu können. Dazu fanden auf einer Fläche von 4 Quadratkilometern (siehe 17.6) in der Zeit von Oktober 1988 bis November 1989 im 1-Kilometer-Raster und an weiteren vier exponierten verkehrsnahen Stellen mobile Luftmessungen statt.

Gemessen wurden die Parameter Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Schwebstaub, Blei im Schwebstaub sowie erstmals auch leichtflüchtige organische Komponenten. Dabei konnte festgestellt werden, dass

- sich die lufthygienische Situation in der Nürnberger Innenstadt gegenüber den flächendeckenden Messungen von 1981 bis 1987 verbessert hat,
- insbesondere die nördliche Innenstadt von den Auswirkungen durch die Sperrung profitiert, während im südlichen Innenstadtbereich dieser Effekt deutlich schwächer ausgeprägt ist und
- die Sperrung des Rathausplatzes im näheren Umfeld zu einer deutlichen Reduzierung der Schadstoffkonzentrationen führte, die auch zu der positiven Bilanz für die gesamte nördliche Innenstadt beitrug.

7.4 Schweinau, St. Leonhard, Sandreuth 1991 / 1992

Das Gebiet zwischen Schwabacher Straße, Schweinauer Hauptstraße, Frankenschnellweg und Ringbahn ist geprägt durch eine Vielzahl unterschiedlicher Industrie- und Gewerbebetriebe in enger Verflechtung mit teilweise hochverdichteter Wohnbebauung und stark befahrenen Straßen. Die damit verbundenen Auswirkungen auf die Luftqualität führten zu häufigen Beschwerden über schlechte Luft sowie über Geruchsbelästigungen.

Angesichts der Planung weiterer industrieller Anlagen, die der Genehmigung nach BImSchG bedurften, wurde die Frage aufgeworfen, ob mit dem im Untersuchungsgebiet vorliegenden Belastungsniveau die Grenzen der Belastbarkeit bereits erreicht sind. Der Umweltausschuss befasste sich in seiner Sitzung am 9. Oktober 1991 ausführlich mit dieser Frage. Um für anstehende Genehmigungen bessere Beurteilungskriterien zu haben, hat das Chemische Untersuchungsamt auf Anregung des Umweltschutzamtes ein umfangreiches Immissionsmessprogramm durchgeführt. Außer den anorganischen Gasen und Schwebstaub wurden auch flüchtige organische Komponenten gemessen. Die Tabelle 17.2 zeigt die erfassten Parameter.

Die Luftbelastung im Untersuchungsgebiet (Fläche Nr. 213, siehe 17.6) zeigte ein für städtische Ballungsräume mit hohem Verkehrsaufkommen und großem gewerblich und industriell genutzten Flächenanteil übliches Muster: Die Schwefeldioxid- und Schwebstaubkonzentration lagen über dem gesamtstädtischen Niveau. Verschiedene organisch-chemische Verbindungen, insbesondere die Xylole und Dichlormethan, fielen durch eine gegenüber dem sonstigen Stadtgebiet bedeutend erhöhte Konzentration auf.

Insgesamt war festzustellen, dass die Grenzwerte im Untersuchungsgebiet nicht überschritten wurden. Bis auf einige spezielle örtliche Faktoren entsprach die Luftqualität den üblicherweise in Nürnberg anzutreffenden Verhältnissen. Wie in den meisten städtisch-industriellen Ballungsgebieten war der Verkehr die wichtigste Quelle der Luftbelastung ²⁷⁾.

7.5 Gesamtes Stadtgebiet 1993 bis 1997

Durch Beschluss des Nürnberger Stadtrats vom 3. Juni 1992 wurde die Stadtverwaltung beauftragt, die Arbeiten zur Vorlage der Planfeststellungsunterlagen für eine neue Müllverbrennungsanlage (MVA) zu veranlassen. Bestandteil war die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) zur Dokumentation der Umweltsituation vor dem Neubau der MVA, die auch das Schutzgut Luft umfasste. Damit verbunden war die Erhebung der bereits bestehenden Vorbelastung. Der Auftrag zur Durchführung der gesamten UVP ging an die Firma Lahmeyer International, die wiederum das Chemische Untersuchungsamt der Stadt Nürnberg mit den Immissionsmessungen gemäß TA-Luft ²⁰⁾ beauftragte. Im Rahmen der UVP war zwar nur das weitere Umfeld der geplanten MVA flächendeckend zu untersuchen. Um einen Vergleich mit dem Messprogramm 1981 bis 1987 zu ermöglichen, wurde das Messprogramm jedoch auf das ganze Stadtgebiet erweitert. Die Messabschnitte und deren räumliche Umgriffe entsprachen im Wesentlichen dem Messprogramm von 1981 bis 1987 (siehe 17.3.2).

Die räumliche Verteilung der Parameter Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Benzol zeigen die Karten 17.3.5, 17.3.9, 17.3.12 und 17.3.14. Die Ergebnisse der Metalluntersuchungen im Schwebstaub und Staubbiederschlag sind unter 17.4 zu finden.

7.6 Kleinreuth und Höfen 1997 / 1998

Vom 10. November 1997 bis 30. April 1998 wurde in Ergänzung zum flächendeckenden Immissionsmessprogramm über das gesamte Nürnberger Stadtgebiet das Messprogramm „Kleinreuth und Höfen“ durchgeführt. Ziel war, Informationen über kleinräumige Luftbelastungsverhältnisse mit der erforderlichen Auflösung zu erhalten.

Die in diesem Messprogramm untersuchte Fläche (Nr. 172, siehe 17.6) umfasste die Stadtteile Höfen und Kleinreuth. Die Fläche wird im Süden und Westen vom Main-Donau-Kanal, im Osten von der Eisenbahnlinie und im Norden von der Leyher Straße begrenzt. Es handelt sich dabei sowohl um landwirtschaftlich und gewerblich genutzte Flächen als auch um Gebiete mit Wohnnutzung. Ungefähr diagonal durch das Untersuchungsgebiet verläuft die Sigmundstraße.

Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die im Messprogramm gefundenen durchschnittlichen Schadstoffkonzentrationen im Vergleich zu den Grenzwerten sowie der durchschnittlichen Luftbelastung im gesamten Stadtgebiet (flächendeckende Messprogramme 1993 bis 1997 und 2002 bis 2011).

Tabelle 3: Schadstoffkonzentrationen im Vergleich.

Bezug	NO ₂ µg/m ³	SO ₂ µg/m ³	CO mg/m ³	Benzol µg/m ³	Ruß µg/m ³
Kleinreuth / Höfen 1998					
Flächenmittelwert	57	12,5	1,7	7,2	3,6
minimal / maximal	49 - 66	11,0 - 13,5	1,5 - 1,9	4,8 - 9,1	2,5 - 5,2
gesamtes Stadtgebiet 1993 bis 1997					
Flächenmittelwert	39	25	1,08	5,15	2,9
minimal / maximal	26 - 56	9 - 44	0,56 - 1,78	2,94 - 8,44	1,6 - 5,3
gesamtes Stadtgebiet 2002 bis 2011, Fläche 173 (2003)					
Flächenmittelwert	44	5,8	0,59		
Grenzwerte					
TA Luft	80	140	10		
23. BImSchV				10	8
Richtlinie 1999/30/EG	40				

Es zeigte sich dabei, dass

- die Grenzwerte der TA-Luft und damaligen 23. BImSchV unterschritten wurden,
- der künftige, zum Schutz der menschlichen Gesundheit EU-weit gültige Grenzwert für Stickstoffdioxid von 40 µg/m³ im gesamten Untersuchungsgebiet überschritten wurde und
- das Untersuchungsgebiet im Vergleich zum gesamten Stadtgebiet durch verkehrsbedingte Luftschadstoffe überdurchschnittlich belastet ist.

Auch die flächenbezogenen Messungen der Jahre 2002 und 2003 (im Rahmen des flächendeckenden Messprogramms 2002 bis 2011) machen deutlich, dass die Belastung durch verkehrsbedingte Luftschadstoffe zwar abgenommen hat, der Grenzwert für Stickstoffdioxid von 40 µg/m³ aber immer noch überschritten wird.

7.7 Rehhof 2001 / 2002

Das Chemische Untersuchungsamt wurde am 17. Mai 2001 vom Stadtplanungsamt der Stadt Nürnberg mit der Durchführung von Dieselrußmessungen im Ortsteil Rehhof beauftragt. Ziel war, den Einfluss des Bahnverkehrs auf die Luftqualität im Umfeld der Gleisanlagen zu ermitteln. Um eine fundierte Aussage über die Luftqualität zu ermöglichen, wurden außer Dieselruß noch die Parameter Stickoxide (NO, NO₂), Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO), Benzol, Toluol und Xylol gemessen. Dazu wurden vier Messpunkte des flächendeckenden Immissionsmessprogramms (C 18, D 18, A 20, B 20 = Fläche 144) und – speziell für dieses Messprogramm – fünf weitere Messpunkte ausgewählt. Die Lage des Untersuchungsgebiets zeigt die Karte 17.6.

Tabelle 4: Messergebnisse Rehhof.

Bezug	NO µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	SO ₂ µg/m ³	CO mg/m ³	Benzol µg/m ³	Ruß µg/m ³	Toluol µg/m ³	Xylol µg/m ³
Nahbereich Gleisanlagen	31	33	8	0,9	1,8	1,6	4,7	4,4
Fläche 144	68	43	10	1,2	2,5	3,1	8,0	7,2
Grenzwerte								
22. BImSchV		40	20	10	5			
23. BImSchV						8		

Die Messergebnisse in der Tabelle 4 zeigen, dass sich die durchschnittliche lufthygienische Situation im Untersuchungsgebiet seit dem Messprogramm 1993 bis 1997 kaum verbessert hat, dass aber im Nahbereich der Gleisanlagen kein Hinweis auf einen übermäßigen Eintrag von Dieselruß durch den Bahnverkehr gefunden werden konnte.

7.8 Gesamtes Stadtgebiet 2002 bis 2011

Das dritte flächendeckende Immissionsmessprogramm über das gesamte Stadtgebiet fand in vier Messabschnitten über einen Zeitraum von neun Jahren statt. Die Messabschnitte mussten zum Teil neu gegliedert werden, um die vom Verkehrsplanungsamt beauftragten Messungen im Umfeld des Frankenschnellweges in das Messprogramm integrieren zu können.

Die Messabschnitte und deren räumliche Umgriffe zeigt die Karte 17.3.3. Die räumliche Verteilung der Parameter Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Benzol sind in den Karten 17.3.6, 17.3.10, 17.3.13 und 17.3.15 zu finden.

8. Stationäre Messungen

Seit 1963 werden in Nürnberg stationäre Messungen im kontinuierlichen Betrieb durchgeführt, zunächst mit nur einem Messgerät zur Aufzeichnung der Schwefeldioxid-Konzentrationen. Dieses Messgerät erforderte noch eine manuelle Erfassung der Daten. 1970 ging am Hauptmarkt eine Messstation mit automatischer Datenspeicherung in Betrieb. Heute gibt es fünf Luftmessstationen, die von der Stadt Nürnberg und durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) betrieben werden. Eine Jahresübersicht der Messwerte folgender Parameter zeigen die Tabellen im Abschnitt 17.7:

- Stickstoffdioxid NO₂ (Tabelle 17.7.1)
- Schwefeldioxid SO₂ (Tabelle 17.7.2)
- Kohlenmonoxid CO (Tabelle 17.7.3)
- Benzol C₆H₆ (Tabelle 17.7.4)
- Staub / Feinstaub PM₁₀ (Tabellen 17.7.5, 17.7.6, 17.7.7)



Grafik 1:

Die Lage der Luftmessstationen im Nürnberger Stadtgebiet. Die Messstation Ziegelsteinstraße des LfU wurde zum Jahresbeginn 2012 stillgelegt.

9 Orientierende Außenluftmessungen

Während der letzten Jahrzehnte wurden durch das Chemische Untersuchungsamt häufig mobile Außenluftmessungen außerhalb der flächendeckenden Messprogramme durchgeführt. Anlass waren zum Beispiel Beschwerden von Anwohnern, die Beobachtung kleinräumiger Ereignisse oder Untersuchungsaufträge von Firmen. Darüber hinaus gab es stichprobenhafte Messungen zur Abschätzung der Luftbelastung

- an stark befahrenen Straßen, insbesondere mit hoher Randbebauung (1992)
- im Einflussbereich des geplanten Güterverkehrszentrums (1994)
- an exponierten Straßenabschnitten im Umfeld des Frankenschnellwegs (2002/03) und
- an exponierten Straßenabschnitten im Hafengebiet (2003).

Darüber hinaus wurde das Umweltamt mit begleitenden Messungen zur Klärung besonderer örtlicher Luftbelastungssituationen unterstützt. Das gilt insbesondere für Beschwerden über Geruchsbelästigungen. Zumeist geht es dabei um betriebliche Schwachstellen, sei es durch bakteriellen Befall von Kühlschmiermitteln ²⁸⁾, um Emissionen von Gießereienanlagen oder auch um temporäre Geruchsbelästigungen im Umfeld der Kläranlagen. Dabei handelt es sich jedoch weniger um Immissionsmessungen im eigentlichen Sinne, sondern um die Klärung der Ursache von Gerüchen und um die Identifizierung der Emissionsströme von Geruchsstoffen.

9.1 Straßennahe Messungen 1992

Untersuchungen des Chemischen Untersuchungsamtes zeigten, dass in Hauptverkehrsstraßen mit großem Verkehrsaufkommen (mehr als 20 000 Kfz/Tag) und hoher Randbebauung mit überdurchschnittlichen Luftbelastungen zu rechnen ist, die sich aber nicht in die Nebenstraßen hinein fortsetzen. Bei vergleichenden Messungen in der Wölckernstraße und der parallel verlaufenden Breitscheidstraße, in der Bucher Straße und in der Arndtstraße sowie auf der nördlichen und der südlichen Seite der Regensburger Straße war zu erkennen, dass in den Nebenstraßen und auch schon bei einem Abstand von 50 Metern zum Hauptverkehrsstrom wesentlich niedrigere Schadstoffkonzentrationen zu messen sind. Einige Daten dazu zeigt die nachfolgende Tabelle 5.

Tabelle 5: Ergebnisse von straßennahen Messungen im Jahr 1992.

	Lage	NO ₂ µg/m ³	Benzol µg/m ³
Nordstadt			
Bucher Straße	verkehrsnahe	60	0,6 - 70,1
Arndtstraße	verkehrsabgewandt	55	0,9 - 10,6
östliches Stadtgebiet			
Regensburger Straße (Süd)	verkehrsnahe	68	1,8 - 13,1
Regensburger Straße (Nord)	verkehrsabgewandt	42	0,9 - 7,8
Südstadt			
Wölckernstraße	verkehrsnahe	103	2,8 - 29,5
Breitscheidstraße	verkehrsabgewandt	46	1,9 - 5,1

9.2 Messprogramm Güterverkehrszentrum 1994

Im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung zum Bau eines Güterverkehrszentrums (GVZ) im Hafen Nürnberg sollte am Standort und im Einwirkungsbereich der geplanten Anlage die Umweltsituation beschrieben werden. Dazu führte das Chemische Untersuchungsamt straßenraumbezogene Immissionsmessungen auf Luftschadstoffe durch. Die Untersuchungen fanden vom 30. August 1994 bis zum 5. Dezember 1994 an acht definierten Messpunkten statt. Ziel war es, die aktuelle Belastungssituation festzustellen und zu bewerten. Die Ergebnisse sollten die Grundlage für eine anschließende Berechnung der Luftbelastung liefern, wie sie durch den Betrieb des GVZ zu erwarten ist.

Für die Außenluftmessungen kamen die zu jener Zeit vorhandenen beiden Immissionsmessfahrzeugen des Chemischen Untersuchungsamtes zum Einsatz. Folgende Parameter wurden erfasst:

- Anorganische Luftschadstoffe:
Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Ozon.
- Organische Luftschadstoffe:
Benzol, Toluol, Ethylbenzol und die Xylole.
- Dieselruß.
- Meteorologische Parameter.

Die acht Messpunkte wurden in Zusammenarbeit mit dem damaligen Umweltplanungsamt der Stadt Nürnberg auf der Grundlage von Verkehrszählungen des Stadtplanungsamtes und der Verkehrsanalyse des Ingenieurbüros Dr. Stucke festgelegt. Die Messpunkte sowie die Messergebnisse sind in der Tabelle 17.8 dargestellt.

Durch das Messprogramm ließ sich feststellen, dass

- Stickstoffdioxid in Relation zu dem hohen Grenzwert der damaligen 23. BImSchV ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als 98%-Wert der Halbstunden-Mittelwerte eines Jahres) vergleichsweise unproblematisch war,
- die Zunahme des Schwerlastverkehrs bis 1998 möglicherweise zu Grenzwertüberschreitungen bei Dieselruß führen kann und
- Benzol bereits teilweise über den Grenzwerten lag.

9.3 Straßenabschnittbezogene Messungen 2003 / 2004

Für das Planfeststellungsverfahren zum Ausbau des Frankenschnellwegs waren lufthygienische Gutachten zu den Auswirkungen auf die Luftqualität durchzuführen. Dazu war es notwendig, die aktuelle Schadstoffbelastung der Außenluft zu kennen, um die zu erwartende künftige Immission berechnen zu können. Deshalb wurde am 5. Dezember 2001 das UA vom Verkehrsplanungsamt der Stadt Nürnberg beauftragt, straßenabschnittbezogene Messungen im Umfeld des Frankenschnellwegs durchzuführen. Es wurden fünf Messpunkte ausgewählt, an denen im November 2003 sowie im Februar, März und Juli 2004 mobile Luftmessungen stattfanden. Hinweise auf Grenzwertüberschreitungen ergaben sich für die Parameter PM₁₀ und Stickstoffdioxid (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Ergebnisse straßenabschnittbezogener Messungen in den Jahren 2003 und 2004.

Messort	NO ₂ µg/m ³	SO ₂ µg/m ³	Benzol µg/m ³	PM ₁₀ µg/m ³
Kohlenhofstraße	61,1	7,5	3,0	50,8
Schwabacher Straße	58,7	5,6	2,5	47,1
Landgrabenstraße	77,8	5,7	3,7	56,5
Maximilianstraße	85,7	8,1	3,9	59,0
Ulmenstraße	78,2	3,8	3,4	47,5
Grenzwerte (ohne Toleranzmarge)				
24-Stunden-Mittelwert				50
Jahresmittelwert	40	20	5,0	40

Die bei diesem Immissionsmessprogramm gewonnenen Erkenntnisse flossen unmittelbar in die Planungen für den Ausbau des Frankenschnellwegs ein. Es zeigte sich nämlich, dass die Lage der Tunnelportale von höchster Bedeutung für die angestrebte Verbesserung der Luftgüteverhältnisse im unmittelbaren Umfeld des Tunnelbauwerks ist. Im Zuge der Planungen wurde daher das Tunnelbauwerk dahin gehend optimiert, dass auch für die Wohnbauten in Nähe der Tunnelportale keine Verschlechterung der Luftgütesituation eintritt sowie über einen langen Streckenabschnitt eine erhebliche Verbesserung der Immissionsverhältnisse erreicht wird – stets unter der Bedingung, dass die in der Verkehrsprognose zum Frankenschnellweg dargestellte Entwicklung des Straßenverkehrs auch zutrifft. Im Hinblick auf den Nachweis dieser Entwicklung ist in die Planungen des Frankenschnellwegs auch die Einrichtung und Betrieb einer Luftmessstation im Bereich mit der ungünstigsten Luftgüteprognose aufgenommen worden. Die konzeptionellen Vorbereitungen für deren Einrichtung sind im Gang, da der Betrieb deutlich vor Beginn von Bauarbeiten aufgenommen werden soll, um Ausgangssituation, Bauphase und Endausbausituation miteinander vergleichen zu können.

9.4 Messungen Hafengelände 2003

Im Dezember 2003 hat das Chemische Untersuchungsamt an zwei Stellen im Umfeld der Antwerpener Straße orientierende Luftmessungen durchgeführt. Dabei wurde die Ecke Antwerpener Straße / Linzer Straße als verkehrsnaher Standort mit der wahrscheinlich höchsten verkehrsbedingten Luftbelastung im Hafengebiet und die Ecke Preßburger Straße / Frankfurter Straße als Referenzstandort ausgewählt. Hinweise auf Grenzwertüberschreitungen ergaben sich für die Parameter PM₁₀ und Stickstoffdioxid. Die Daten dazu zeigt die nachfolgende Tabelle 7.

Tabelle 7: Ergebnisse der Messungen im Hafengelände im Jahr 2003.

Messort	NO ₂ µg/m ³	SO ₂ µg/m ³	CO mg/m ³	PM ₁₀ µg/m ³
Mittelwerte über 24 Stunden				
Antwerpener Straße / Linzer Straße ¹⁾	122,6	4,7	0,6	98,3
Preßburger Straße / Frankfurter Straße ²⁾	97,9	2,5	0,5	72,7
Preßburger Straße / Frankfurter Straße ³⁾	69,1	1,9	0,3	45,8
Mittelwert über 3 Tage				
	96,5	3,0	0,5	72,3
Grenzwerte				
8-Stunden-Mittelwert			10	
24-Stunden-Mittelwert		125		50
Jahresmittelwert	40			
¹⁾ 9./10. Dezember 2003 ²⁾ 10./11. Dezember 2003 ³⁾ 11./12. Dezember 2003				

10 Mobile Messungen des Landesamts für Umwelt

Das bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat in Nürnberg und in weiteren bayerischen Städten mit dem Messwagen oder mit mobilen Probenahmegeräten Luftschadstoffe in der Außenluft gemessen, zum Beispiel wenn aufgrund von Änderungen der Verordnungen des Bundesimmissionsschutzgesetzes neue Parameter oder neue Grenzwerte eingeführt wurden.

10.1 Immissionsmessungen nach 23. BImSchV

In den Jahren 1994 / 1995 und 1996 / 1997 wurden im Auftrag des LfU bayernweite Messungen zur Bestimmung des Immissionsniveaus der in der 23. BImSchV festgelegten Parameter durchgeführt ²⁹⁾. Dabei wurden auch insgesamt 18 Standorte in Nürnberg untersucht. Für Stickstoffdioxid, Benzol, Ruß, Toluol und Xylol sowie für Schwebstaub wurden die Monats- und Jahresmittelwerte bestimmt. Für Stickstoffdioxid wurden zusätzlich auch die Jahres-98 %-Werte ermittelt.

In der Tabelle 17.9 sind die Messergebnisse der Jahresmittelwerte beziehungsweise Jahres-98%-Werte zusammengefasst. Es zeigte sich, dass der damals gültige Grenzwert für Stickstoffdioxid (160 µg/m³ als 98 %-Wert) an allen Messpunkten eingehalten wurde, es bei den Parametern Benzol und Ruß aber zu teilweise erheblichen Überschreitungen kam.

10.2 Orientierende Messungen nach 22. BImSchV 2002 / 2003

Von August 2002 bis August 2003 nahm das LfU im Nürnberger Stadtgebiet an zwölf verkehrsnahen, an einer industrie- und gewerbebezogenen Messstelle sowie an zwei Stadtrand- und Wohngebiets-Messstellen stichprobenartige Luftschadstoffmessungen vor. Die Messungen bezogen sich auf die Komponenten Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Kohlenmonoxid, Ozon, Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol, Trichlorethen, Tetrachlorethen und die PM₁₀-Fraktion des Feinstaubes ³⁰⁾. Die Ergebnisse sind in Tabelle 17.10 dargestellt.

Die Belastungen des untersuchten Gebietes durch Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid waren gering. Die Werte für Stickstoffdioxid lagen an zwei Messstellen über der für die Messjahre jeweils maßgeblichen Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge der 22. BImSchV (2002: 56 µg/m³, 2003: 54 µg/m³): Am Messpunkt Welsersstraße bei 61 µg/m³ und am Messpunkt Erlanger Straße bei 66 µg/m³. An zwei weiteren Messpunkten überschritten die Stickstoffdioxid-Werte den seit 2010 gültigen Grenzwert der 22. BImSchV (jetzt 39. BImSchV) von 40 µg/m³ für das Jahresmittel.

Die Feinstaub-PM₁₀-Immissionen lagen an zwei Messpunkten über dem seit 2005 gültigen Grenzwert von 40 µg/m³ sowie teilweise über den Summen aus Grenzwert und Toleranzmarge der 22. BImSchV (2002: 44,8 µg/m³, 2003: 43,2 µg/m³): Am Messpunkt Welsersstraße bei 44 µg/m³ und am Messpunkt Erlanger Straße bei 48 µg/m³. Die zulässige Häufigkeit von 35 Grenzwertüberschreitungen pro Jahr (PM₁₀-Tagesmittelwert nach 22. BImSchV) wurde im Jahr 2002 (65 µg/m³) nicht überschritten. Im Jahr 2003 (60 µg/m³) kam es jedoch an den Messstellen in der Bahnhofstraße und in der Theresienstraße zu Überschreitungen.

Der Benzol-Konzentrationswert der 23. BImSchV von 10 µg/m³ sowie der seit 2010 gültige Grenzwert der 22. BImSchV (jetzt 39. BImSchV) von 5 µg/m³ für Benzol wurde an keinem Messpunkt erreicht. Der Zielwert des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI-Zielwert) von 2,5 µg/m³ war an sechs verkehrsbezogenen Messpunkten überschritten.

Die Immissionen der Halogenkohlenwasserstoffe Trichlorethen und Tetrachlorethen waren sehr gering und lagen erheblich unter den lufthygienischen Vergleichswerten der WHO bzw. der 2. BImSchV ³¹⁾.

10.3 Orientierende Messungen am Flughafen 2011

In der Zeit vom 6. Oktober bis 4. November 2011 führte das LfU Luftmessungen an verkehrsnahen Messpunkten im südlichen Umfeld des Flughafens durch, um im Falle des eventuellen Baus der Flughafenzufahrt durch den Sebalder Reichswald (Nordspange) die vorherige Luftbelastung zu dokumentieren. Die Probenahmeorte waren:

- Marienbergstraße, Einmündung Sylter Straße,
- Flughafenstraße, Einmündung Loher Hauptstraße,
- Bierweg, gegenüber Einmündung Tannenbergsstraße.

Gemessen wurden die Parameter Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Ozon, PM₁₀ und PM_{2,5}. Von jedem Parameter lagen nach Beendigung des Messprogramms 69 Einzelmesswerte über jeweils eine Stunde vor, die mit den Werten verglichen wurden, die zur gleichen Zeit an der Luftmessstation von-der-Tann-Straße gemessen wurden.

Die Auswertung der Messungen kam zu dem Ergebnis,

- dass weder bei den mobilen Messungen noch an der Luftmessstation eine Grenzwertüberschreitung festzustellen war und
- dass die Werte der mobilen Messungen deutlich unter denen lagen, die gleichzeitig an der Messstation Von-der-Tann-Straße gemessen wurden.

Allerdings lagen zu wenige Messungen vor, um eine Aussage über PM₁₀-Tagesmittelwerte und eine eventuelle Überschreitung des PM₁₀-Grenzwertes für einen Kalendertag zu machen.

11 Bioindikatoren

Neben den physikalisch-chemischen Messungen von Luftschadstoffen können auch Lebewesen – hauptsächlich Pflanzen – zur Beobachtung und Messung der Luftqualität verwendet werden. Diese Systeme können zwar die konventionellen Messgeräte nicht ersetzen, sie können aber ergänzende Informationen zu Wirkung, Synergieeffekten und Anreicherung von umweltrelevanten Stoffen liefern.

Es wird unterschieden zwischen:

- Regulativen Bioindikatoren, das sind Lebewesen, die auf Veränderungen in ihrer Umwelt eindeutig und messbar reagieren.
- Akkumulativen Bioindikatoren, die bestimmte Stoffe (zum Beispiel auch Schadstoffe) in einem möglichst linearen Verhältnis zu deren Konzentration in der Umwelt speichern.

Außerdem gibt es

- Aktive Verfahren zur Bioindikation, bei denen die Indikatoren an den zu untersuchenden Orten exponiert werden.
- Passive Verfahren, bei denen Lebewesen in ihrem natürlichen Umfeld beobachtet werden.

In verschiedenen Programmen wurden diese Verfahren in Nürnberg zur Bewertung der Umwelt, insbesondere der Luftqualität eingesetzt.

Einen Sonderfall stellt in diesem Zusammenhang die Prüfung von Garten- und Landwirtschaftsprodukten im Umfeld von potentiell kritischen Emittenten von Luftschadstoffen dar. Dazu zählt beispielsweise die Prüfung von Honig auf Inhaltsstoffe wie Schwermetalle oder von Gemüse auf organische Schadstoffe, wie sie vom Chemischen Untersuchungsamt in der Nähe von Deponien und am Rande des Flughafens erfolgte.

Bild 6, Bild 7: verschiedene Flechten an einem Baumstamm (Fotos: www.pixelio.de).



11.1 Regulative Bioindikatoren

11.1.1 Flechtenkartierungen 1981 und 1998

Flechten sind, obwohl sie wie ein einheitlicher Organismus erscheinen, eine Lebensgemeinschaft von Alge und Pilz. Wegen

- des störanfälligen Stoffwechsels,
- der geringen Fähigkeit zur Regeneration von Schädigungen,
- der ungeschützten Oberfläche,
- der Unfähigkeit, Schadstoffe auszuscheiden und
- der gleichbleibenden Stoffwechselaktivität auch bei niedrigen Temperaturen

reagieren Flechten besonders sensibel auf Luftschadstoffe und können deshalb als zuverlässiger Indikator für die Schadstoffbelastung der Luft betrachtet werden.

Im Rahmen einer Diplomarbeit ³²⁾ wurde im Großraum Nürnberg / Fürth im Jahre 1981 eine immissionsbezogene Flechtenkartierung auf der Grundlage der – damals üblichen – IAP-Methode (Index of Atmospheric Purity) durchgeführt. Eine weitere Kartierung im Auftrag des Chemischen Untersuchungsamtes ³³⁾ folgte im Jahr 1998. Sie basierte auf dem inzwischen in der VDI-Richtlinie 3799, Blatt 1, standardisierten Verfahren. An vier zusätzlichen Standorten wurde nach der 1981 verwendeten IAP-Methode kartiert und ausgewertet, um einen Vergleich mit den vorherigen Ergebnissen zu ermöglichen. Beiden Kartierungen lag das Messnetz auf der Basis der Gauß-Krüger-Koordinaten mit einem 2-Kilometer-Abstand der Rasterpunkte zu Grunde. Auf jeder Messfläche wurde die Flechtenvegetation ausgewählter freistehender Laubbäume erfasst.

Die Ergebnisse der Flechtenkartierung des Jahres 1998 sind in Tabelle 17.11 dargestellt. Sie entsprechen im Wesentlichen der Verteilung der Luftbelastung durch Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid, wie sie im flächendeckenden Luftmessprogramm 1993 bis 1998 durch physikalisch-chemische Messungen ermittelt wurde. Die Wiederholungskartierung nach der IAP-Methode an den vier ausgewählten Standorten zeigte, dass sich die Luftqualität in Nürnberg zwischen 1981 und 1998 verbessert hat.

11.1.2 Exposition von Tabakpflanzen im Rahmen eines EU-Projekts 1996

Die Stadt Nürnberg nahm 1996 zusammen mit den Städten Bologna, Charleroi, Florenz, Graz, Lille, Modena und Tampere an einem EU-Projekt zum Einsatz von Bioindikatoren zur Umweltbeobachtung teil ³⁴⁾. Dabei sollten ozonsensible Tabakpflanzen als Indikatoren für die sommerliche Ozonbelastung sowie Graskulturen als Akkumulatoren für Metalle (siehe 11.2.4) eingesetzt werden.

Im Nürnberger Stadtgebiet waren dazu an fünf Standorten mit unterschiedlichem Umfeld (Wald, Stadtrand, Industriegebiet, Straßenverkehr) in der Zeit von Mai bis Oktober Tabakpflanzen exponiert. Die Pflanzen wurden wöchentlich gemäß einem vorgegebenen Bewertungsschema auf Blattschäden untersucht, die Ergebnisse verglich man mit den in Luftmessstationen gemessenen Ozonkonzentrationen. In Nürnberg zeigte sich an den Standorten im Wald und am Stadtrand eine hohe Übereinstimmung zwischen den an der Luftmessstation gemessenen Ozonwerten und den an den Tabakblättern beobachteten Schäden.

11.2 Akkumulative Bioindikatoren

11.2.1 Untersuchung epiphytischer Moose 1979 / 1980

Pflanzen, die auf anderen Pflanzen wachsen, werden als Epiphyten bezeichnet. Epiphytische Moose siedeln sich meist auf Bäumen an und sind – da sie über keine Wurzeln verfügen – auf die Nährstoffzufuhr durch den Regen angewiesen. Dadurch sind sie gut als Indikatoren atmosphärischer Spurenstoffe geeignet, denn eine Aufnahme aus dem Boden kann weitgehend ausgeschlossen werden. Darüber hinaus gelten diese Moose als resistent gegenüber Schadstoffen. Außerdem ist durch selektive Probenahme ein Rückschluss auf den Zeitraum der Anreicherung möglich. Epiphytische Moose weisen sowohl für anorganische als auch für organische Spurenstoffe hohe Anreicherungsraten auf.

Bei einer Untersuchung der Universität Bayreuth ³⁵⁾ zwischen Mai 1979 und September 1980 an 15 Messstellen, die annähernd auf einer gedachten Linie vom Norden in den Süden Bayerns zwischen Hof und Bad Reichenhall lagen, wurden folgende Proben genommen:

- Staubbiederschlagsproben im Abstand von 3 Wochen.
- Kontinuierliche Schwebstaubproben an 14 Messstellen.
- Proben von Zypressenschlafmoos (*Hypnum cupressiforme*), zum jeweiligen Ende der Vegetationsperiode.

Eine der Messstellen befand sich am Nürnberger Tiergarten. Die Staubbiederschlagsproben wurden auf schwerflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (HCH, HCB, o.p'-DDT, PCB 60) und Metalle (Zink, Kupfer, Blei, Cadmium, Eisen), die Schwebstaubproben auf Metalle und PAK sowie die Moosproben auf alle aufgeführten Parameter untersucht.

Die Metallkonzentrationen im Schwebstaub und Staubbiederschlag an der Nürnberger Messstelle lagen im unteren Bereich der Werte, die im flächendeckenden Immissionsmessprogramm 1981 - 1987 gefunden wurden. Auch die PAK-Gehalte im Schwebstaub waren im Vergleich zu späteren Untersuchungen relativ niedrig. Die chlororganischen Parameter wurden bei der UVP 1993 (siehe 11.2.2) in Graskulturen untersucht und können deshalb mit den Ergebnissen der Moose nicht verglichen werden. Insgesamt hat es sich gezeigt, dass der Standort Tiergarten auf Grund seiner Stadtrandlage geringer belastet ist als das Stadtzentrum. Die Auswertung der Moosuntersuchungen ergab jedoch, dass der Großraum Nürnberg damals innerhalb von Bayern zu den Regionen mit den höchsten Schadstoffwerten in der Luft gehörte.

11.2.2 Exposition von Graskulturen im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) 1993

Zur Dokumentation des Zustandes der lufthygienischen Situation vor dem Bau der neuen Müllverbrennungsanlage wurden 1993 vom TÜV-Südwest Immissions-Wirkungsuntersuchungen mit Bioindikatoren durchgeführt. Dabei kamen unter anderem Weidelgraskulturen als akkumulative Bioindikatoren zum Einsatz. Die Ergebnisse der Metalluntersuchungen werden in der Tabelle 8 mit den Ergebnissen der Exposition von Graskulturen im Rahmen eines 1996 durchgeführten EU-Projektes (siehe 11.2.4) verglichen.

Tabelle 8: Ergebnisse der Exposition von Graskulturen.

Standort / Jahr	Arsen mg/kg	Blei mg/kg	Cadmium mg/kg	Chrom mg/kg	Nickel mg/kg	Kupfer mg/kg	Kobalt mg/kg	Zink mg/kg	Mangan mg/kg
Ritter-von-Schuh-Platz									
1993	0,20	0,60	0,04	0,50	4,80	8,50	0,41	36,0	89,1
1996	0,33	0,50	0,24	0,60	3,50	6,10	0,30	56,8	546,0
Tunnelstraße									
1993	0,26	0,90	0,06	0,80	5,10	8,90	0,42	35,0	93,3
1996	0,35	0,50	0,25	0,50	3,50	7,00	0,30	50,5	464,5

11.2.3 Untersuchung von Fichtennadeln

Bereits im Jahr 1988 wurde von der Universität Bayreuth in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Umweltschutz (LfU) eine Untersuchung von Fichtennadeln auf polychlorierte Dibenzodioxine / Dibenzofurane (PCDD / PCDF) an den Standorten Hof, Schwandorf, Passau und Nürnberg durchgeführt ³⁶⁾. In Nürnberg wurden auf einer Ost-West-Traverse zwischen Lauf und Zirndorf insgesamt sechs Bäume beprobt. Die Ergebnisse als Mittelwerte sind in Tabelle 9 aufgeführt. Auffällig war dabei, dass Nürnberg im Vergleich zu den anderen Standorten eine mehr als doppelt so hohe Belastung aufwies.

Tabelle 9: PCDD / PCDF in Fichtennadeln im Jahr 1988.

Messort	Konzentration PCDD / PCDF
Nürnberg	4,5
Schwandorf	1,8
Hof	1,2
Passau	1,2

Messwerte in ng TE(GBA)/kgTS

Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsuntersuchung zum Neubau der Müllverbrennungsanlage wurden im Stadtgebiet Nürnberg am 28. Oktober 1993 an zwölf Standorten Fichtennadelproben entnommen (entsprechend VDI-Richtlinie 3792 Blatt 5) und unter anderem auf polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD / PCDF), polychlorierte Biphenyle (PCB), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Blei, Zink und Cadmium untersucht.

Tabelle 10: Probenahmeorte der Fichtennadel-Untersuchungen im Jahr 1993.

Untersuchungsgebiet	Flächen-Nummer	Probenahmeorte
Traverse 1		
	FN 1	Schweriner Straße 61
	FN 2	Cranachstraße 13
	FN 3	Vestnertorgraben
	FN 4	Schloßackerstraße 21
	FN 5	Neulichtenhof
	FN 6	Stolzingstraße 3
Traverse 2		
	FN 7	Heroldsberger Weg 18
	FN 8	Mommsenstraße
	FN 9	Cimbernstraße 24
	FN 10	Juttastraße 2
	FN 11	Weddigenstraße 21
	FN 12	Münchener Straße / Alfred-Hensel-Weg

Die dabei ermittelten PCDD / PCDF-Werte lagen im Bereich von 0,31 bis 1,19 ng TE/kg. Es fällt auf, dass die Gehalte der Proben an Traverse 1 etwas höher liegen als bei Traverse 2. Die Untersuchungsergebnisse der Parameter PCB, PAK und Schwermetalle waren weitgehend unauffällig.

Tabelle 11: Messergebnisse der Fichtennadel-Untersuchungen.

Messort	TE PCDD/F ng/kg	PCB µg/kg	PAK (EPA) µg/kg	Blei mg/kg	Cadmium mg/kg	Zink mg/kg
FN 1	0,54	38,4	571	0,55	0,012	32
FN 2	1,05	43,5	950	5,7	0,026	41
FN 3	1,19	8,48	448	3,1	0,071	43
FN 4	1,13	54,9	831	1,8	0,230	120
FN 5	1,01	39,95	798	3,5	0,054	35
FN 6	0,67	100,95	495	1,8	0,013	20
FN 7	0,54	30,95	266	0,5	0,013	25
FN 8	0,61	46,25	349	0,79	0,008	47
FN 9	0,52	27,1	873	0,66	0,046	42
FN 10	0,31	4,16	338	0,44	0,014	36
FN 11	0,60	8,76	813	4,8	0,057	78
FN 12	0,39	30,75	753	1,3	0,053	29
Mittelwert	0,71	36,18	621	2,08	0,050	46

11.2.4 Exposition von Graskulturen im Rahmen eines EU-Projekts 1996

Bei dem bereits in 11.1.2 erwähnten EU-Projekt zu Bioindikatoren wurden im Jahr 1996 auch Graskulturen (*Lolium multiflorum* "Iemtal") an unterschiedlichen Standorten (Wald, Stadtrand, Industriegebiet, Straßenverkehr) eingesetzt. Ziel war, die Metallgehalte in der Luft durch Anreicherung in den Graskulturen zu ermitteln. Die Ergebnisse der Metalluntersuchungen werden in der Tabelle 8 mit den Ergebnissen der Exposition von Graskulturen der Umweltverträglichkeitsprüfung 1993 (siehe 11.2.2) verglichen.

Von den teilnehmenden Städten wurden in Bologna, Charleroi, Lille und Modena überdurchschnittlich hohe Anreicherungen gefunden. Nürnberg gehörte mit Florenz, Graz und Tampere zu den geringer belasteten Städten ³⁴⁾.

11.2.5 Exposition von Weidelgraskulturen im Hafen 2005

Bei der Durchführung des Projektes „Schredderanlagen und Abfalldeponien – relevante Sekundärquellen für dioxinähnliche PCB und verwandte persistente Schadstoffe“ des LfU wurden von Mai bis Oktober 2005 im Gebiet Nürnberg-Hafen fünf Serien Weidelgraskulturen vier Wochen lang an je fünf Standorten exponiert und im Labor auf polychlorierte Dioxine / Furane, dioxinähnliche PCB, Indikator-PCB, PAK und polybromierte Diphenylether (PBDE) sowie Schwermetalle analysiert. Die Messpunkte C4 und C5 lagen außerhalb des Betriebsgeländes der Schredderanlage.

Tabelle 12: WHO-TEQ der PCDD / PCDF in Weidelgraskulturen (Hafengebiet) im Jahr 2005.

Messort	Expositionszeitraum im Jahr 2005				
	18.05. - 15.06.	15.06. - 13.07.	13.07. - 10.08.	10.08. - 07.09.	07.09. - 05.10.
C 1	- *	- *	10,1	3,55	72,5
C 2	6,20	3,85	3,57	1,54	8,73
C 3	6,60	4,42	7,84	1,64	8,99
C 4	4,68	3,39	3,79	3,30	4,77
C 5	4,07	1,48	2,48	1,02	5,66

* keine Exposition von Graskulturen

Messwerte in ng/kgTS

Auffällig waren die gemessenen PCDD / PCDF Konzentrationen, die deutlich über den Werten vergleichbarer Industriestandorte lagen. Dabei könnte der Wert von 72,5 ng/kg TS, der am Standort C1 zwischen dem 7. September und 5. Oktober 2005 gefunden wurde, auf einen Störfall zurückzuführen sein. Eine Hochrechnung der möglichen Luftbelastung auf der Basis von Transferraten Luft / Gras ergab, dass auch außerhalb des Werksgeländes am Messpunkt C5 in unmittelbarer Nähe eines häufig genutzten Weges entlang des Main-Donau-Kanals der Zielwert des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) für die langfristige Luftreinhalteplanung von 150 fg WHO-TEQ/m³ sehr wahrscheinlich überschritten war. Durch technische Änderungen im Schredderbetrieb konnten weitere Emissionen vermieden werden ³⁷⁾.

12 Entwicklung der Luftqualität in Nürnberg

12.1 Einfluss der Emittenten

Die Luftbelastung in Nürnberg ist geprägt durch Emissionen aus Straßenverkehr und Industrie, sowie aus Kraftwerken und der Müllverbrennungsanlage. In früheren Jahren kamen die mit Kohle oder Öl betriebenen Ofenheizungen hinzu. In der Energieversorgung und bei Verbrennungsanlagen konnten in den letzten beiden Jahrzehnten durch technische Maßnahmen die Schadstoffemissionen deutlich gesenkt und damit die Luftbelastung reduziert werden. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang der Ausbau des Fernwärmenetzes und der damit verbundene Ersatz von Kohle- und Ölöfen, technische Verbesserungen in Industriebetrieben sowie der Einbau von Rauchgasreinigungen in Kraftwerken und Verbrennungsanlagen in Nürnberg, zum Beispiel im Kraftwerk Sandreuth und bei der neuen Müllverbrennungsanlage.

Die Tabellen 13 und 14 zeigen, dass sich die Emissionen von Schwefeldioxid und Stickoxiden bei der städtischen Müllverbrennung zwischen 1992 und 2010 um mehr als 80 % reduziert haben, im Kraftwerk Sandreuth hat sich der Schwefeldioxidausstoß zwischen 1986 und 2010 sogar um mehr als 99 % verringert, der Stickoxidausstoß um rund 74 %, obwohl sich die durchgesetzte Müllmenge und die bereitgestellte Energie erhöht haben.

Tabelle 13: Emissionsdaten der Müllverbrennungsanlage in Nürnberg.

	1992	1999	2010
Stickoxide (kg)	466 710	462 208	71 386
Schwefeldioxid (kg)	22 601	11 279	3 975
Kohlenmonoxid (kg)	21 470	26 026	8 709
Staub (kg)	11 300	1 399	310
Mülldurchsatz (t)	152 690	180 300	197 358

Tabelle 14: Emissionsdaten des Heizkraftwerks Sandreuth in Nürnberg.

	1986	1993	1999	2010
Stickoxide (kg)	881 970	238 729	299 000	227 834
Schwefeldioxid (kg)	2 056 861	195 291	174 000	4 278
Kohlenmonoxid (kg)	78 551	98 117	64 750	46 882
bereitgestellte Energie (MWh)	1 168 425	1 482 996	1 599 237	2 299 870

In den 1950er Jahren begann die Stadt Nürnberg mit dem Ausbau des Fernwärmenetzes, um Wärme aus Kraftwerken und Verbrennungsanlagen zur Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung zu nutzen. Ein unterirdisches Rohrnetz transportiert Heißwasser oder Wasserdampf an die Übergabestationen in den angeschlossenen Gebäuden. Dadurch kann Wärme mit einem hohen Wirkungsgrad gewonnen und die dabei entstehenden Abgase unter optimalen Bedingungen gereinigt werden. Am Ort der Wärmenutzung werden keine Schadstoffe freigesetzt.

Tabelle 15 zeigt die zeitliche Entwicklung des Fernwärmenetzes und der Wärmeabgabe ^{38), 39), 40), 41)}. In den letzten beiden Spalten sind die jährlichen Schwefeldioxidmengen hochgerechnet, die freigesetzt worden wären, wenn die entsprechende Wärme aus Haushaltsfeuerungsanlagen, betrieben mit Heizöl oder Steinkohlebriketts, käme ⁴²⁾.

Tabelle 15: Entwicklung der Fernwärme in Nürnberg.

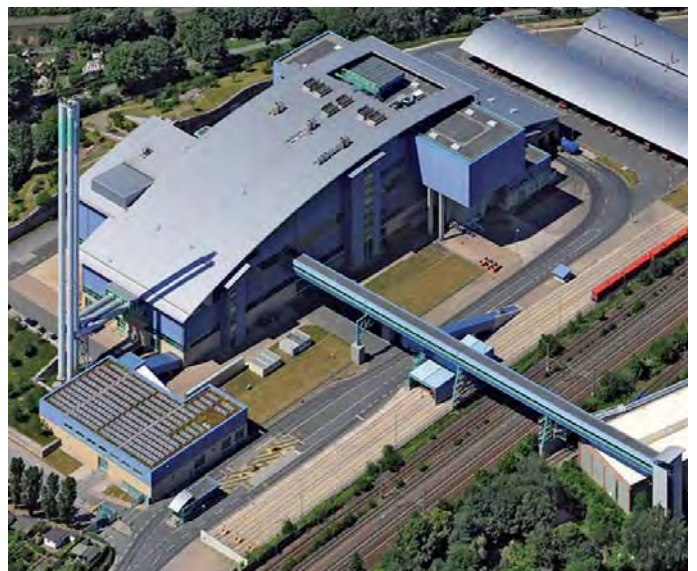
Jahr	Netzlänge	Abgabe 1000 kWh	theoretisch vermiedene SO ₂ -Emission	
	km		kg bei Heizöl	kg bei Steinkohlebriketts
1961	7,7	30 684	22 066	62 141
1971	52,7	113 755	81 807	230 374
1980		702 816	149 159	1 423 329
1990		1 072 363	227 588	2 171 728
2002	273	1 338 379	284 044	2 710 458
2010	305 *	1 377 496	202 346	2 789 677

* Dampf und Heißwasser

Wegen der erfolgreichen Vermeidungs- und Abgasreinigungs-Strategien der Verbrennungsanlagen ist inzwischen der Kfz-Verkehr die bedeutendste Quelle für Luftschadstoffe in städtischen Ballungsräumen. Zwar konnte durch technische Maßnahmen wie die Abgasuntersuchung, die Einführung des geregelten Katalysators bei Fahrzeugen mit Otto-Motor oder des Partikelfilters bei Dieselfahrzeugen der Schadstoffausstoß pro Pkw gesenkt werden. Diese Entwicklung wird aber seit Mitte der 90er Jahre kompensiert durch eine sehr viel höhere Verkehrsdichte und höhere Motorleistungen. Außerdem erreicht der Katalysator seine optimalen Bedingungen erst bei einer Betriebstemperatur von etwa 300°C. Das bedeutet, dass er bei kurzen innerstädtischen Fahrten zunächst nahezu wirkungslos ist.

Bild 8 (links): Die alte Nürnberger Müllverbrennungsanlage, in Betrieb von 1969 bis 2001 (Foto: ASN).

Bild 9 (rechts): Die neue Müllverbrennungsanlage, in Betrieb seit 2001 (Foto: ASN).



Eine weitere Ursache für die hohen Stickoxidemissionen des Kfz-Verkehrs ist der Anteil der Dieselfahrzeuge, der sich in privaten Haushalten zwischen den Jahren 2000 und 2008 um 76 % auf rund 7,7 Millionen Fahrzeuge erhöht hat, was 26,5 % des Fahrzeugbestandes entspricht ⁴³⁾. Mit dem größeren Flottenanteil der Diesel-Pkw erhöht sich aber auch der Stickoxidausstoß, wie der Vergleich der durch EU-Grenzwerte vorgegebenen Emissionsgrenzwerte für Pkw in Tabelle 16 zeigt.

Tabelle 16: Emissionsgrenzwerte für PKW.

Norm	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Inkrafttreten	Januar 2005	September 2009	Januar 2014
PKW, Benzin: Stickoxide (g/km)	80	60	60
PKW, Diesel: Stickoxide (g/km)	250	180	80

Danach ist erst ab dem Jahr 2014 mit einem deutlichen Rückgang der Stickoxidemissionen bei Diesel-Neuwagen zu rechnen. Es wird auch dann noch Jahre dauern, bis sich deren Flottenanteil so weit erhöht hat, dass er sich auf die Immissionen auswirkt. Für die Luftqualität in Nürnberg würde das bedeuten, dass an exponierten Stellen noch für mehrere Jahre mit einer Überschreitung des Grenzwertes der 39. BImSchV von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Stickstoffdioxid zu rechnen ist.

Zwar zeigen Modellrechnungen, dass etwa im Jahr 2015 gesamtstädtisch eine Unterschreitung des genannten Jahresmittelwertes für Stickstoffdioxid möglich sein könnte, wenn die geplanten Maßnahmen des Luftreinhalteplans greifen. Es ist aber fraglich, ob die Modernisierung der Fahrzeugflotte so schnell erfolgen kann und ob der Bestand an Fahrzeugen mit einem Emissionsverhalten, das schlechter ist als die Norm Euro 4, ausreichend schnell aus dem Verkehrsgeschehen verschwindet ⁴⁴⁾.

12.2 Verlauf der Immissionen

12.2.1 Stickstoffdioxid

Die kontinuierlich-stationären Stickstoffdioxidmessungen begannen in Nürnberg 1977 in der Luftmessstation Bahnhof des LfU. Die Stadt Nürnberg nahm im Jahr 1980 ein entsprechendes Messgerät in der Station Hauptmarkt in Betrieb. Seit 1983 war Stickstoffdioxid Bestandteil aller mobilen und flächendeckenden Messungen.

Der Verlauf der Jahresmittelwerte des Stickstoffdioxids an den verschiedenen Nürnberger Messstationen (Tabelle 17.7.1) zeigt keine eindeutige Tendenz. An manchen Orten ist ein Rückgang der Belastung zu beobachten, an anderen Messstellen gibt es keine Verbesserungen. Dabei müssen stets die kleinräumigen Einflüsse berücksichtigt werden: An der Station Muggenhof ist der Jahresmittelwert seit dem Jahr 2006 rückläufig. Dies fiel zeitlich zusammen mit der Schließung des AEG-Werks und dem damit verbundenen Ausbleiben des LKW-Verkehrs, der direkt an der Luftmessstation vorbei führte. Außerdem ist zu beachten, dass in den Jahren 2007 bis 2011 insbesondere während der Sommermonate häufige Niederschläge die Schadstoffimmissionen verminderten.

Wesentlich deutlicher ist eine Verbesserung der Luftqualität in der Entwicklung der flächenmäßigen Verteilung der Stickstoffdioxidbelastung zu erkennen: Bereits zwischen den Messprogrammen 1982 - 1987 (Karte 17.3.4) und 1993 - 1997 (Karte 17.3.5) ist sie im gesamten Stadtgebiet von durchschnittlich 60 auf 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gesunken, nur auf 3,8 % der untersuchten Flächen, die ausschließlich im Nürnberger Westen liegen, verschlechterten sich die Werte.

Für das Messprogramm 2002 - 2011 (Karte 17.3.6) betrug der Mittelwert über das gesamte Stadtgebiet 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Gegenüber den Messergebnissen von 1993 - 1997 hat sich auf sieben von 110 Flächen mit je einem km^2 (6 % der untersuchten Fläche) die Stickstoffdioxidbelastung erhöht. Auf vier dieser Flächen liegt die durchschnittliche Belastung über dem Grenzwert von 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Am stärksten betroffen sind mit Anstiegen um ca. 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und einer durchschnittlichen Belastung von etwa 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$:

- Im Westen das Tiefe Feld zwischen Sigmundstraße, Rothenburger Straße und Südwesttangente.
- Im Südosten die Fläche zwischen Münchener Straße und Großem Dutzendteich.

Somit zeigt der Vergleich der stationären und der flächendeckenden Messungen, dass die Stickstoffdioxidbelastung in Nürnberg zwar im Allgemeinen deutlich rückläufig war, es aber nach wie vor noch exponierte Stellen im Umfeld stark befahrener Straßen gibt, an denen nur geringe oder keine Verbesserungen eingetreten sind.

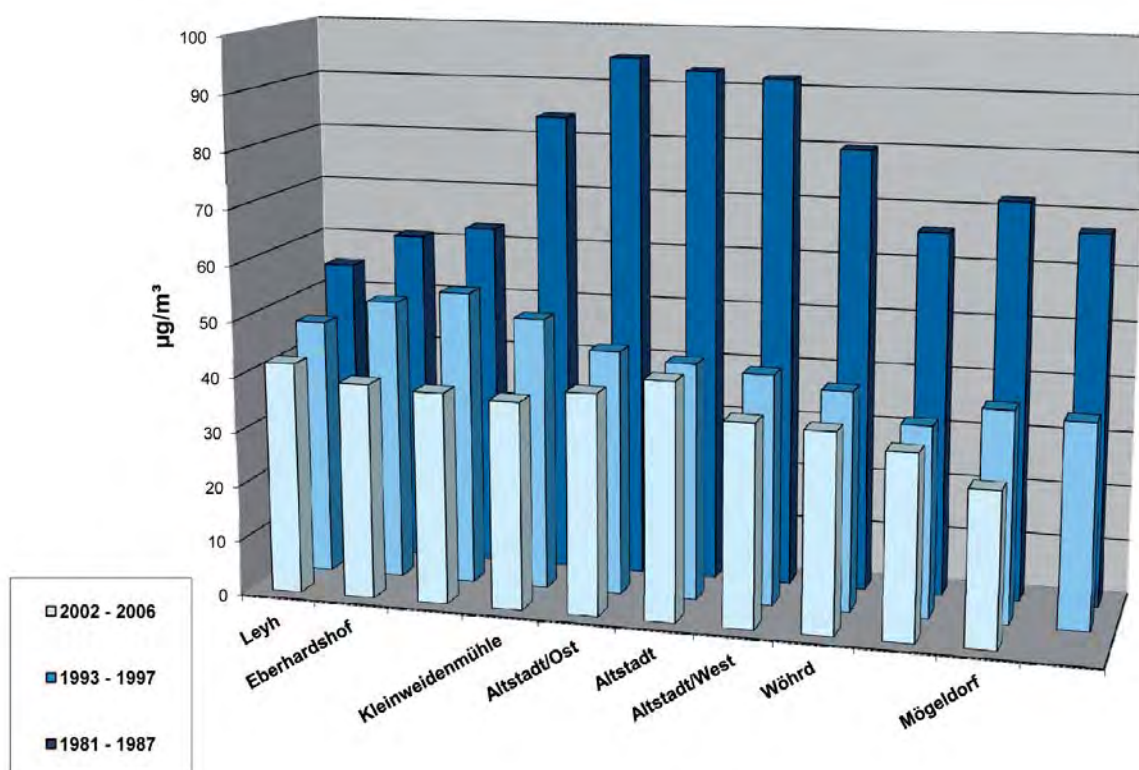
Die Ergebnisse der flächenbezogenen Messungen zeigen am Beispiel der Nürnberger Altstadt auch die Wirkung verkehrslenkender Maßnahmen auf die Luftqualität. Die Grafik 2 auf Seite 40 zeigt für die drei flächendeckenden Messprogramme jeweils den Verlauf der Stickstoffdioxid-Konzentration entlang einer 11 Kilometer langen Linie, die im Westen etwa im Stadtteil Leyh beginnt und durch Eberhardshof, Kleinweidenmühle, die nördliche Altstadt und Wöhrd verläuft, um im Osten in Mögeldorf zu enden. Die dunkelblauen Balken der hinteren Reihe zeigen den Verlauf der Stickstoffdioxid-Konzentration während der 80er Jahre. Damals stieg die Luftbelastung bei der Annäherung an die Innenstadt an, erreichte in der Altstadt die höchsten Werte des gesamten Nürnberger Stadtgebietes und fiel mit der Entfernung von der Innenstadt wieder ab.

Überraschenderweise zeigt die mittlere Reihe einen anderen Verlauf: Zwar steigt während der ersten drei Kilometer auch hier die Stickstoffdioxidbelastung leicht an, fällt dann aber ab und ist somit in der Innenstadt geringer als am westlichen Stadtrand. In Richtung zum östlichen Stadtrand nimmt sie weiter geringfügig ab.

Zwischen diesen beiden Messprogrammen haben technische Maßnahmen (Katalysator, Abgasuntersuchung) zu einer Verringerung der verkehrsbedingten Schadstoffemissionen geführt, womit sich die geringeren Werte in den westlichen und östlichen Außenbezirken erklären lassen, nicht aber der Rückgang um bis zu 53 % der Belastung in der Altstadt. Dieser Effekt lässt sich nur auf die verkehrslenkenden Maßnahmen des Schleifensystems in der Altstadt zurückführen, dessen letzte Stufe im Jahr 1988 mit der Unterbrechung der Durchfahrt des Rathausplatzes umgesetzt wurde. Dies führte zu einer deutlichen Reduzierung des Kfz-Durchgangsverkehrs. In den darauf folgenden Jahren hat sich die Luftqualität nur noch geringfügig verbessert. Die vordere Reihe lässt zwar einen weiteren leichten Rückgang der Stickstoffdioxidkonzentration erkennen, der aber auf der weiteren technischen Verbesserungen der Fahrzeugflotte beruhen dürfte.

Auch der Vergleich der Ergebnisse der jährlichen stadtweiten Querschnittszählungen bestätigt die Wirkung der verkehrslenkenden Maßnahmen. So ging die Zahl der Kraftfahrzeuge auf den Ein- und Ausfahrten der Altstadt von rund 150 000 Kfz pro 16 Stunden im Jahre 1984 um 40 % auf rund 90 000 im Jahre 2007 zurück, während an anderen Zählstellen in der Stadt im gleichen Zeitraum eine Zunahme des Verkehrs festzustellen war ^{45), 46)}. Eine Folge der geringeren Verkehrsdichte im Untersuchungsgebiet war ein geringerer Schadstoffausstoß und dadurch eine Verbesserung der Luftqualität in der Altstadt. Die zentrale Lage und die unmittelbare Nähe zum stark befahrenen Altstadtring wirkt sich jedoch auch auf die Luftqualität des Untersuchungsgebietes aus. Damit dürfte zu erklären sein, dass in der letzten Dekade die verkehrsbedingte Schadstoffkonzentration nur noch geringfügig abgenommen hat – weniger als im gesamtstädtischen Durchschnitt.

Grafik 2: Vergleich der Stickstoffdioxid-Konzentration von West nach Ost durch das Nürnberger Stadtgebiet.



12.2.2 Schwefeldioxid

Die ersten systematischen Immissionsmessungen begannen in Nürnberg in der Altstadt und konzentrierten sich, neben Staub, auf den Leitparameter Schwefeldioxid. Ein erstes kontinuierlich arbeitendes Messgerät (Löbner-Liesegang-Gerät) wurde 1963 am Standort der Chemischen Untersuchungsanstalt am Hauptmarkt installiert. Der erste Jahresmittelwert für das Jahr 1969 lag bei $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Er wurde als Durchschnitt aus den Messungen des ersten flächendeckenden Messprogramms 1969 (Karte 17.3.7) und aus ersten kontinuierlichen Messungen berechnet. Für das Jahr 1970 ließ sich ein ähnlich hoher Mittelwert von $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bereits aus den Ergebnissen der kontinuierlichen Messungen der Messstation am Hauptmarkt ermitteln (Tabelle 17.7.2). In den folgenden Jahren ging die Belastung deutlich zurück: Für die Jahre 1971 bis 1974 auf rund $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, für die Jahre 1975 bis 1980 auf rund $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ab dem Jahre 1975 gingen weitere Messstationen in Betrieb, die im Verlauf der nächsten Jahre alle die gleiche Tendenz zeigten: Einen kontinuierlichen Rückgang der Schwefeldioxidbelastung, die seit 1999 stets unter $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt.

Die drei flächendeckenden Messprogramme für das Nürnberger Stadtgebiet zeigen ebenfalls einen deutlichen Rückgang der Schwefeldioxidbelastung, der allerdings nicht einheitlich verlief. So war zwischen den Messprogrammen 1982 - 1987 (Karte 17.3.8) und 1993 - 1997 (Karte 17.3.9) zwar auf 86 % aller 1-km²-Flächen ein Rückgang zu verzeichnen, aber 2 % der Flächen blieben unverändert. Auf 12 % der Flächen, insbesondere im Innenstadtbereich, in der Südstadt und im Westen stiegen jedoch die Werte an. Erst zwischen den Messprogrammen 1993 - 1997 und 2002 - 2011 (Karte 17.3.10) gab es Rückgänge auf allen Flächen.

12.2.3 Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid wird seit 1975 in Nürnberg an der damaligen Messstation am Hauptmarkt und mit der Inbetriebnahme weiterer Messstationen auch an anderen Standorten kontinuierlich gemessen. Da die meisten technischen Maßnahmen, die zur Reduzierung der Stickoxid- und Schwefeldioxidemissionen eingeführt wurden, auch zu einem Rückgang des Kohlenmonoxid-ausstoßes beitrugen, ist die Belastung durch Kohlenmonoxid seit etwa der Mitte der 1990er Jahre in einem unbedenklichen Bereich, die gesetzlichen Grenzwerte werden deutlich unterschritten. Die Karten 17.3.11, 17.3.12 und 17.3.13 zeigen die Entwicklung der Kohlenmonoxid-Konzentrationen in den jeweiligen flächendeckenden Messprogrammen.

12.2.4 Ozon

Voraussetzungen für die Entstehung von Ozonkonzentrationen, die deutlich über der Hintergrundbelastung von ca. 40 - 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen, sind

- sommerliche Hochdruckwetterlagen mit intensiver Sonneneinstrahlung und geringem Luftaustausch und
- das Vorhandensein von sogenannten Vorläufersubstanzen. Diese Substanzen sind im wesentlichen Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen.

Das dreiatomige Sauerstoffmolekül O_3 findet jedoch gerade in anderen Luftschadstoffen Reaktionspartner. Mit ihnen reagiert es unter Bildung des zweiatomigen Sauerstoffmoleküls O_2 . Deshalb ist in Stadtgebieten und in der Nähe stark befahrener Straßen die Ozonbelastung meistens geringer als am Stadtrand und in ländlichen Regionen. Infolgedessen werden in Nürnberg in der Luftmessstation am Flughafen meistens höhere Ozonkonzentrationen gemessen als in der Innenstadt.

Die Grenz-, Ziel- und Schwellenwerte der 39. BImSchV sollen sowohl Kulturpflanzen als auch die menschliche Gesundheit schützen. Zum Schutz der Vegetation vor Ozon ist deshalb ein Zielwert von 18 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Stunden}$ als AOT 40-Wert (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb) festgelegt. Zur Ermittlung dieses Wertes werden alle 1-Stunden-Mittelwerte aufsummiert, die während der Vegetationsperiode (Mai bis Juli) über dem Grenzwert von 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (entspricht 40 ppb) liegen. Hierbei geht in die Summe lediglich die Differenz zwischen Grenzwert und gemessenem (höherem) Wert ein. Zudem werden ausschließlich die Einstundenmittelwerte zwischen 8 Uhr und 20 Uhr mitteleuropäischer Zeit (MEZ) herangezogen.

Außerdem bestimmt die 39. BImSchV zum Schutz der menschlichen Gesundheit:

- Einen Informationsschwellenwert von 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als 1-Stunden-Mittelwert, bei dessen Überschreitung schon bei kurzfristiger Exposition ein Risiko für die Gesundheit besonders empfindlicher Bevölkerungsgruppen besteht und bei dem unverzüglich geeignete Informationen erforderlich sind.
- Einen Alarmschwellenwert von 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als 1-Stunden-Mittelwert, bei dessen Überschreitung bei kurzfristiger Exposition ein Risiko für die Gesundheit der Gesamtbevölkerung besteht und unverzüglich Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Zwar konnten während der letzten Jahrzehnte Deutschland- und Europaweit die Emissionen der Vorläufersubstanzen gesenkt werden, die erhoffte Verringerung der sommerlichen Ozonbelastung ist aber weitgehend ausgeblieben. Wenn geringere Ozonwerte während der Sommermonate gemessen wurden, war das in erster Linie auf kühle und feuchte Wetterverhältnisse zurückzuführen. Das zeigt sich auch im Jahresvergleich der sommerlichen Ozonbelastung in Nürnberg, wo Ozon seit 1988 in der Innenstadt und seit 1995 in der Messstation am Flugfeld gemessen wird. So wurde im Jahr 2010 in der Zeit vom 24. Juni bis zum 22. Juli fast täglich der Grenzwert von 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (als gleitender Acht-Stunden-Mittelwert) überschritten. Am 2. Juli 2010 wurde mit 228 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ der zweithöchste Ein-Stunden-Mittelwert seit Inbetriebnahme der Messstation am Flugfeld im Jahre 1995 gemessen.

Die Tabelle 17 zeigt, dass bei Gültigkeit der aktuellen Grenzwerte in den Jahren 2003 bis 2007 die Durchschnittswerte der Überschreitungstage und in den Jahren 2006, 2007, 2009 und 2010 der AOT-Wert überschritten worden wäre.

Tabelle 17: Auswertung der Ozonmesswerte seit 2000 der Messstation Flugfeld, entsprechend 39. BImSchV.

Jahr	Tage mit Überschreitungen	Mittelwert über 3 Jahre	AOT40-Wert ($\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$)	Mittelwert über 5 Jahre ($\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$)
2000	26		17 600	
2001	25		15 305	
2002	16	22	14 356	
2003	53	31	22 422	
2004	16	28	9 723	15 885
2005	22	30	18 528	16 071
2006	48	29	34 210	19 852
2007	15	28	11 263	19 233
2008	12	25	15 452	17 835
2009	17	15	15 853	19 061
2010	39	23	25 187	20 393
2011	18	25	12 575	16 066
Grenzwert		25		18 000

12.2.5 Staub

Bereits während des ersten flächendeckenden Immissionsmessprogramms im Jahre 1969 wurden in Nürnberg der Staubbiederschlag sowie einige seiner Inhaltsstoffe gemessen. Im Jahr 1975 begann die kontinuierliche Erfassung des Gesamt-Schwebstaubs in Nürnberg. Mit der Umsetzung der EU-Richtlinien 1999/30/EG und 2008/50/EG ersetzen die als PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$ bezeichneten Staubfraktionen mit Durchmessern kleiner $10\text{ }\mu\text{m}$ und kleiner $2,5\text{ }\mu\text{m}$ den Parameter Schwebstaub.

Im Verlauf der Jahresmittelwerte des Staubes an der Messstation Hauptmarkt (Tabellen 17.7.5 und 17.7.6) ist ab Beginn der Messungen im Jahr 1979 ein Rückgang von ca. $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf einen Konzentrationsbereich von etwa 20 bis $25\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ seit Mitte der 1990er Jahre zu erkennen. Damit wird der Grenzwert für PM_{10} als Jahresmittelwert von $40\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich unterschritten. Es kann aber an exponierten Stellen im Stadtgebiet, beispielsweise im Umfeld der Messstation Von-der-Tann-Straße, zu kurzfristigen Überschreitungen des Grenzwertes von $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ als Tagesgrenzwert kommen, die für bis zu maximal 35 Überschreitungstage pro Jahr zu tolerieren sind.

12.2.6 Metalle im Staub

Hauptemittenten von Metallen sind Feuerungsanlagen, metallverarbeitende Industrie, Zement- und Glasindustrie, Müllverbrennungsanlagen, aber auch der Kraftfahrzeugverkehr. Hochwirksame Staubminderungsmaßnahmen und die Einführung von bleifreiem Benzin haben bereits Ende der 1980er Jahre zu einem Rückgang der Luftbelastung durch Metalle geführt.

Das wird auch in der folgenden Tabelle 18 deutlich, die den Metallgehalt im Schwebstaub und im Staubbiederschlag der Messprogramme 1981 - 1987 und 1993 - 1997 auf einer Fläche von 16 Quadratkilometern (siehe 17.4) vergleicht. Insbesondere beim Blei ist ein starker Rückgang um beinahe 80 % zu beobachten, aber auch alle anderen Metalle sind in nahezu allen Fällen rückläufig.

Von großer Bedeutung ist, dass im gleichen Zeitraum der Blutbleigehalt der Bevölkerung – vor allem bei den als besonders sensibel gegenüber Bleibelastungen geltenden Kindern – zurückgegangen ist. Dies zeigen entsprechende bayernweite Messprogramme. Die gesetzlichen Regelungen haben also zu einer deutlichen Verringerung von gesundheitlichen Risiken geführt.

Tabelle 18: Vergleich der durchschnittlichen Staubbelastung in den 1980er und 1990er Jahren.

Parameter	Messprogramm 1981 - 1983 Mittelwert	Messprogramm 1993 - 1997 Mittelwert	Grenzwerte nach TA Luft
Schwermetalle im Schwebstaub ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
Blei	0,304	0,043	2,0
Cadmium	0,005	0,003	0,04
Schwermetalle im Staubbiederschlag ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)			
Blei	121,7	30,5	250
Cadmium	1,6	0,5	5
Kupfer	57,2	52,0	
Zink	292,2	115,5	

Seit dem Jahre 2000 wird in der Messstation Bahnhof des LfU der Blei- und seit 2007 der Cadmiumgehalt der PM_{10} -Fraktion des Schwebstaubs gemessen (siehe Tabelle 17.7.7). Zwar kann man diese Untersuchungen nur eingeschränkt mit denen des Gesamtstaubs vergleichen, die Ergebnisse lassen aber vermuten, dass die Umweltbelastung beider Metalle weiter zurückgegangen ist. Die Grenz- und Zielwerte der 39. BImSchV werden mit großem Abstand unterschritten.

Dagegen zeigen die Ergebnisse der Metalluntersuchungen in standardisierten Graskulturen der Jahre 1993 und 1996 (siehe 11.2.2, Tabelle 8) ein weniger einheitliches Bild, denn es ist kein gemeinsamer Trend für alle Metalle festzustellen. Auffällig ist dort der hohe Wert für Mangan im Jahr 1996, für den es allerdings keinen plausiblen Grund gibt.

12.2.7 Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD / PCDF)

Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD / PCDF) können sich beim Verbrennen von organischem Material in Anwesenheit von Chlor im Temperaturbereich von 300 bis 700 °C oder aus Vorläufersubstanzen wie z.B. Chlorphenolen bilden. Es gibt insgesamt 75 verschiedene chlorierte Dibenzodioxine und 135 Dibenzofurane (Kongeneren) von unterschiedlicher Toxizität, die in unterschiedlichen Konzentrationen in einer Probe enthalten sein können. Um die Toxizität verschiedener Gemische miteinander vergleichen zu können, wurden Toxizitätsäquivalente (TE) hergeleitet. Diese setzen die Toxizität des jeweiligen Kongeners mit dem giftigsten Dioxin in Relation. Dies ist das sogenannte Seveso-Dioxin (3,4,7,8-TCDD), dem der Faktor 1 zugeordnet wurde. Es gibt drei unterschiedliche Ermittlungsweisen der Toxizitätsäquivalente, die sich im Ergebnis geringfügig unterscheiden können: Nach BGA (ehemaliges Bundesgesundheitsamt), nach NATO (TE-I) und seit 1997 die Toxizitätsäquivalente der Welt-Gesundheitsorganisation (WHO).

Die wesentlichen Dioxinquellen in Nürnberg waren die alte Müllverbrennungsanlage, die thermische Klärschlammmentwässerung ⁴⁷⁾, verschiedene metallverarbeitende Industriebetriebe, Ofenheizungen, der Kfz-Verkehr (wegen halogenierter Additive im Kraftstoff) sowie Sportplätze mit kieselrothaltigem Belag. Gesetzliche Maßnahmen wie der Erlass der 19. BImSchV (Verbot chlor- und bromhaltiger Kraftstoffzusätze) und der 13. BImSchV (Emissionsgrenzwert für Verbrennungsanlagen für PCDD / PCDF von 0,1 ng I-TEQ /Nm³) sowie lokale Maßnahmen wie der Neubau der Müllverbrennungsanlage, der Ausbau des Fernwärmenetzes und die Sanierung kieselrothaltiger Sportplätze haben inzwischen einen drastischen Rückgang von Emissionen und Immission bewirkt ⁴⁸⁾.

Der im Auftrag des LfU 1988 durchgeführte Vergleich der Dioxinkonzentration in Fichtennadeln in verschiedenen bayerischen Städten (Kapitel 11.2.3), zeigte in Nürnberg mit 4,5 ng TE(BGA)/kg eine mehr als dreimal höhere Belastung als in den übrigen Städten. 1993 wurde im Rahmen der Umweltverträglichkeitsuntersuchung für die neue Müllverbrennungsanlage eine mittlere Dioxinbelastung von 0,71 ng TE-I/kg in Fichtennadeln gefunden (siehe Tabelle 11, Seite 34). Dies ist ein erheblicher Rückgang der Belastung im Vergleich zur Untersuchung aus dem Jahre 1988 – auch wenn sich die Berechnung der Toxizitätsäquivalenten nach TE-I geringfügig von der Berechnung nach BGA unterscheiden kann.

Die im Jahre 1993 im Auftrag der Stadt Nürnberg vom TÜV und die im Jahre 2005 vom LfU durchgeführten Untersuchungen von standardisierten Graskulturen lassen sich nur sehr eingeschränkt miteinander vergleichen, da sich erstere auf Wohngebiete und emittentenferne Stadtrandgebiete und letztere auf das unmittelbare Umfeld eines industriellen Emittenten bezogen. Die Studie des LfU hat aber gezeigt, dass bei Störfällen immer noch erhebliche Mengen an PCDD / PCDF freigesetzt werden können.

Bei der 1992 / 1993 durchgeführten bayernweiten Untersuchung von PCDD / PCDF in der Außenluft ⁴⁹⁾ wurden Außenluftproben an 13 Messorten, die nicht von einem potentiellen Emittenten beeinflusst waren sowie an 20 Messorten im Umfeld eines möglichen Emittenten genommen. Die Standorte Nürnberg Hafen (emittentenbezogener Messpunkt) und Nürnberg Innenstadt (unbeeinflusster Messort) waren hierin einbezogen. Ergebnisse der Untersuchung zeigt Tabelle 19.

Tabelle 19: Untersuchung von PCDD / PCDF in der Außenluft 1992 / 1993.

Messort (Anzahl)	Min - Max fg TE-I/m ³	Durchschnitt fg TE-I/m ³
Alle, unbeeinflusst (13)	12 - 37	
Alle, emittentenbezogen (20)	12 - 67	
Nürnberg, Hafen	18 - 49	31
Nürnberg, Hauptmarkt	4 - 85	29
München, Effnerplatz	6 - 52	21

Bei der Umweltverträglichkeitsuntersuchung 1993 / 1994 wurden außer Bioindikatoren auch Außenluftproben auf PCDD / PCDF untersucht, unter anderem am Ritter-von-Schuh-Platz und am Kindergarten Tunnelstraße (Tabelle 20).

Tabelle 20: Untersuchung von PCDD / PCDF in der Außenluft 1993 / 1994.

Messort	Messzeitraum	Messwerte fg TE-I/m ³
Ritter-von-Schuh-Platz		
	23.06. – 22.07.1993	8,31
	05.10. – 03.11.1993	57,51
	12.01. – 10.02.1994	58,32
	07.04. – 05.05.1994	27,23
	Mittelwert	37,84
Kindergarten Tunnelstraße		
	23.06. – 22.07.1993	7,65
	05.10. – 03.11.1993	38,32
	12.01. – 10.02.1994	79,83
	07.04. – 05.05.1994	30,38
	Mittelwert	39,05

Die Ergebnisse in Tabelle 19 zeigen, dass nur geringe Unterschiede zwischen unbeeinflussten, ländlichen und emittentenbezogenen bzw. städtischen Messorten gefunden wurden. Die in Tabelle 20 aufgeführten Werte liegen leicht darüber. Beide Untersuchungsprogramme lassen erkennen, dass schon damals der vom Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) im Jahr 2004 festgesetzte Zielwert von 150 fg WHO-TEQ/m³ (Jahresmittelwert) in Nürnberg unterschritten wurde. Bei PCDD / PCDF-Messungen in der Außenluft im Rhein-Ruhr-Gebiet aus dem Jahr 1998 wurden Jahresmittelwerte von bis zu 332 fg TE-I/m³ gefunden ⁵⁰⁾.

12.2.8 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Als Produkte unvollständiger Verbrennung von organischem Material können polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) im Rauch oder als Staubinhaltsstoffe in der Umwelt verteilt werden. Einige PAK sind als krebserregend eingestuft und stellen ein erhebliches Gesundheitsrisiko dar. Für Benz-a-pyren (BaP) als Leitsubstanz der PAK wurde in der 39. BImSchV ein Zielwert von 1 ng/m^3 im PM_{10} -Feinstaub festgelegt. In Tabelle 21 ist die PAK-Außenluftkonzentration aus verschiedenen Untersuchungsprogrammen angegeben ⁵¹⁾.

Tabelle 21: PAK-Konzentration in der Außenluft aus verschiedenen Messprogrammen.

Messzeitraum	Hauptmarkt	Ritter-von-Schuh-Platz	Kindergarten Tunnelstraße	Merianstraße 1
11/1981-10/1982	3,96			
11/1982 - 10/1983	2,69			
11/1983 - 10/1984	3,28			
22./23.07.1993		0,21	0,17	
3./4.11.1993		2,24	2,10	
11./12.1.1994		1,40	1,51	
5./6.5.1994		0,57	0,48	
18.03.2009				< 0,71

Messwerte: BaP-Wert in ng/m^3

Zwischen den Messprogrammen 1981 - 1984 und 1993 / 1994 sind die BaP-Immissionen um rund 90 % zurückgegangen. Sie liegen inzwischen unter der Nachweisgrenze von $0,7 \text{ ng/m}^3$. Seit 2008 wird in der LfU-Messstation Bahnhof BaP als PM_{10} -Inhaltsstoff untersucht (siehe Tabelle 17.7.7). Diese Messergebnisse für den Gesamt-Schwebstaub lassen sich zwar nur eingeschränkt mit denen aus Tabelle 21 vergleichen, die sich auf die Außenluft beziehen, sie bestätigen aber, dass der Zielwert der 39. BImSchV unterschritten wird.

12.2.9 Benzol

Seit dem Messprogramm zur Sperrung des Rathausplatzes 1988 / 1989 wird Benzol bei allen Messprogrammen mit erfasst. Seit 1995 wird Benzol an der Messstation auf dem Flughafengelände kontinuierlich gemessen, so dass der Verlauf der Benzolkonzentration in der Nürnberger Außenluft während der letzten beiden Jahrzehnte gut nachvollzogen werden kann.

Erste Benzolmessungen in der Außenluft während der Messprogramme „Sperrung Theresienstraße“ 1988 / 1989 und „Schweinau“ 1991 / 1992 ergaben flächenbezogene Mittelwerte von rund $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ und 1-Stunden-Spitzenwerte von bis zu $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Dies war damals für städtische Gebiete mit hoher Verkehrsdichte typisch. Das flächendeckende Messprogramm 1993 / 1997 kam zwar zu einem niedrigeren Mittelwert von $5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. In diesen flossen aber auch die Werte von Messpunkten in Stadtrandlage ein. Er ist deshalb nicht repräsentativ für stark befahrene Straßen. So wurde auch für das GVZ-Messprogramm des Jahres 1994 ein Mittelwert von rund $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ errechnet. Im Messprogramm Kleinreuth/Höfen 1998 lag der Flächenmittelwert noch bei $7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Erst beim Luftmessprogramm im Umfeld des Frankenschnellwegs 2002 / 2003 war der Rückgang der Immission zu erkennen, die Werte lagen auch bei straßennahen Messstellen unter $4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

12.2.10 Weitere Schadstoffe

Für leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe wie Toluol oder die Xylole und leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe wurden zwar keine Immissionsgrenzwerte für die Außenluft festgelegt, dennoch sind sie für den Umweltschutz relevant und wurden in Messprogrammen oder an Messstationen erfasst.

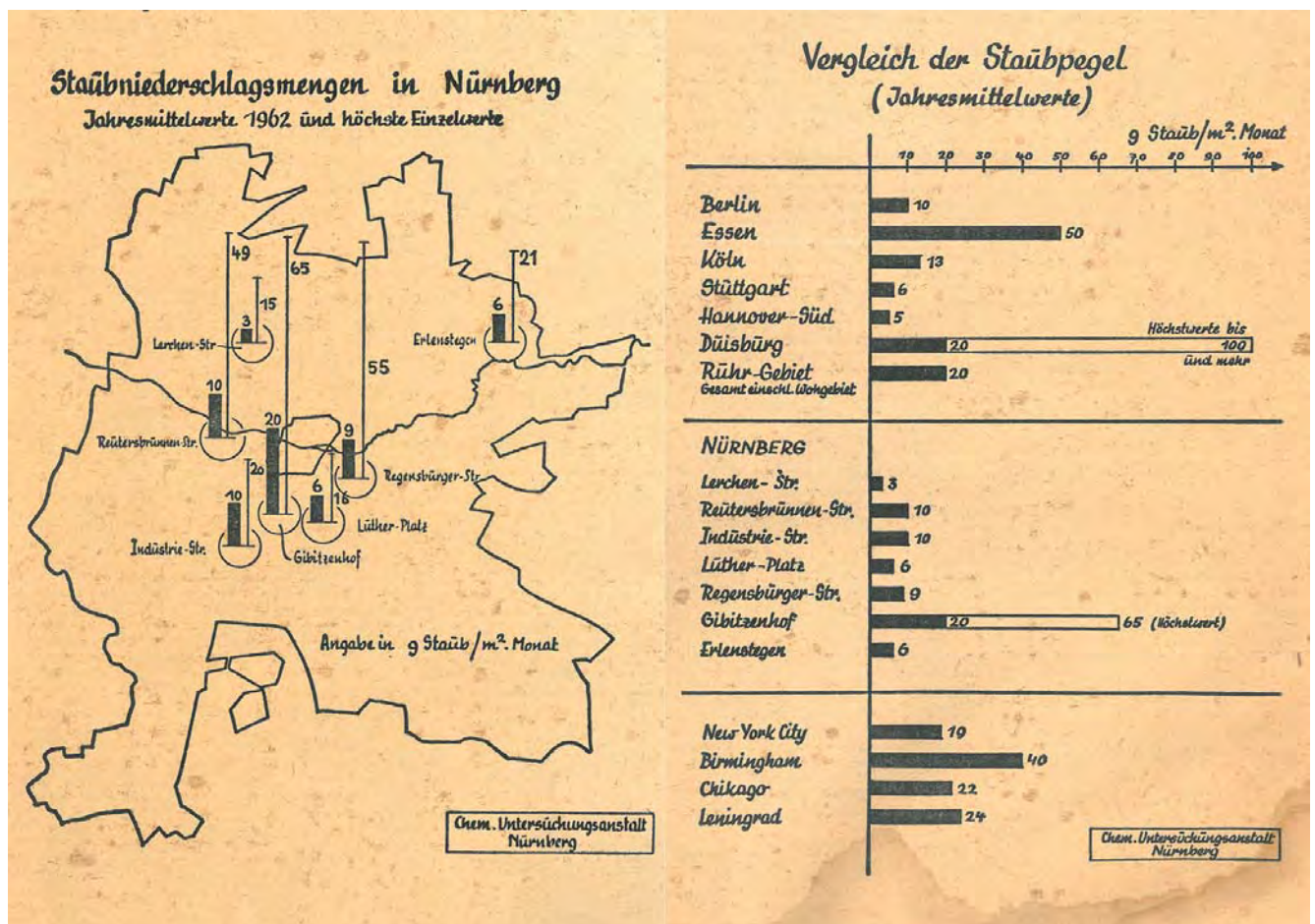
Toluol und Xylole haben ähnliche physikalische und chemische Eigenschaften wie Benzol, gelten aber nicht als krebserregend. Toluol wird deshalb oft als Benzol-Ersatzstoff, insbesondere als Lösungsmittel eingesetzt. Sowohl Toluol als auch die Xylole sind im Kraftstoff enthalten und werden hauptsächlich durch den Kfz-Verkehr in die Umwelt eingetragen. Ähnlich wie im Falle des Benzols lässt sich auch bei Toluol und den Xylenen ein Rückgang der Immission beobachten: Während im Messprogramm „Sperrung Theresienstraße“ 1988 / 1989 noch durchschnittliche flächenbezogene Konzentrationen von ca. jeweils $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gefunden wurden, lag die Außenluftbelastung an stark befahrenen Straßenabschnitten in den Jahren 2002 und 2003 bei 8 bis $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Auffällig ist aber die im flächendeckenden Messprogramm 2002 - 2011 im Südosten des Nürnberger Stadtgebietes gefundene, überdurchschnittlich hohe Toluolbelastung über eine Fläche von mindestens 6 Quadratkilometern, deren Ursache noch nicht eindeutig ermittelt werden konnte (siehe Karte 17.5).

Von den leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen waren in erster Linie die Komponenten Trichlorethen („Tri“) und Tetrachlorethen („Per“) wegen ihres Einsatzes als Lösungsmittel in der Metallentfettung und bei chemischen Reinigungen problematisch, denn beide gelten als krebserregend. Wegen der hohen Flüchtigkeit konnten sich die beiden Stoffe im Umfeld ihres Einsatzortes ausbreiten und wegen ihrer guten Fettlöslichkeit in fetthaltigen Lebensmitteln anreichern, weshalb für Tetrachlorethen ein Grenzwert von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für die Innenraumluft in der Nachbarschaft von chemischen Reinigungen gilt (2. BImSchV vom 10. Dezember 1990)³¹⁾. Durch Verbesserung der Anlagentechnik wie zum Beispiel den Einsatz von geschlossenen Systemen oder durch Verwendung weniger gefährlicher Ersatzstoffe ließ sich auch die Immission von Tri und Per in der Außenluft deutlich reduzieren. So wurden im Messprogramm Schweinau 1991 / 1992 für Tri Flächenmittelwerte von bis zu $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für Per von bis zu $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gefunden. Zehn Jahre später wurden bei einem Immissionsmessprogramm des LfU (siehe Kapitel 10.2) bei stichprobenartigen Messungen an ausgewählten Orten im Stadtgebiet von $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Tri und $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Per gefunden³⁰⁾.

13 Nürnberg im Vergleich mit anderen Städten

Bereits seit Beginn systematischer Außenluftmessungen in den 1950er Jahren wurde versucht, durch einheitliche Messmethoden und Parameter vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, die dann auch einheitlich bewertet werden können. Nur so war es möglich, Gebiete mit hoher Luftbelastung zu identifizieren und den Erfolg von Maßnahmen zu überprüfen. Ein erster, von der Chemischen Untersuchungsanstalt zusammengestellter Vergleich der Nürnberger Luftdaten mit denen anderer Städte wurde im Amtsblatt der Stadt Nürnberg vom 16. Mai 1963 veröffentlicht (siehe Grafik 3).

Grafik 3: Vergleich von Luftmessdaten des Jahres 1963 (Amtsblatt der Stadt Nürnberg).



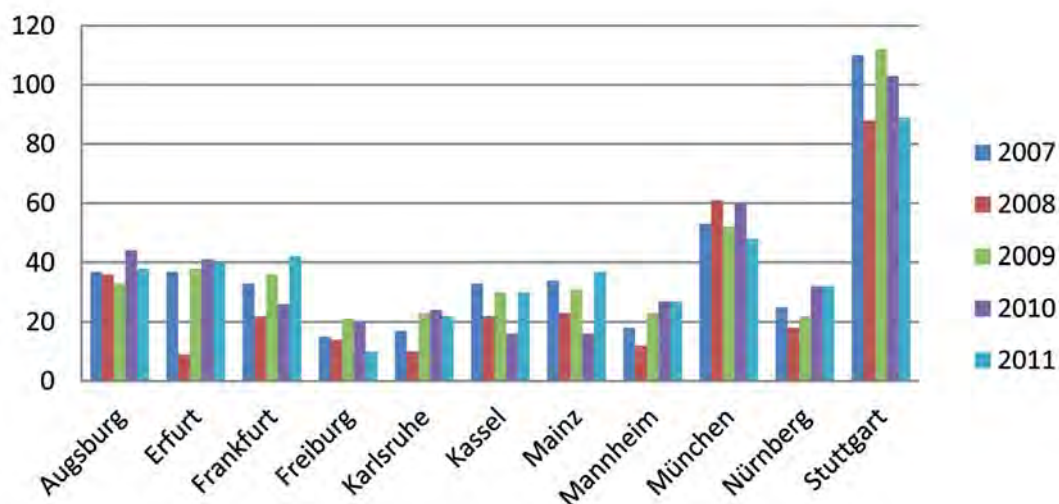
Die höchsten Jahresmittelwerte des Staubniederschlags wurden demnach in Essen und Birmingham gefunden. Abgesehen von der Messstelle Gibitzenhof lagen die Nürnberger Werte damals unter denen des Ruhrgebietes.

Allerdings hat sich innerhalb der letzten 50 Jahre sowohl die Belastung der Außenluft in den westeuropäischen Städten als auch deren immissionschutzrechtliche Bewertung grundlegend geändert. Heute sind es im innerstädtischen Bereich in erster Linie die Parameter Stickstoffdioxid und PM_{10} (Feinstaub), die im Bereich der Grenzwerte liegen oder diese überschreiten.

Grafik 4 zeigt die Überschreitungen des Feinstaub-Tagesgrenzwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für elf süd-deutsche Städte während der Jahre 2007 bis 2011. Dabei lassen sich unterschiedliche Immissionssituationen erkennen:

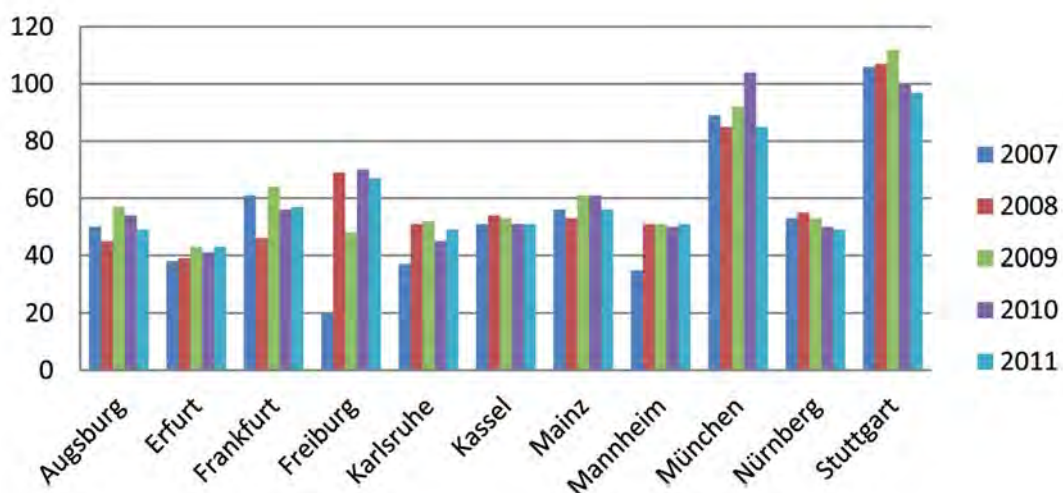
1. Städte, die in allen fünf Jahren an deutlich mehr als 35 Tagen den Tagesgrenzwert überschreiten (Stuttgart mit der höchsten Überschreitungshäufigkeit, gefolgt von München).
2. Städte, die in mindestens zwei Jahren mehr als 35 Überschreitungen hatten (Augsburg, Erfurt und Frankfurt).
3. Städte, die in allen fünf Jahren an geringfügig weniger als 35 Tagen den Grenzwert überschritten haben (Kassel, Mainz und Nürnberg).
4. Städte mit deutlich weniger als 35 Überschreitungstagen (Freiburg, Karlsruhe, Mannheim).

Grafik 4: Überschreitungshäufigkeit Feinstaub PM_{10} (Tage pro Jahr). Tolerierbar sind 35 Überschreitungen.



Völlig anders sind die Verhältnisse bei der Höhe der Luftbelastung durch Stickstoffdioxid in Bezug zum Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittelwert in Grafik 5: Zwar heben sich auch hier die Städte Stuttgart und München von den übrigen ab, aber der Grenzwert wird in allen Städten überschritten. Auch dort, wo wie beispielsweise in Freiburg die PM_{10} -Belastung vergleichsweise gering ist, werden Stickstoffdioxidwerte über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittelwert erreicht.

Grafik 5: Jahresmittelwerte Stickstoffdioxid NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

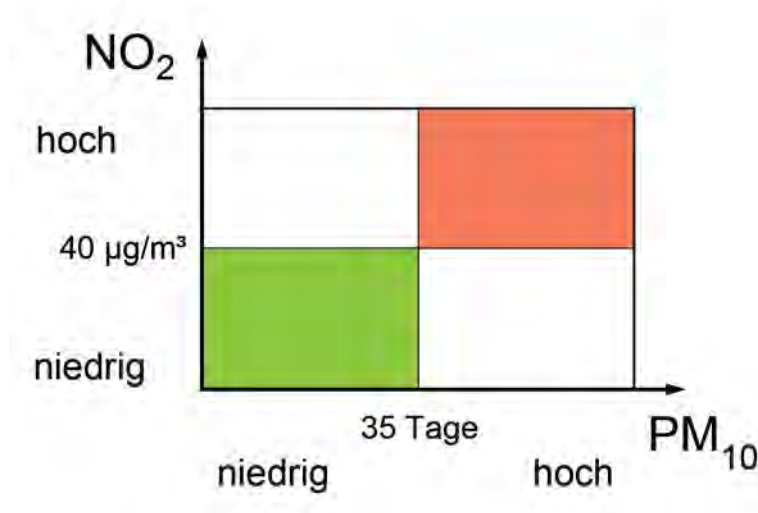


Wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, spielen bei der Immissionsbelastung von Schadstoffen geografische und meteorologische Verhältnisse eine wesentliche Rolle. So wird sich beispielsweise in Stuttgart auf Grund der Lage in einem Talkessel mittelfristig die Luftbelastung nur wenig ändern. Eine norddeutsche Stadt in Küstennähe (zum Beispiel Hamburg, hier nicht aufgeführt) wird dagegen bei ähnlichem Verkehrsaufkommen keine Probleme mit den Feinstaubwerten sowie eine deutlich geringere Stickstoffdioxidbelastung haben.

Die geografischen Verhältnisse sind demnach ein Grund, dass in Nürnberg im Vergleich mit süddeutschen Städten die Feinstaubbelastung (PM_{10}) bisher im tolerierbaren Bereich blieb. Die Stickstoffdioxidbelastung liegt an exponierten Stellen zwar über dem Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aber noch in einem Konzentrationsbereich, der für Städte dieser Größenordnung beim heutigen Verkehrsaufkommen offensichtlich unvermeidlich ist.

Ein genaueres Bild dieser Zusammenhänge liefert eine vom Umweltamt der Stadt Nürnberg entwickelte Darstellung, welche die Parameter Stickstoffdioxid und Feinstaub gemeinsam betrachtet. Stickstoffdioxid wird hierbei als Jahresmittelwert, Feinstaub als Anzahl der Überschreitungen des PM_{10} -Tagesmittelwertes ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) angegeben ⁵²). Das Bewertungsschema ist in Grafik 6 dargestellt.

Grafik 6: Bewertungsschema für Stickstoffdioxid- und Feinstaub-Belastung.



Im Sinne des Diagramms der Grafik 6 besteht die umweltpolitische Herausforderung zur Sicherung nachhaltig guter Luftqualität darin, die Belastung mit Stickstoffdioxid und Feinstaub im gesamten Stadtgebiet so weit abzusenken, dass dauerhaft alle Messwerte aus der Fläche rechts oben in die grüne Fläche verschoben werden. Es ist jedoch noch in keiner Stadt gelungen, die Luftgütesituation in diesem Sinne, also unter nachhaltiger Absenkung beider Schadstoffe gleichzeitig, dauerhaft zu verbessern. Dies zeigt die Untersuchung des Umweltamtes der Stadt Nürnberg, in die 35 Städte einbezogen waren.

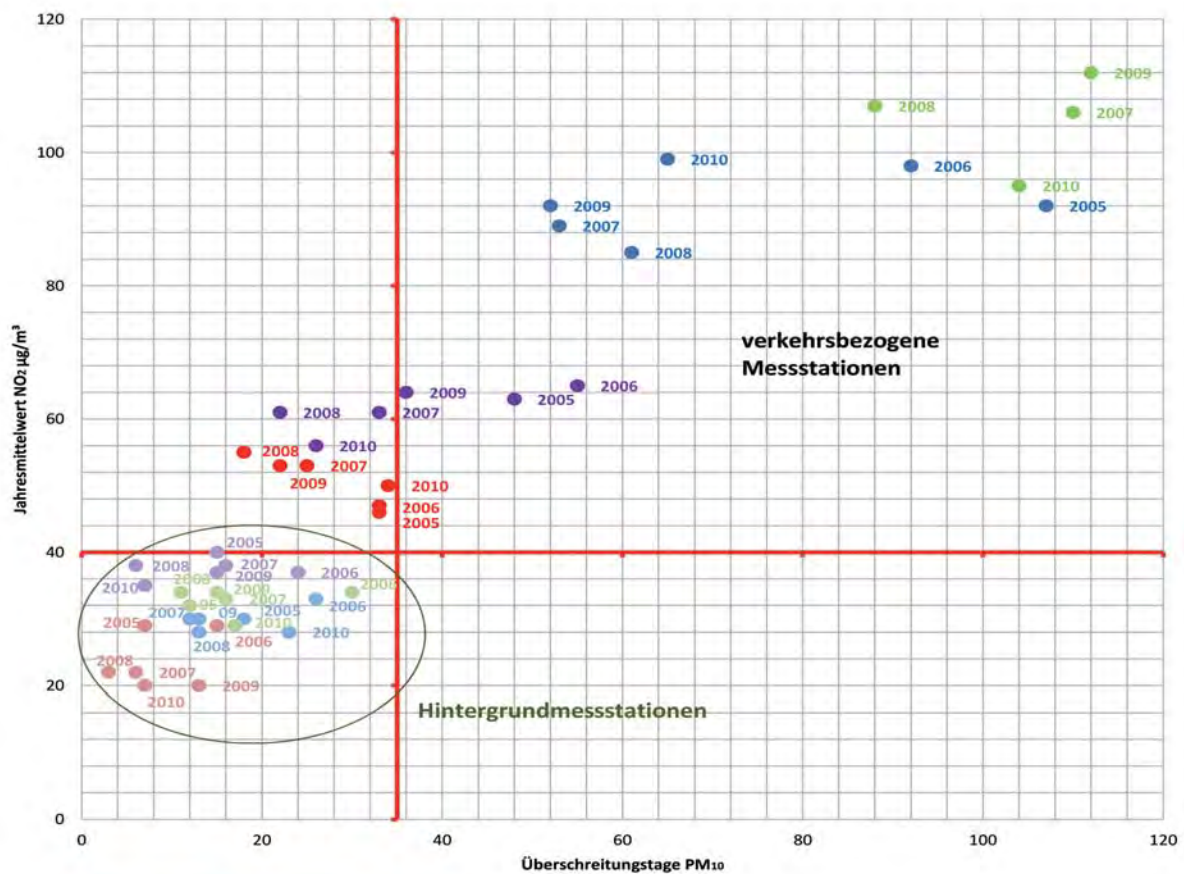
13 Nürnberg im Vergleich mit anderen Städten

Die Darstellung in Grafik 7 betrachtet die Städte Stuttgart, München, Frankfurt und Nürnberg. Bei den Messwerten aus den Jahren 2005 bis 2010 zeigt sich folgendes Bild:

- An Messstationen, welche die regionale Hintergrundbelastung erfassen (in Nürnberg die Messstation am Flughafen), werden die Luftgütegrenzwerte in allen Städten eingehalten.
- An der jeweils höchstbelasteten, verkehrsbezogenen Messstation (in Nürnberg die Messstation Von-der-Tann-Straße), treten Grenzwertüberschreitungen in allen Städten auf.

In München und Stuttgart liegen diese Überschreitungen auf einem Niveau, das in etwa doppelt so hoch liegt wie in Nürnberg. Frankfurt weist insbesondere bei der Feinstaubbelastung wesentlich höhere Werte als Nürnberg auf und liegt beim Stickstoffdioxid etwas über dem hiesigen Niveau.

Grafik 7: Vergleich der Stickstoffdioxid- und Feinstaub-Belastung in süddeutschen Städten > 500 000 Einwohner.

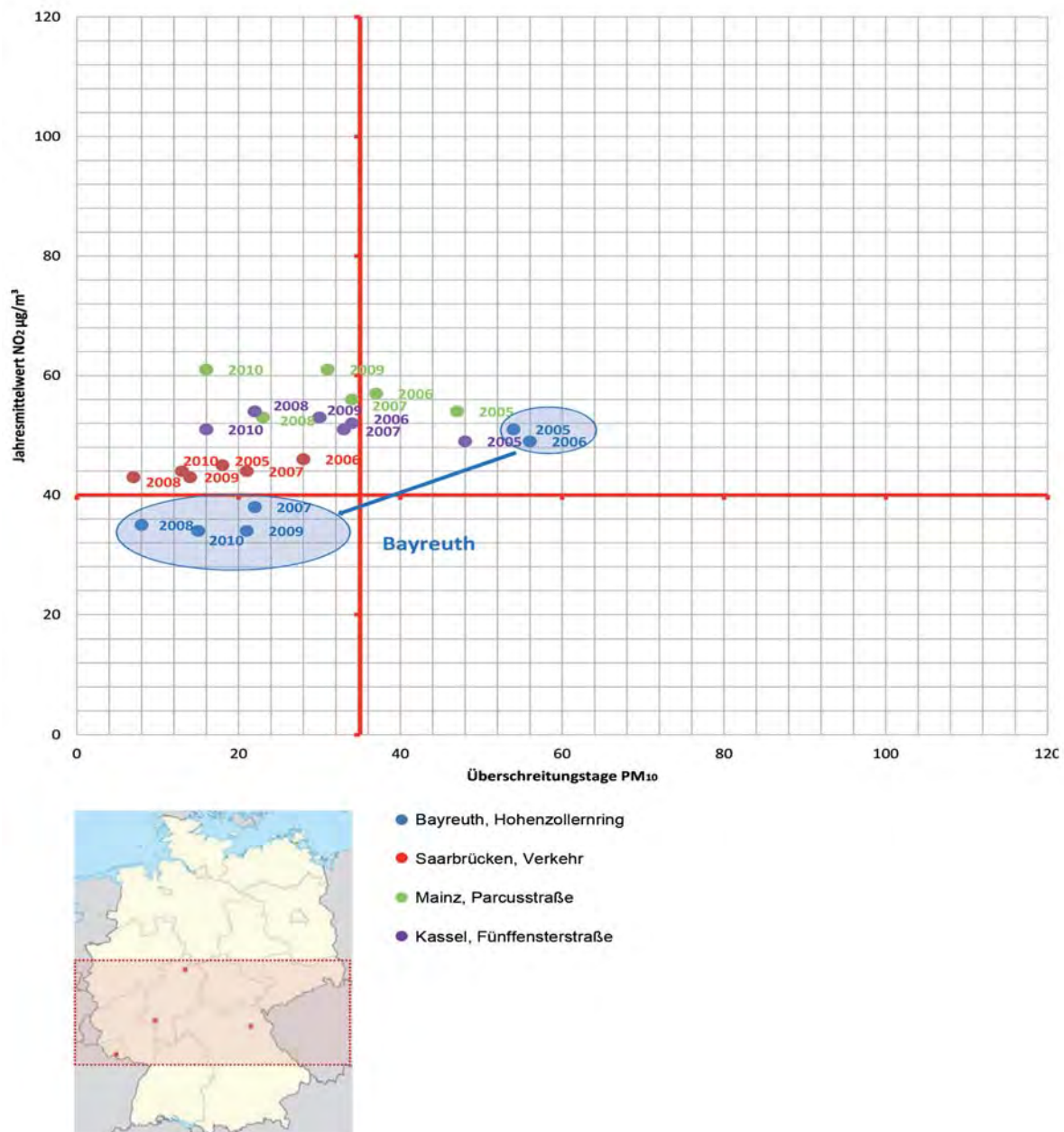


- München, Landshuter Allee
- München, Johanneskirchen (Hintergrund)
- Nürnberg, Bahnhof / Von-der-Tann-Straße
- Nürnberg, Flugfeld (Hintergrund)
- Stuttgart, Am Neckartor
- Stuttgart, Bad Cannstatt (Hintergrund)
- Frankfurt a.M., Friedberger Landstraße
- Frankfurt a.M. Ost (Hintergrund)

Die Grafik 8 zeigt die etwas günstigeren Verhältnisse in Städten mit weniger als 300 000 Einwohnern. Auch dort kommt es zum Teil zu Grenzwertüberschreitungen. Insgesamt gesehen ist das Belastungsniveau jedoch niedriger als in den größeren Städten.

Eine bemerkenswerte Ausnahme ist aus Bayreuth dokumentiert. Dort lag die Messstation am viel befahrenen Hohenzollernring, direkt neben einem Wendepunkt verschiedener Buslinien, an dem erhebliche Rangier-Manöver erforderlich waren. Nach Verlagerung der Busstation zum Hohenzollernplatz und dessen Ausbau mit einer Wendeschleife zur flüssigen Abwicklung des Wendeverkehrs verblieb die Messstation am ursprünglichen Ort und ist nunmehr deutlich geringeren Emissionen der Linienbusse ausgesetzt. Die Messwerte haben sich tatsächlich aus dem roten in den grünen Quadranten verschoben, allerdings hat auch eine Verlagerung der Belastung stattgefunden.

Grafik 8: Vergleich der Stickstoffdioxid- und Feinstaub-Belastung in mitteldeutschen Städten < 300.000 Einwohner.



14 Der Nürnberger Luftinformationsdienst

Mitte der 1980er Jahre entstand in der Öffentlichkeit ein wachsender Informationsbedarf über die lufthygienischen Verhältnisse. Anlass war die vom Freistaat Bayern am 23. Januar 1985 erlassene Smog-Verordnung, in der klare Regeln für die Feststellung gesundheitsgefährdender Luftbelastungsverhältnisse sowie zur Einführung betriebs- und verkehrsbeschränkender Maßnahmen festgelegt wurden. Im Sinne eines Frühwarnsystems hat der Nürnberger Stadtrat dann am 19. Februar 1986 eine zusätzliche Nürnberger Vorwarnstufe eingeführt, mit der die Verwaltung zu einer Information der Öffentlichkeit über die Luftbelastungssituation verpflichtet war. Dies konnte mit den bis zu diesem Zeitpunkt praktizierten schriftlichen Informationen über die Tageszeitungen nicht mehr gewährleistet werden.

Seit Anfang 1987 wurde daher ein gemeinsam vom Umweltschutzamt und dem Chemischen Untersuchungsamt betriebener telefonischer Ansagedienst eingerichtet. Dieser täglich aktualisierte Ansagedienst erwies sich als sachgerecht, solange die Luftbelastung mit Schwefeldioxid der für die Luftgüte und die Auslösung von Smog-Alarm entscheidende Faktor war. Mit der Durchsetzung von Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen an Schwefeldioxid und Staub hat aber Ende der 1980er Jahre diese Art des Smogs („Winter-Smog“) an Bedeutung verloren. Seit Anfang der 1990er Jahre ist in Deutschland kein Wintersmog-Ereignis mehr aufgetreten. Stattdessen ist die vorrangig vom Verkehr verursachte Belastung mit Ozon in den Vordergrund getreten. Die bayerische Smog-Verordnung, die ausschließlich für den Winter-Smog anwendbar war, wurde deshalb am 1. Oktober 1997 außer Kraft gesetzt.

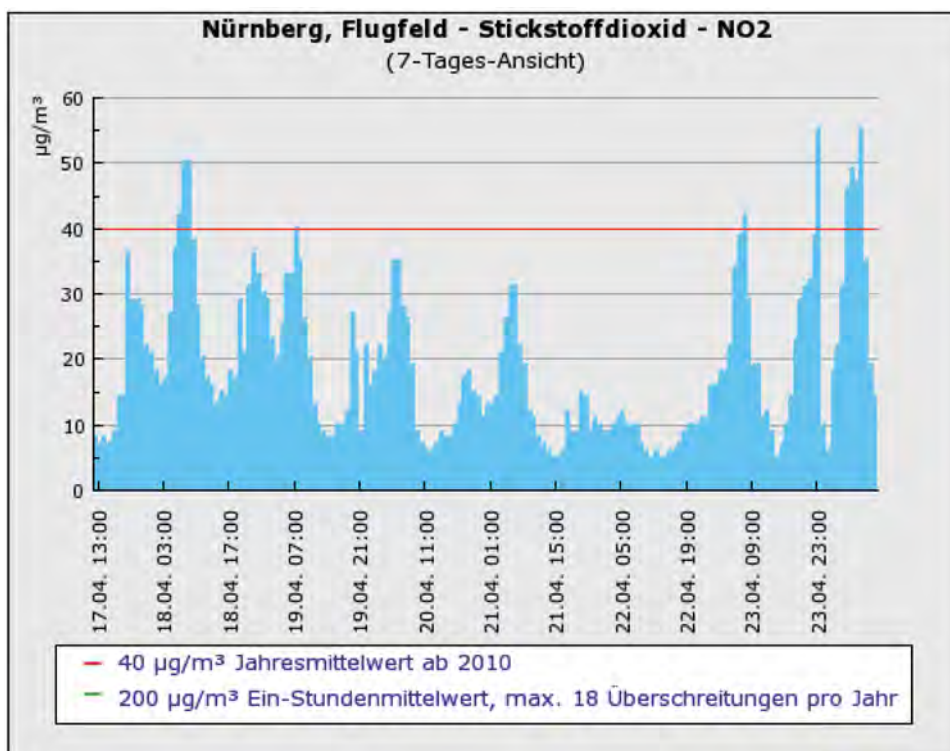
Auf Grund der besonderen chemischen Zusammenhänge ist die Ozonbelastung mit einer hohen stofflichen Dynamik und einer raschen Änderung der Belastungsverhältnisse verbunden. Deshalb mussten die Verfahren und Techniken zur Information der Bevölkerung diesen Umständen angepasst, beschleunigt und diversifiziert werden. Das Konzept dafür wurde dem Umweltausschuss in der Sitzung vom 13. September 1989 skizziert und seither – im Sinn der Verhandlungen des Umweltausschusses vom 26. September 1990 und vom 21. September 1994 – schrittweise umgesetzt. Daraus hat sich der Kommunale Luftinformationsdienst mit einem breit gefächerten Angebot entwickelt, der bei hohem Automatisierungsgrad mit geringem Personaleinsatz und geringen laufenden Kosten betrieben werden kann.

Dabei stellt sich allerdings das Problem, dass eine Validierung dieser Daten erst nachträglich erfolgen kann. Zur Vermeidung von Fehlinformationen durch falsche Messwerte ist daher ein hoher Standard in der Qualitätssicherung und eine möglichst rasche Validierung der veröffentlichten Daten zu gewährleisten. Dies stellt hohe technische und organisatorische Anforderungen.

Der bis 1996 betriebene Anrufbeantworter informierte lediglich darüber, ob der Richtwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Ozon überschritten wurde. Die für weitergehende Informationen erforderliche stündliche Aktualisierung war mit den verfügbaren personellen Ressourcen nicht leistbar. Rund 15 000 Anrufe im Jahr 1995 führten zu einer häufigen Überlastung des Anschlusses. Um dem Informationsbedürfnis der Nürnberger Bürgerinnen und Bürger gerecht zu werden, wurde der Service erweitert und automatisiert. Ein seit 1996 installierter automatische Telefonauskunftsdienst ersetzte den Anrufbeantworter. Das Infvoice-System kann unter Rufnummer 2 31-20 50 gleichzeitig vier Anrufe beantworten und liefert nicht nur stündlich aktualisierte Werte, sondern informiert auch über den erkennbaren Trend der Messdaten (steigend, stagnierend, sinkend).

Seit März 1998 können unter der Internetadresse www.umweltdaten.nuernberg.de die stündlich aktualisierten Messwerte der Messstationen der Stadt Nürnberg und seit 2011 auch der Messstationen des LfU eingesehen und als Tabellen heruntergeladen werden. Darüber hinaus stehen auch fast alle Berichte zur Entwicklung der Luftbelastung und weiterer umweltrelevanter Themen, die seit 1990 in den "Daten zur Nürnberger Umwelt" herausgegeben wurden, unter dieser Internetadresse auch als pdf-Dateien zur Verfügung. Die Daten zur Nürnberger Umwelt erscheinen weiterhin auch in gedruckter Form als Quartalsschrift und enthalten stets auch die Messergebnisse der von der Umweltanalytik Nürnberg betriebenen Luftmessstationen.

Bild 10: Darstellung der Luftmesswerte im Internet, Beispiel für Stickstoffdioxid (www.umweltdaten.nuernberg.de).



15 Der Nürnberger Luftreinhalteplan

Die im Jahr 2003 vom LfU im Rahmen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB) an den Messstellen Nürnberg Bahnhof und Fürth Theresienstraße gemessenen Immissionsmesswerte zeigten, dass ein Risiko zukünftiger Grenzwertüberschreitungen besteht. Daraufhin beauftragte das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) die Regierung von Mittelfranken, für den Ballungsraum Nürnberg - Fürth - Erlangen den Entwurf eines Luftreinhalte- und Aktionsplans zu erstellen. Ziel war es, die Schadstoffbelastung in diesem Gebiet dauerhaft zu mindern, um damit eine Einhaltung der damals gültigen Grenzwerte der 22. BImSchV zu erreichen. Nachdem in Zusammenarbeit mit den städtischen Fachstellen der Städte Nürnberg, Fürth und Erlangen ein Maßnahmenbündel entwickelt wurde, konnte der Entwurf eines Luftreinhalte- und Aktionsplans im Oktober 2004 dem StMUG zur Verabschiedung vorgelegt und am 28. Dezember 2004 für verbindlich erklärt werden. Gleichzeitig wurde die Regierung gebeten, die Umsetzung der Maßnahmen und die Immissionssituation zu verfolgen und den Plan bei Bedarf fortzuschreiben.

Im Herbst 2006 wurde in Nürnberg – nach intensiver Standortsuche und -bewertung – die verkehrsbezogene Messstation Von-der-Tann-Straße in Betrieb genommen. Bedingt durch die Lage an einer verkehrsreichen Straße werden dort seit Inbetriebnahme regelmäßig Überschreitungen des jeweils zulässigen Jahresmittelwertes für Stickstoffdioxid gemessen. Der Tagesgrenzwert für die Feinstaubbelastung (maximal 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wurde dagegen im Ballungsraum Nürnberg - Fürth - Erlangen seit Erstellung des Luftreinhalte- und Aktionsplanes im Jahr 2004 an allen Messstationen eingehalten. Auf Grund der an der Messstation Von-der-Tann-Straße erkannten Grenzwertüberschreitung des Jahresmittelwertes für Stickstoffdioxid erhielt die Regierung von Mittelfranken vom StMUG den Auftrag – in Zusammenarbeit mit der Stadt Nürnberg – den Luftreinhalte- und Aktionsplan im Teilbereich der Stadt Nürnberg fortzuschreiben.

Bei den Arbeiten zur Luftreinhalteplanung zeigte sich allerdings, dass auf kommunaler Ebene mit den dort zur Verfügung stehenden Mitteln nur eine relativ geringe Verminderung der Schadstoffbelastung möglich ist. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge bei der Entstehung und Verteilung der luftgetragenen Schadstoffe gibt es keine Einzelmaßnahme, die für sich allein zum Erfolg führt. Nur mit einer Reihe von parallelen Maßnahmen lässt sich eine Schadstoffminderung erzielen. Dabei reichen die Bemühungen auf kommunaler Ebene in der Regel nicht aus, um eine Einhaltung der Grenzwerte an allen Stellen im Stadtgebiet zu gewährleisten. Hier sind weitere Maßnahmen auf nationaler und sogar auf internationaler Ebene notwendig.

Die Tabelle 22 zeigt die einzelnen Bestandteile des Luftreinhalte- und Aktionsplans der Stadt Nürnberg. Wichtige Maßnahmen wurden bereits realisiert: So trägt die Verlagerung des Containerbahnhofs von Gostenhof in den Hafen ebenso zur Reduzierung des Schwerlastverkehrs im innerstädtischen Straßennetz bei wie die ebenfalls realisierte Verlagerung des Hauptzollamtes ins Hafengebiet. Auch bei der Förderung des Radverkehrs wurden Fortschritte erzielt, die zu zählbarer Erhöhung des Radverkehrsanteils in der Stadt geführt haben.

Darüber hinaus zeigen die Zahlen der Kfz-Statistik, dass eine Modernisierung der Fahrzeugflotte im Gang ist, die zum Ausscheiden von Fahrzeugen mit besonders hohen Emissionen führt. Deutlich ausgeprägt ist diese Erneuerung im Bereich der Lkw – dabei profitiert Nürnberg möglicherweise durchaus davon, dass in anderen Städten die Ausrufung von Umweltzonen den Einsatz von emissionsärmeren Fahrzeugen erfordert, so dass der kommerzielle Schwerverkehr generell seinen Fahrzeugbestand umstellt, um logistische Probleme zu vermeiden.

Tabelle 22: Die Maßnahmenpakete des Luftreinhalteplans.

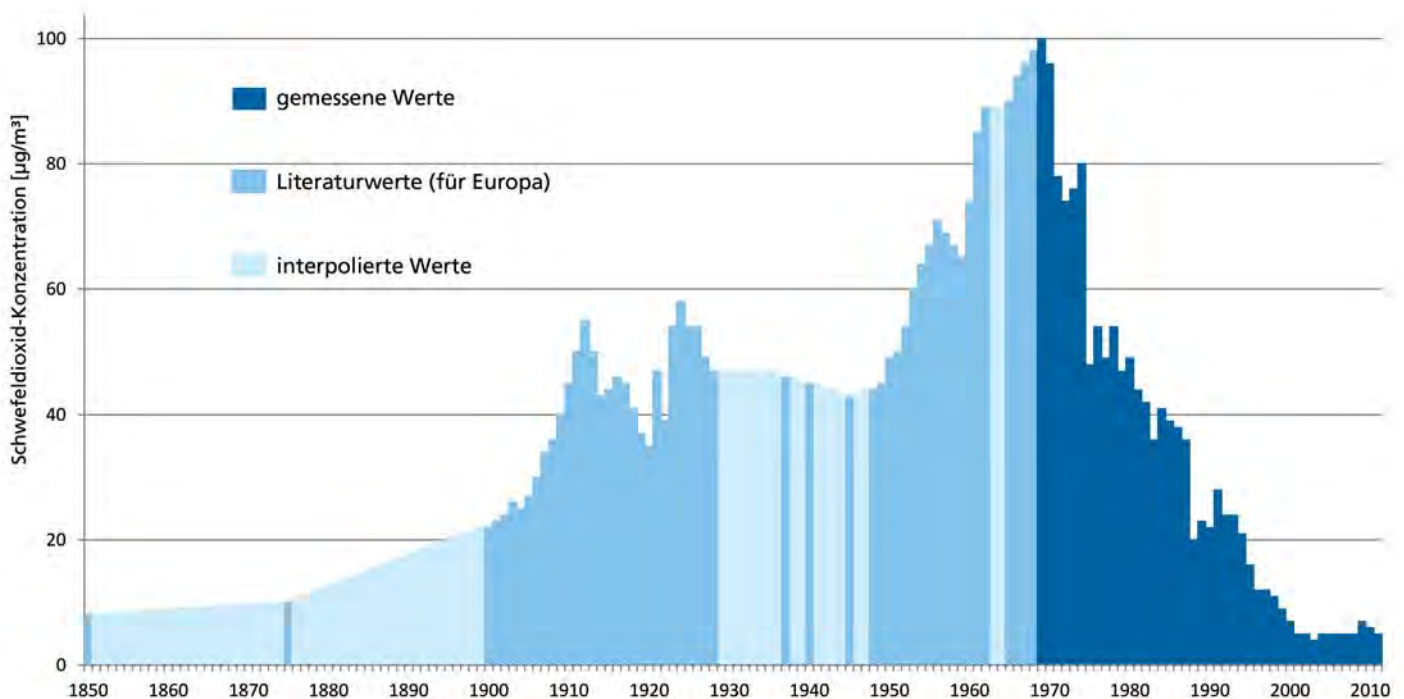
Umweltverbund	Verkehrslenkung	Energie-Effizienz und Klimaschutz	Fahrzeugtechnik
Optimierung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV).	Verflüssigung des Verkehrs durch verbesserte Koordination der Signalanlagen.	Projekte und Aktivitäten zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Verbesserung des Klimaschutzes.	Initiativen zur Förderung der umweltfreundlichen Nachrüstung von PKW und Nutzfahrzeugen.
Vorrang des ÖPNV vor motorisiertem Individualverkehr, angepasste Ampelschaltungen, mehr Busspuren.	Kreuzungsfreier Ausbau des Frankenschnellwegs - A73.	Förderung emissionsarmer Heizungsanlagen und Kleinfeuerungsanlagen.	Umrüstung der Fahrzeugflotten des kommunalen Fuhrparks und der Verkehrsbetriebe auf emissionsärmere Fahrzeuge.
Förderung des Radverkehrs.	Verstärkte Parkraumbewirtschaftung.		
Ausbau und Optimierung des kommunalen schienengebundenen ÖPNV.	Weiterer Ausbau dynamischer Verkehrs- und Parkleitsysteme.		
Weiterer Ausbau des S-Bahnnetzes für Berufspendler.	Reduzierung des Schwerverkehrs durch Verlagerung des Containerbahnhofs in das Güterverkehrszentrum Hafen Nürnberg.		
	Entwicklung von Logistikkonzepten zur Emissionsminderung im innerstädtischen Wirtschaftsverkehr („Grüne Logistik“).		
	Planerische und bauliche Maßnahmen an besonderen verkehrlichen Brennpunkten.		

16 Fazit

Seit über 50 Jahren wird in Nürnberg nach dem jeweiligen Stand der Technik die Qualität der Außenluft überwacht und dokumentiert. Am Anfang standen diskontinuierliche Messungen an exponierten Standorten. Seit 1963 wird mit Vorläufergeräten der automatischen Luftmesstechnik, seit 1969 sowohl stationär-kontinuierlich als auch mobil und flächendeckend gemessen. Damit steht für Nürnberg eine wahrscheinlich beispiellose zeit- und flächenbezogene Dokumentation der Entwicklung der städtischen Immissionssituation zur Verfügung, die in der Vergangenheit häufig als Grundlage zur Stadt- und Verkehrsplanung diente und die es erlaubt, die Wirksamkeit technischer und planerischer Maßnahmen zu bewerten.

Der größte Erfolg des Immissionsschutzes dürfte die Verringerung der Schwefeldioxidbelastung in städtischen Ballungsgebieten um mehr als 90 % sein. Der bis Ende der 1980er Jahre regelmäßig auftretenden Winter-Smog gehört damit der Vergangenheit an. Die hohen Investitionen für den Einbau von Rauchgasreinigungen in Verbrennungsanlagen und Kraftwerken sowie für Heizungsumstellungen und den Ausbau des Fernwärmenetzes haben sich gelohnt. Dadurch wird die Außenluft von tausenden Tonnen von Schadstoffen wie Schwefeldioxid und Staub entlastet. Damit lässt sich das vom Schwefeldioxid geprägte Zeitalter abschließen – nachdem nahezu 100 Jahre Schwefeldioxid der Leitschadstoff in städtisch-industriellen Ballungsgebieten war. Diese erfreuliche Entwicklung zeigt Grafik 9 ^{53), 54), 55)}.

Grafik 9: Die Entwicklung der Schwefeldioxid-Immissionen in Deutschland seit Beginn der Industrialisierung.



Da bis zu den 1960er Jahren für Nürnberg keine Messwerte vorliegen, wurde für die Erstellung der Grafik auf verschiedene Literaturwerte zurückgegriffen ^{53), 54), 55)} und der Verlauf der Schwefeldioxid-Emissionen in Europa von 1850 bis 1972 als Maßstab für die Immissionen in Nürnberg genommen, was zwar nur eine sehr grobe, aber an Hand von Wirtschaftsdaten doch plausibel darstellbare Näherung ergibt. Seit 1969 sind in der Grafik die in der Messstation Nürnberg-Hauptmarkt (beziehungsweise - ab 2004 - in der Messstation Jakobsplatz) gemessenen Werte angegeben. Für die Jahre 1969 bis 1972 liegen sowohl Immissionsmesswerte als auch Emissionsdaten aus der Literatur vor, so dass ein sinnvoller Bezug zwischen den beiden Datenserien hergestellt werden kann.

Weniger erfolgreich waren bisher die Versuche, die Immissionsbelastung durch verkehrsbedingte Luftschadstoffe, insbesondere von Stickstoffdioxid, zu reduzieren. Zwar lässt sich bei der Betrachtung der gesamten Stadtfläche ein Belastungsrückgang beobachten, an stark befahrenen Straßenabschnitten mit hoher Randbebauung kommt es aber nach wie vor zu Grenzwertüberschreitungen. Die positiven Effekte der technischen Maßnahmen zur Senkung des Schadstoffausstoßes wie die Einführung des geregelten Katalysators bei Fahrzeugen mit Otto-Motor wurden nämlich durch weitere Zunahme der Fahrzeugflotte und den Trend zu höherer Motorleistung kompensiert. Außerdem ist das Problem des während der Kaltstartphase unwirksamen Katalysators immer noch ungelöst. Die Defizite in der Luftreinhaltung wurden deutlich, als im Rahmen der EU-Richtlinie 96/62/EG ehrgeizige Immissionsgrenzwerte europaweit eingeführt wurden und zwischen 2005 und 2010 in Kraft traten. Insbesondere in Ballungsräumen können diese nicht eingehalten werden, weil die Senkung der Abgasgrenzwerte erst ab 2015 erfolgen soll.

Ein weiterer in erster Linie durch den motorisierten Straßenverkehr verursachter Luftschadstoff ist das Ozon. Dessen Konzentrationen erreichen seit mehreren Jahrzehnten während der Sommermonate kritische Werte. Es wird nicht – wie beispielsweise die Stickoxide – direkt freigesetzt, sondern bildet sich unter dem Einfluss starker Sonneneinstrahlung aus sogenannten Vorläufersubstanzen, die wiederum zum größten Teil verkehrsbedingt sind. Trotz aller Versuche, europaweit die Emission der Vorläufersubstanzen zu reduzieren, bauen sich bei entsprechenden Wetterlagen in den Sommermonaten nach wie vor Außenluftkonzentrationen auf, welche die menschliche Gesundheit beeinträchtigen, bestimmte Pflanzen schädigen können und über den Zielwerten der EU liegen.

Wegen der dauerhaften Überschreitung des Grenzwertes der 39. BImSchV für Stickstoffdioxid in Nürnberg war die Definition von Maßnahmen zur Minderung der Schadstoffimmission nötig. Dabei zeigte sich, dass die den Kommunen zur Verfügung stehenden Möglichkeiten nicht ausreichen, um die Grenzwerte sicher und dauerhaft zu unterschreiten. Es sind strengere, europaweit geltende Regelungen notwendig, insbesondere zur Senkung des Schadstoffausstoßes der Kraftfahrzeuge.

17 Tabellen und Grafiken

17.1 Grenzwerte nach 39. BImSchV vom 2. August 2010

17.2 Parameter der Luftmessprogramme

17.3 Flächendeckende Messungen

- 17.3.1 Räumlicher Umgriff 1981 - 1987
- 17.3.2 Räumlicher Umgriff 1993 - 1997
- 17.3.3 Räumlicher Umgriff 2002 - 2011
- 17.3.4 Messwerte Stickstoffdioxid (NO₂) 1981 - 1987
- 17.3.5 Messwerte Stickstoffdioxid (NO₂) 1993 - 1997
- 17.3.6 Messwerte Stickstoffdioxid (NO₂) 2002 - 2011
- 17.3.7 Messwerte Schwefeldioxid (SO₂) 1969
- 17.3.8 Messwerte Schwefeldioxid (SO₂) 1981 - 1987
- 17.3.9 Messwerte Schwefeldioxid (SO₂) 1993 - 1997
- 17.3.10 Messwerte Schwefeldioxid (SO₂) 2002 - 2011
- 17.3.11 Messwerte Kohlenmonoxid (CO) 1981 - 1987
- 17.3.12 Messwerte Kohlenmonoxid (CO) 1993 - 1997
- 17.3.13 Messwerte Kohlenmonoxid (CO) 2002 - 2011
- 17.3.14 Messwerte Benzol (C₆H₆) 1993 - 1997
- 17.3.15 Messwerte Benzol (C₆H₆) 2002 - 2011

17.4 Metalle im Staubbiederschlag und im Schwebstaub

- 17.4.1 Vergleich 1981 - 1987 mit 1993 - 1997, Tabellen
- 17.4.2 Vergleich 1981 - 1987 mit 1993 - 1997, Lageplan Teilflächen

17.5 Messwerte Toluol 2002 - 2011

17.6 Messprogramme über Teilflächen

17.7 Luftmessstationen, Jahresübersichten

- 17.7.1 Jahresmittelwerte Stickstoffdioxid (NO₂) in µg/m³
- 17.7.2 Jahresmittelwerte Schwefeldioxid (SO₂) in µg/m³
- 17.7.3 Jahresmittelwerte Kohlenmonoxid (CO) in mg/m³
- 17.7.4 Jahresmittelwerte Benzol (C₆H₆) in µg/m³
- 17.7.5 Jahresmittelwerte Schwebstaub in µg/m³
- 17.7.6 Feinstaub PM₁₀ - Jahresmittelwerte in µg/m³ / Überschreitungen
- 17.7.7 Schadstoffgehalte im Feinstaub PM₁₀ - Jahresmittelwerte

17.8 Messprogramm Güterverkehrszentrum 1994

17.9 Immissionsmessungen nach 23. BImSchV

17.10 Orientierende Messungen nach 22. BImSchV 2002 / 2003

17.11 Ergebnisse der Flechtenkartierung 1998

Tabellen und Grafiken erstellt durch SUN

17.1 Grenzwerte nach 39. BImSchV vom 2. August 2010

Schadstoff / Schutzobjekt	Zeitbezug	Grenzwert	Zulässige Überschreitungen	Gültig ab
Schwefeldioxid SO₂				
menschliche Gesundheit	Mittelwert über eine Stunde	350 µg/m ³	24 (Kalenderjahr)	01.01.2005
menschliche Gesundheit	Mittelwert über einen Tag	125 µg/m ³	3 (Kalenderjahr)	01.01.2005
Ökosysteme	Mittelwert über ein Kalenderjahr UND Mittelwert im Winterhalbjahr (Oktober bis April)	20 µg/m ³		18.09.2002
Alarmschwelle	Mittelwert über eine Stunde. Bei Überschreitung an drei aufeinander folgenden Stunden	500 µg/m ³		18.09.2002
Stickstoffdioxid NO₂				
menschliche Gesundheit	Mittelwert über eine Stunde	200 µg/m ³	18 (Kalenderjahr)	01.01.2010
menschliche Gesundheit	Mittelwert über ein Kalenderjahr	40 µg/m ³		01.01.2010
Alarmschwelle	Mittelwert über eine Stunde. Bei Überschreitung an drei aufeinander folgenden Stunden	400 µg/m ³		18.09.2002
Stickstoffoxide NO_x				
Vegetation	Mittelwert über ein Kalenderjahr	30 µg/m ³		18.09.2002
Kohlenmonoxid CO				
menschliche Gesundheit	höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	10 mg/m ³		01.01.2005
Benzol C₆H₆				
menschliche Gesundheit	Mittelwert über ein Kalenderjahr	5 µg/m ³		01.01.2010
Feinstaub (PM₁₀)				
menschliche Gesundheit	Mittelwert über einen Tag	50 µg/m ³	35 (Kalenderjahr)	01.01.2005
menschliche Gesundheit	Mittelwert über ein Kalenderjahr	40 µg/m ³		01.01.2005
Ozon O₃				
menschliche Gesundheit	höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	120 µg/m ³	25 (Kalenderjahr)	
Vegetation	AOT 40 *	18 000 (µg/m ³)*h		
Vegetation (langfristig)	AOT 40 *	6 000 (g/m ³)*h		
Informationsschwelle	Mittelwert über eine Stunde	180 µg/m ³		
Alarmschwelle	Mittelwert über eine Stunde	240 µg/m ³		
Schwermetalle				
Blei Pb	Mittelwert über ein Kalenderjahr	0,5 µg/m ³		01.01.2005
Arsen As	Mittelwert über ein Kalenderjahr	6 µg/m ³		01.01.2013
Cadmium Cd	Mittelwert über ein Kalenderjahr	5 µg/m ³		01.01.2013
Nickel Ni	Mittelwert über ein Kalenderjahr	20 µg/m ³		01.01.2013
organische Schadstoffe				
Benzo-a-Pyren	Mittelwert über ein Kalenderjahr	1 µg/m ³		01.01.2013

* AOT = Summe der Differenzen zwischen Konzentrationen über 80 µg/m³ und dem Grenzwert 80 µg/m³ als 1-Stunden-Mittelwert zwischen 8.00 Uhr morgens und 20.00 Uhr abends MEZ im Zeitraum von Mai bis Juli, gemittelt über 5 Jahre

17.2 Parameter der Luftmessprogramme

Parameter	Altstadt 1969	Stadtgebiet 1983-1987	Rathaus- platz 1988/1989	Schweinau 1991/1992	Stadtgebiet 1993-1997	Tiefes Feld 1998	Rehhof 2001/2002	Stadtgebiet 2002-2011
Windgeschwindigkeit		1	1	1	1	1	1	1
Windrichtung		1	1	1	1	1	1	1
Luftfeuchtigkeit		1	1	1	1	1	1	1
Luft-Temperatur		1	1	1	1	1	1	1
Luftdruck		1	1	1	1	1	1	1
Stickstoffmonoxid (NO)		1	1	1	1	1	1	1
Stickstoffdioxid (NO ₂)		1	1	1	1	1	1	1
Schwefeldioxid (SO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1
Kohlenmonoxid (CO)		1	1	1	1	1	1	1
Ozon (O ₃)		1	1	1	1			
Fluor (F)		1	1	1	1, TF			
Staubniederschlag (StN)	1	1	1	1	1, TF			
pH-Wert im StN		1	1	1	1, TF			
Leitfähigkeit im StN		1	1	1	1, TF			
Blei (Pb) im StN	1	1	1	1	1, TF			
Cadmium (Cd) im StN		1	1	1	1, TF			
Zink (Zn) im StN	1	1	1	1	1, TF			
Kupfer (Cu) im StN	1	1	1	1	1, TF			
Mangan (Mn) im StN	1	1	1	1	1, TF			
Eisen (Fe) im StN		1	1	1	1, TF			
Chrom (Cr) im StN		1	1	1	1, TF			
Titan (Ti) im StN		1	1	1	1, TF			
Schwebstaub (SSt)		1	1	1	1, TF			
Blei (Pb) im SSt		1	1	1	1, TF			
Cadmium (Cd) im SSt		1	1	1	1, TF			
Zink (Zn) im SSt		1	1	1	1, TF			
Ruß					2	1	1	
Benzol (C ₆ H ₆)			1	1	2	1	1	1
Toluol			1	1	2	1	1	1
Ethylbenzol			1	1	2	1	1	1
m,p-Xylol			1	1	2	1	1	1
o-Xylol			1	1	2	1	1	1
iso-propy-Benzol			1	1	2			1
n-propy-Benzol			1	1	2			1
Trichlor-Fluor-Methan			1	1				
Trichlor-Trifluor-Ethan			1	1				
Dichlormethan			1	1				
Trichlormethan			1	1				
Tetrachlormethan			1	1				
Trichlorethan			1	1				
Trichlorethen			1	1				
Tetrachlorethen			1	1				

1 = im 1-Kilometer-Raster

2 = im 2-Kilometer-Raster

1, TF = im 1-Kilometer-Raster, jedoch nur auf Teilflächen im Stadtgebiet

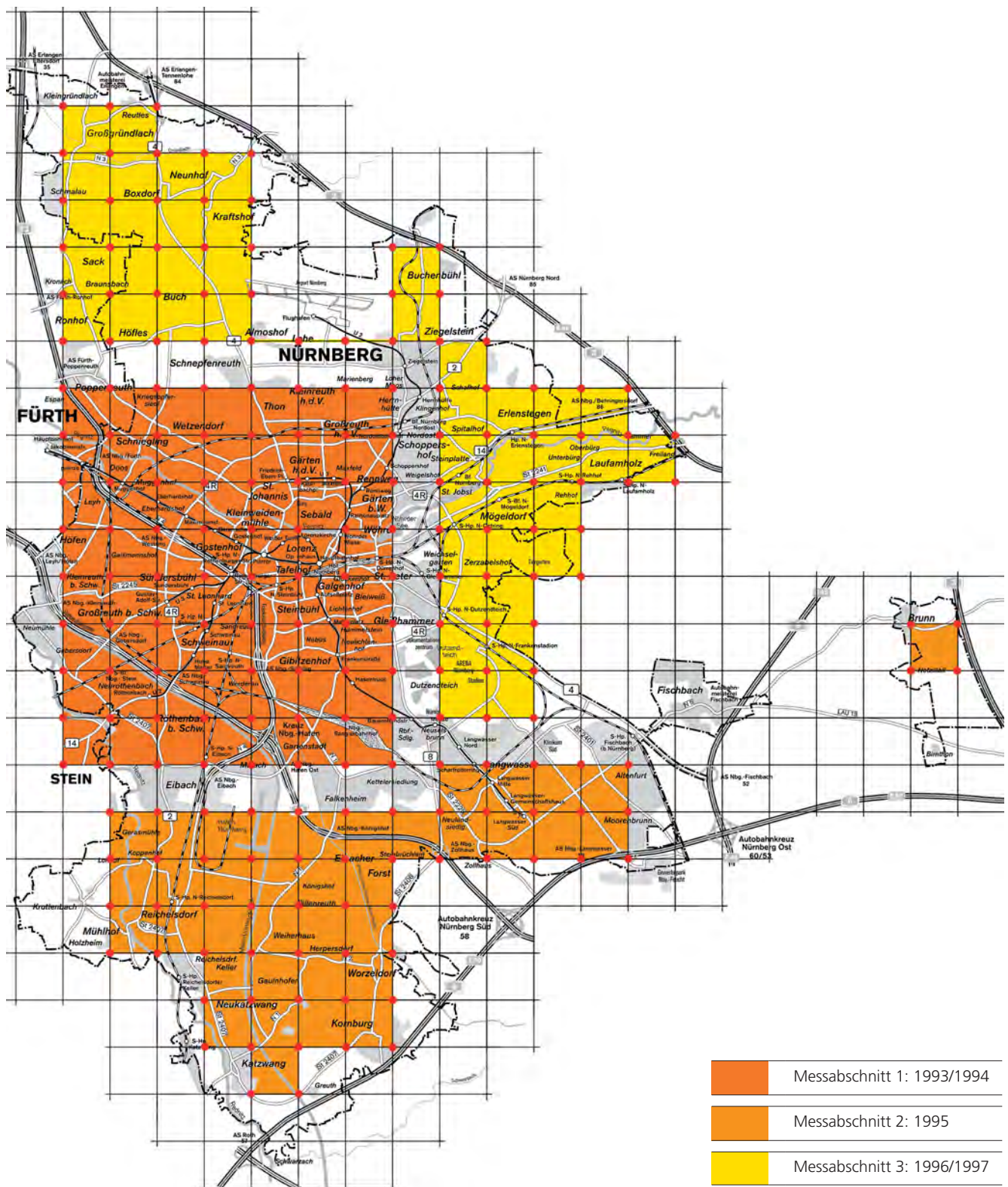
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.1 Räumlicher Umgriff 1981 - 1987



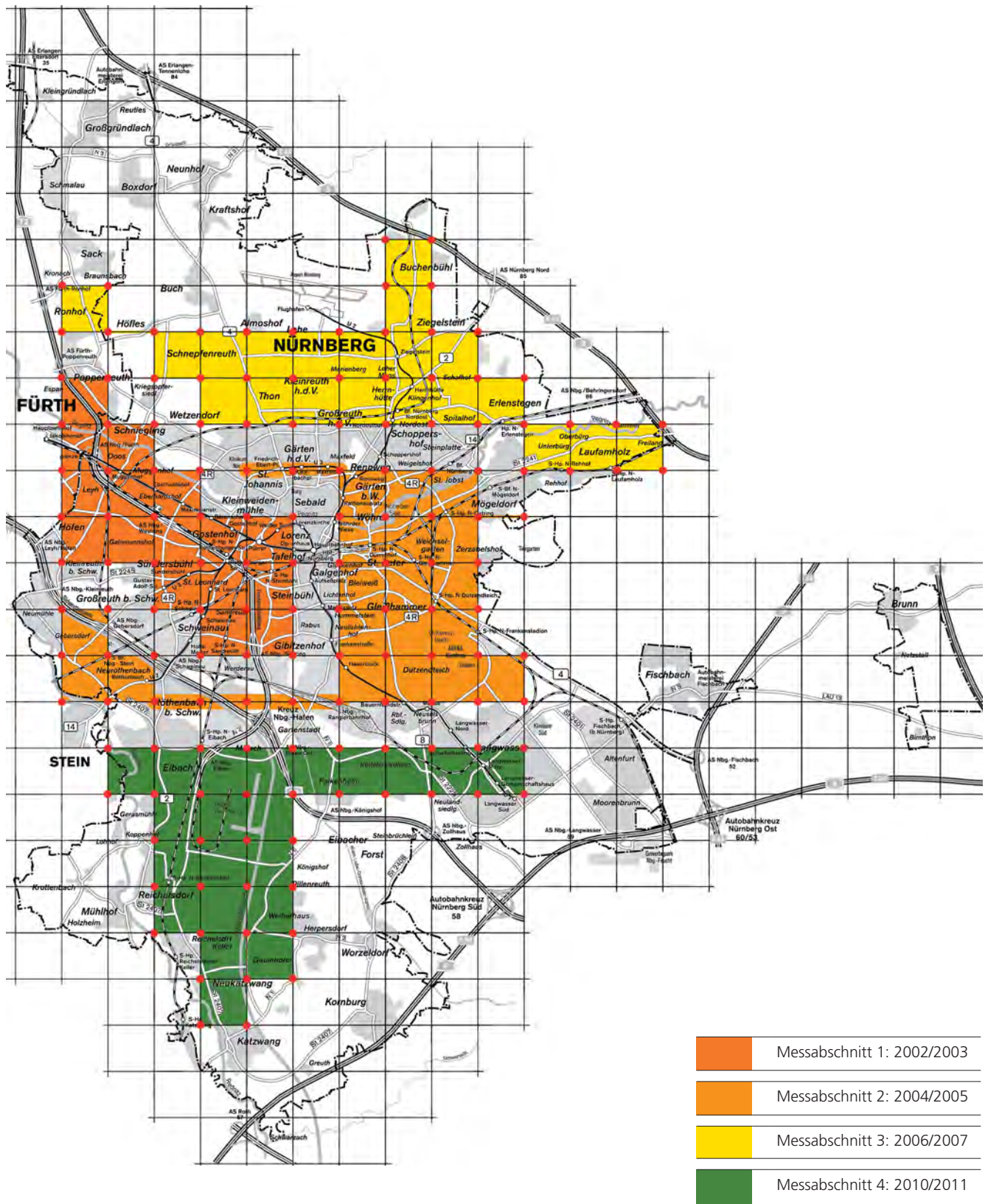
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.2 Räumlicher Umgriff 1993 - 1997



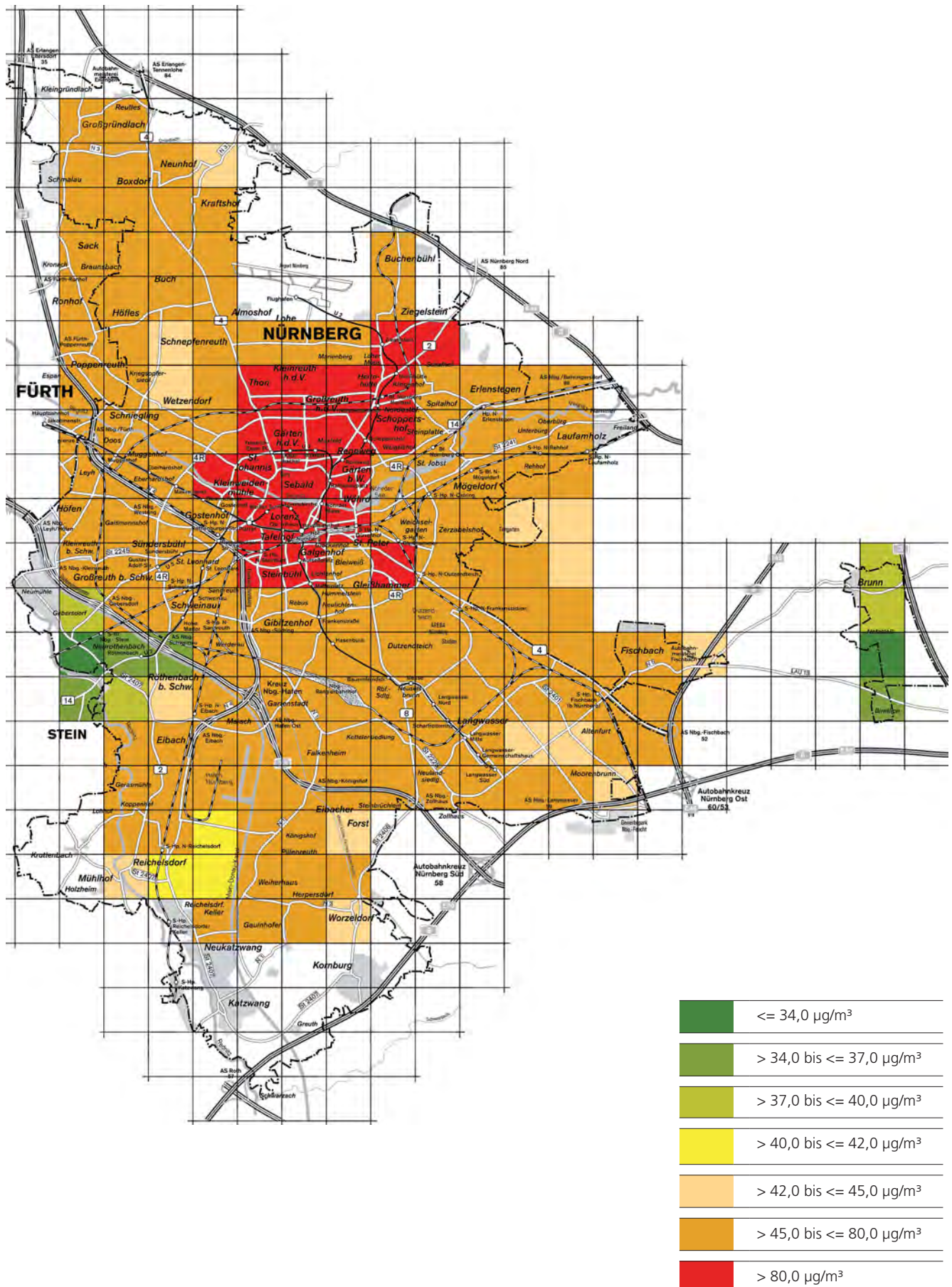
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.3 Räumlicher Umgriff 2002 - 2011



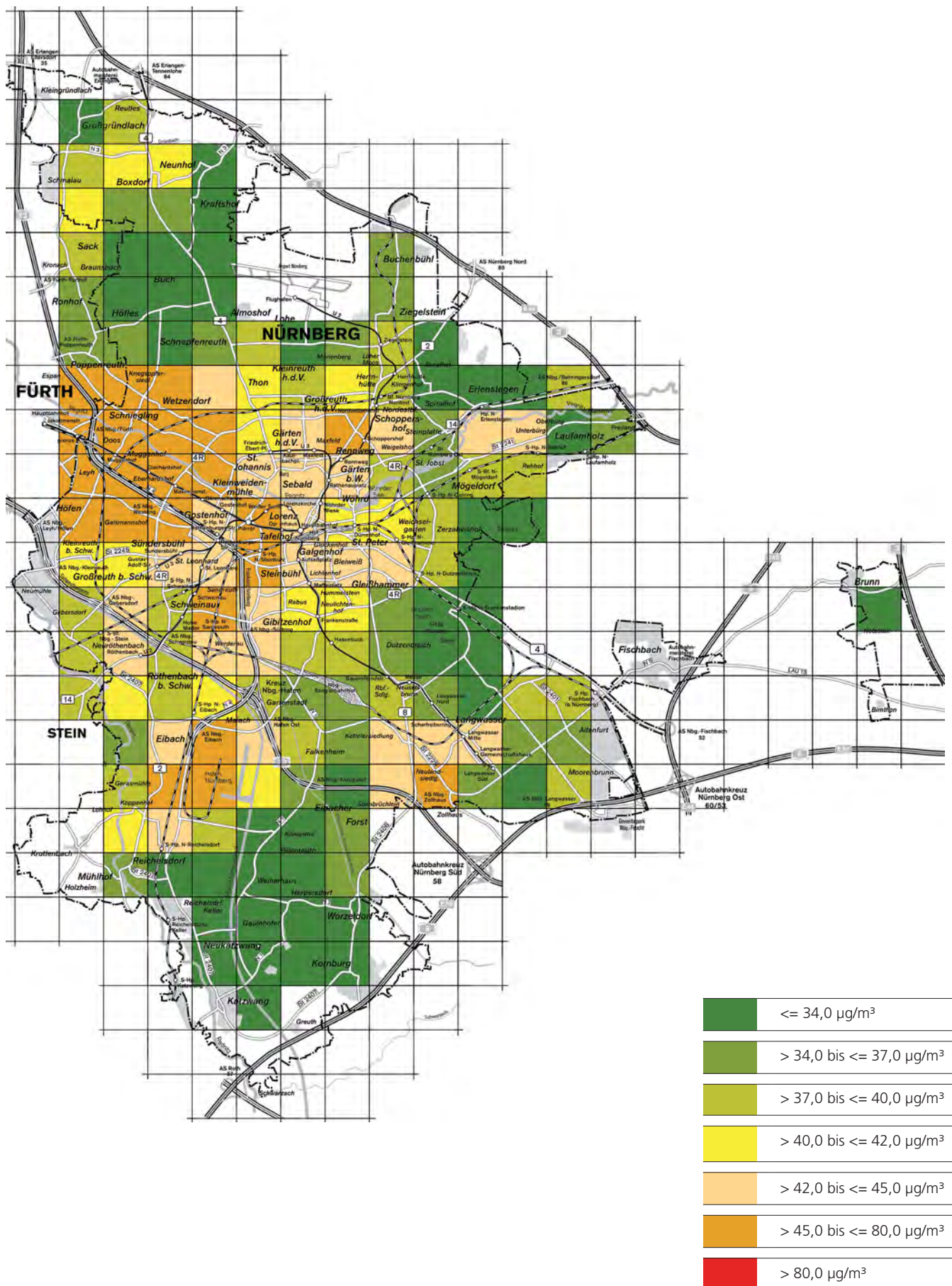
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.4 Messwerte Stickstoffdioxid (NO₂) 1981 - 1987



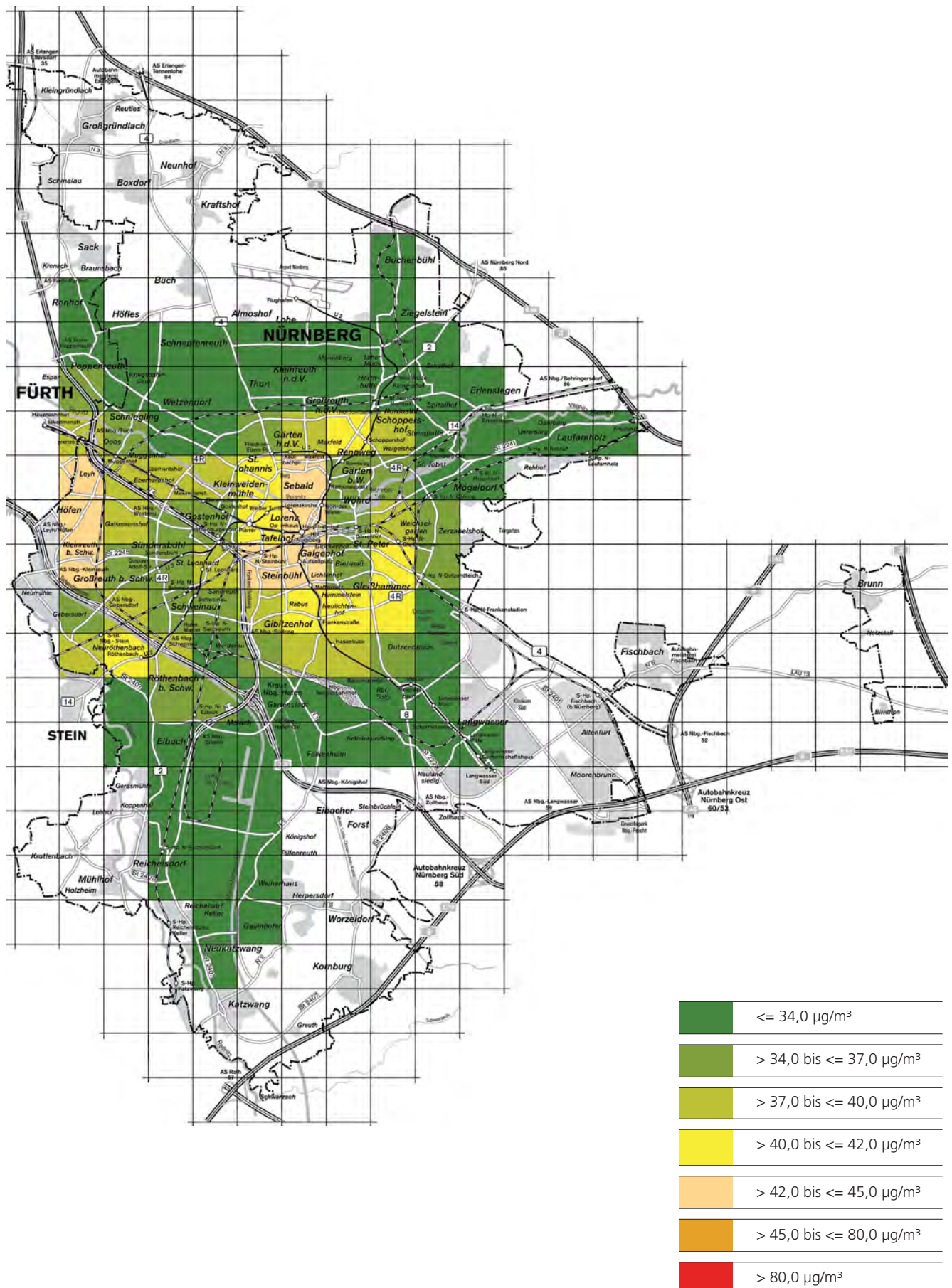
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.5 Messwerte Stickstoffdioxid (NO₂) 1993 - 1997



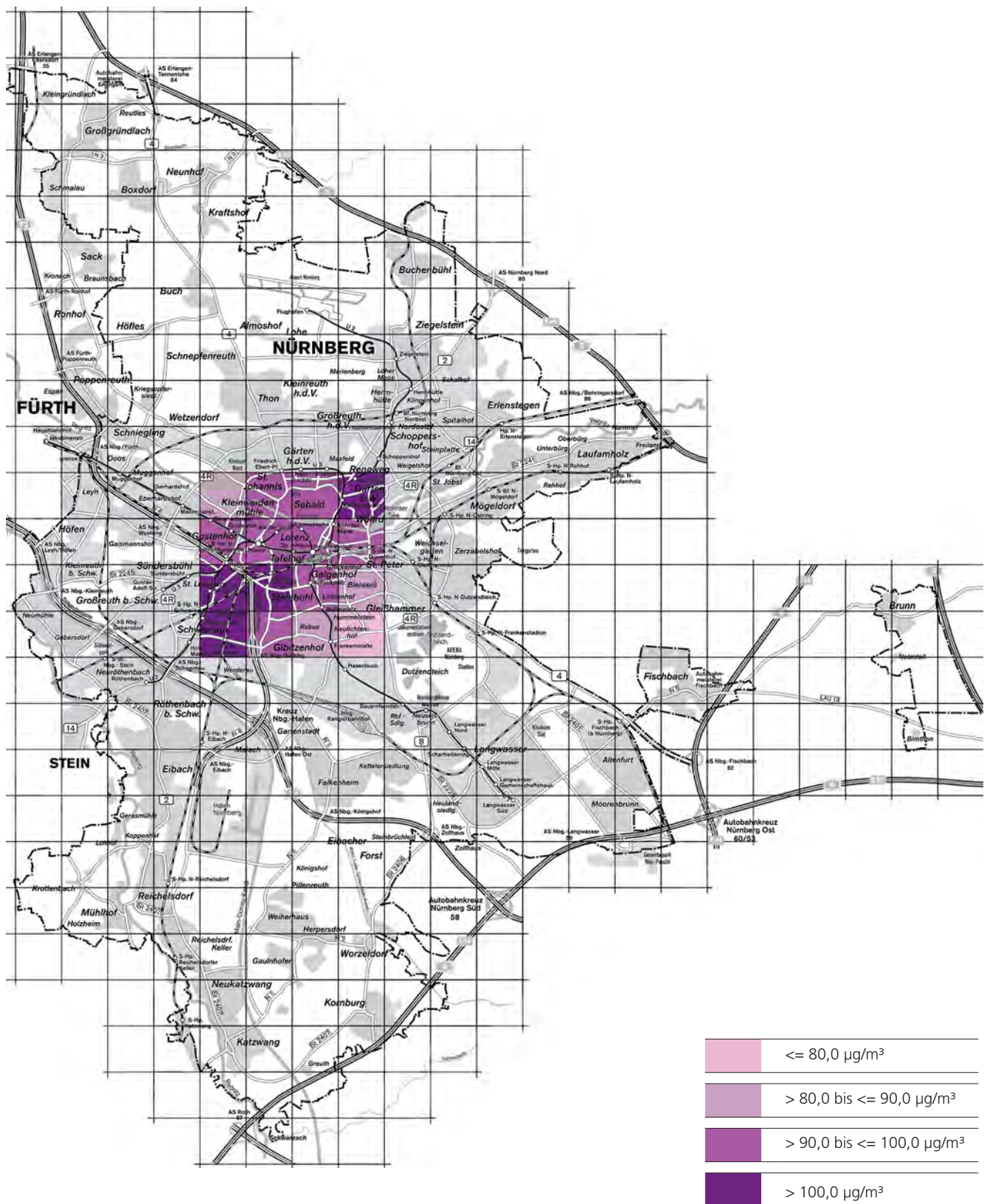
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.6 Messwerte Stickstoffdioxid (NO₂) 2002 - 2011



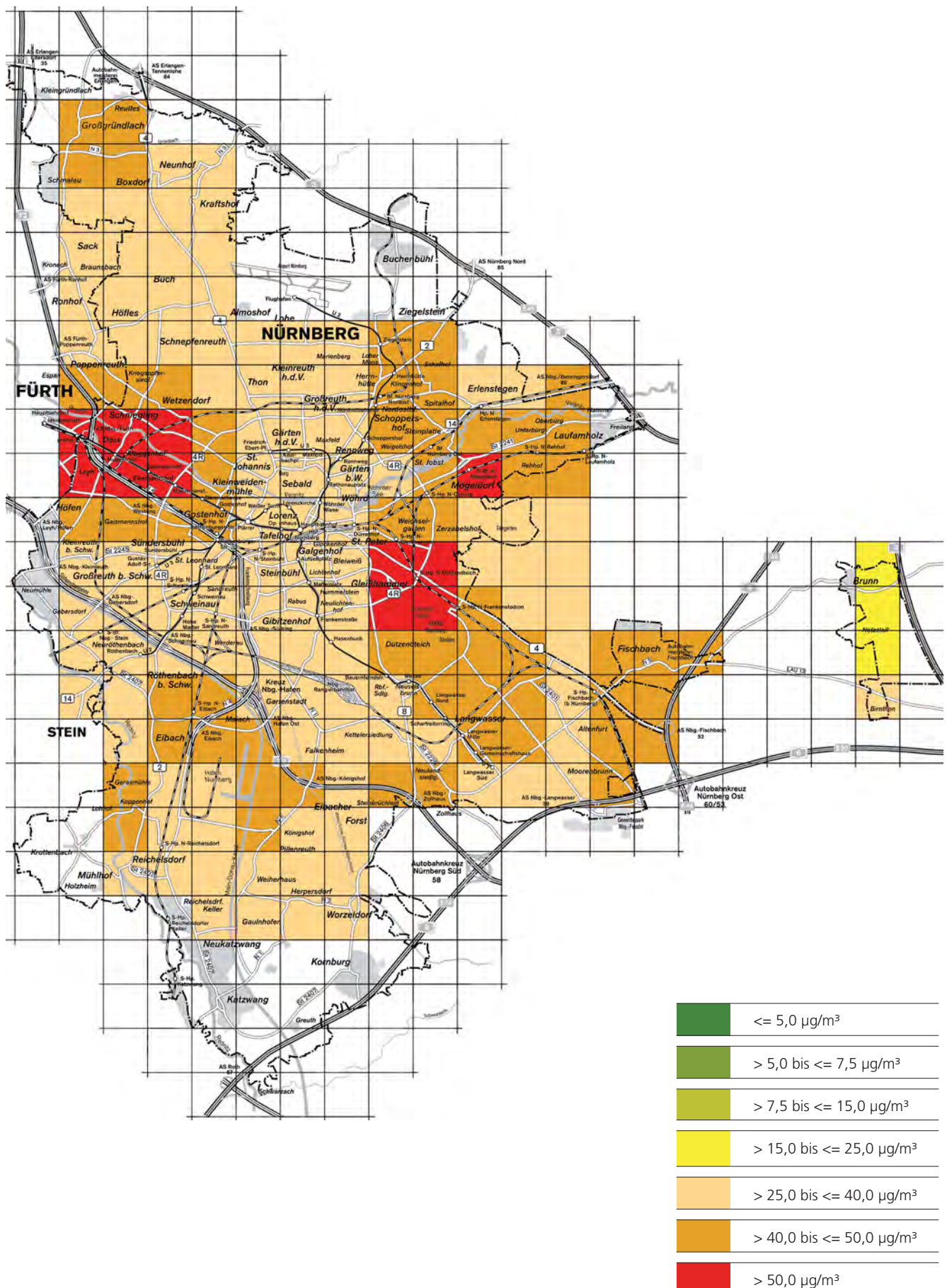
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.7 Messwerte Schwefeldioxid (SO₂) 1969



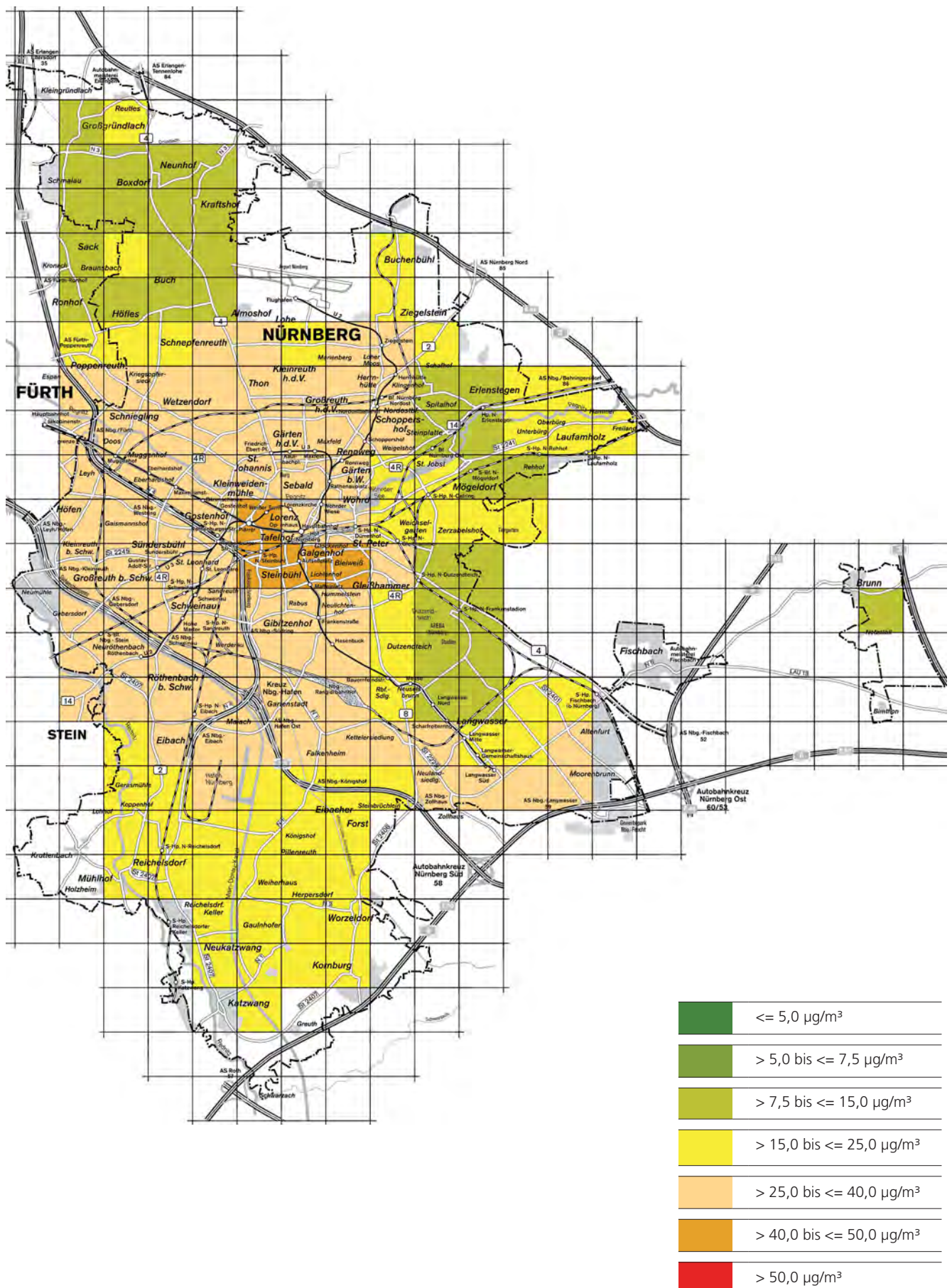
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.8 Messwerte Schwefeldioxid (SO₂) 1981 - 1987



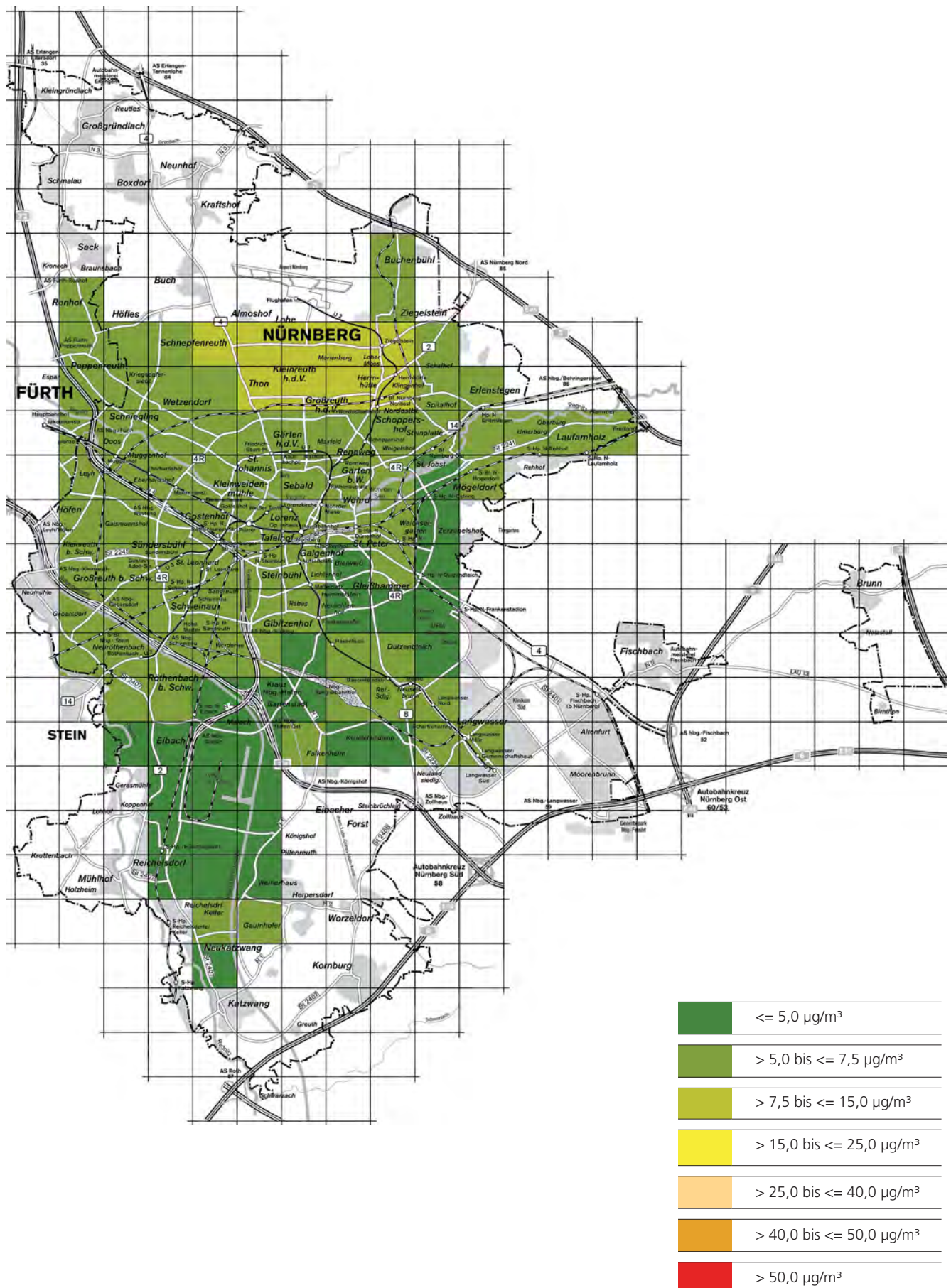
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.9 Messwerte Schwefeldioxid (SO₂) 1993 - 1997



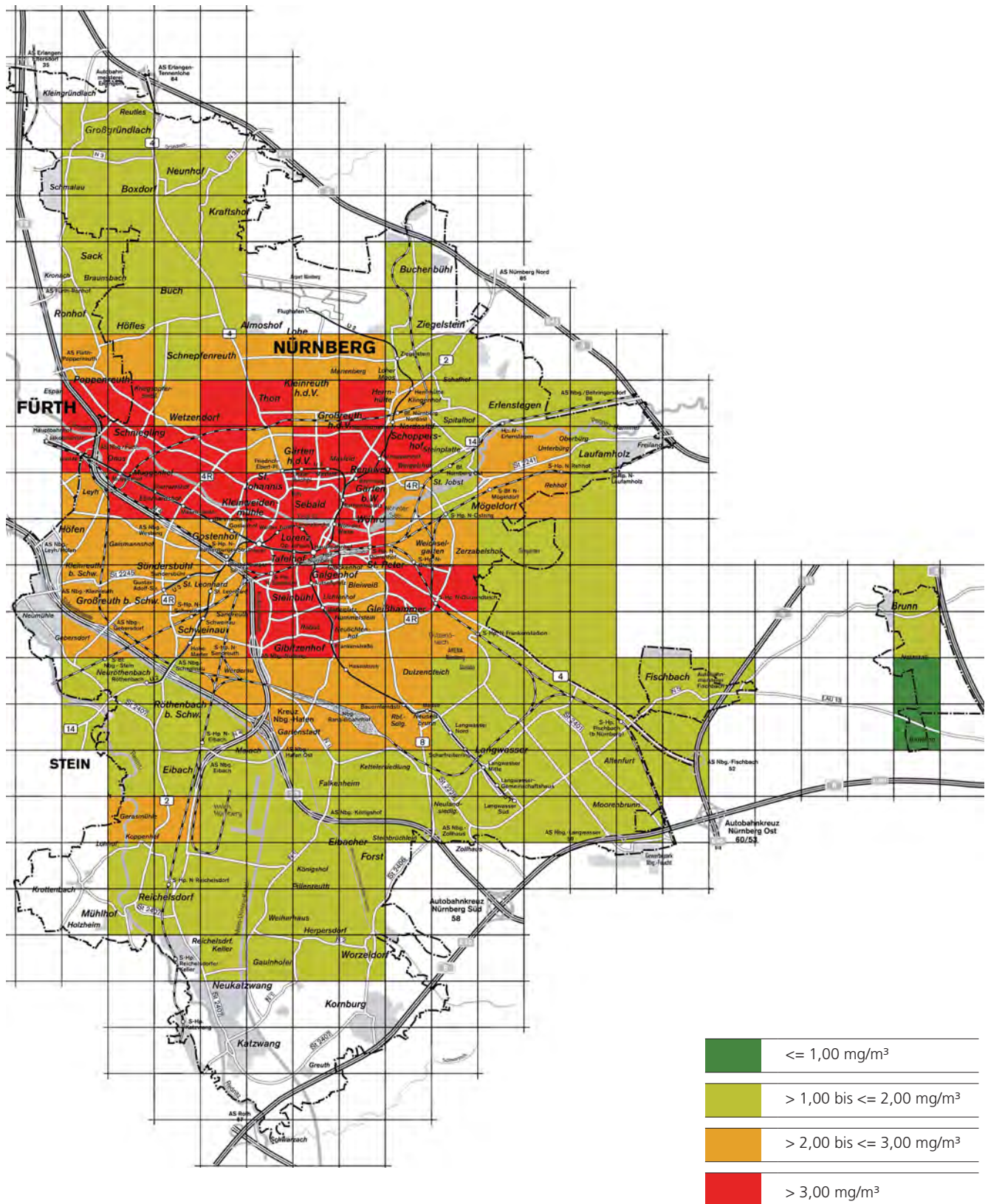
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.10 Messwerte Schwefeldioxid (SO₂) 2002 - 2011



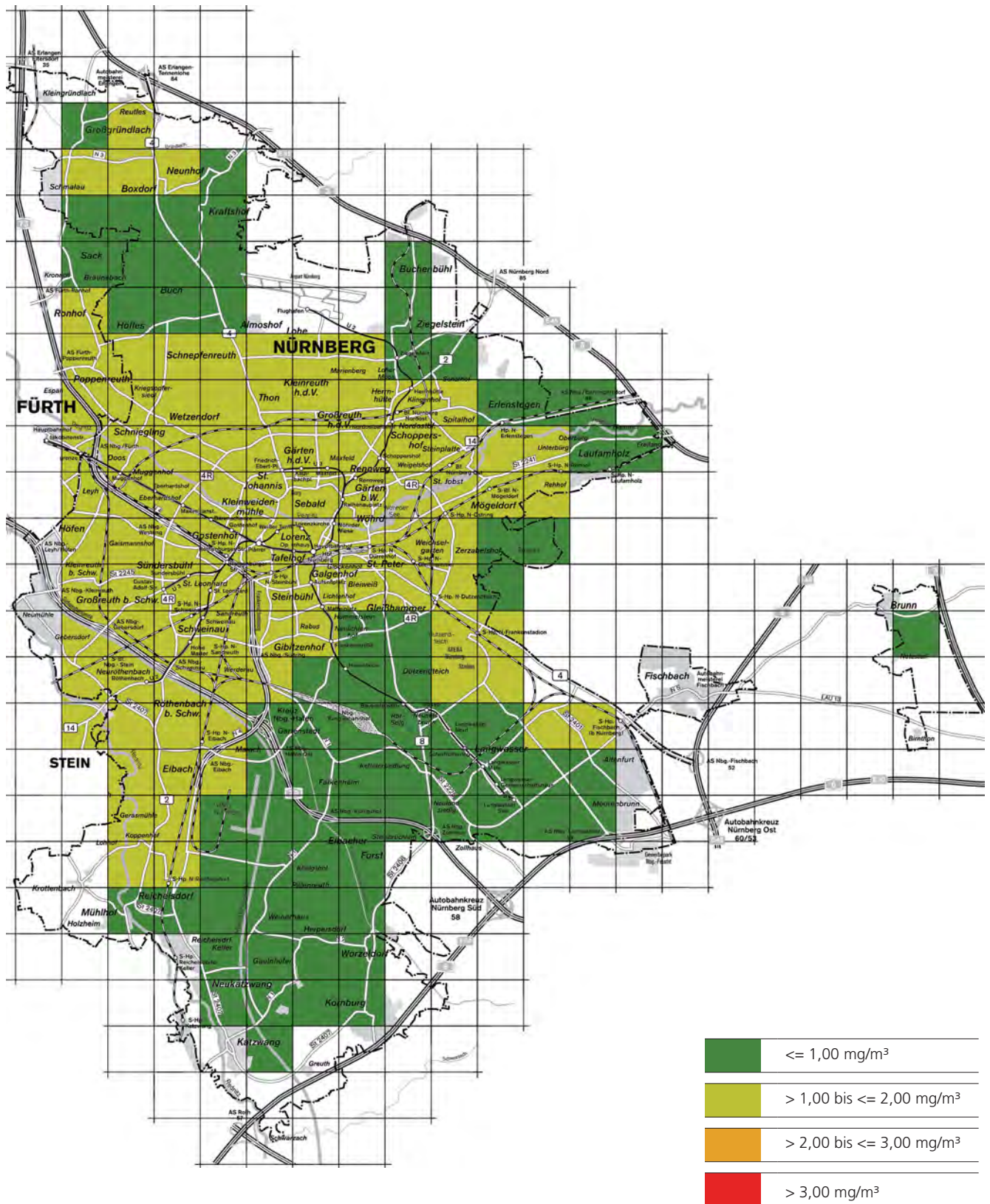
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.11 Messwerte Kohlenmonoxid (CO) 1981 - 1987



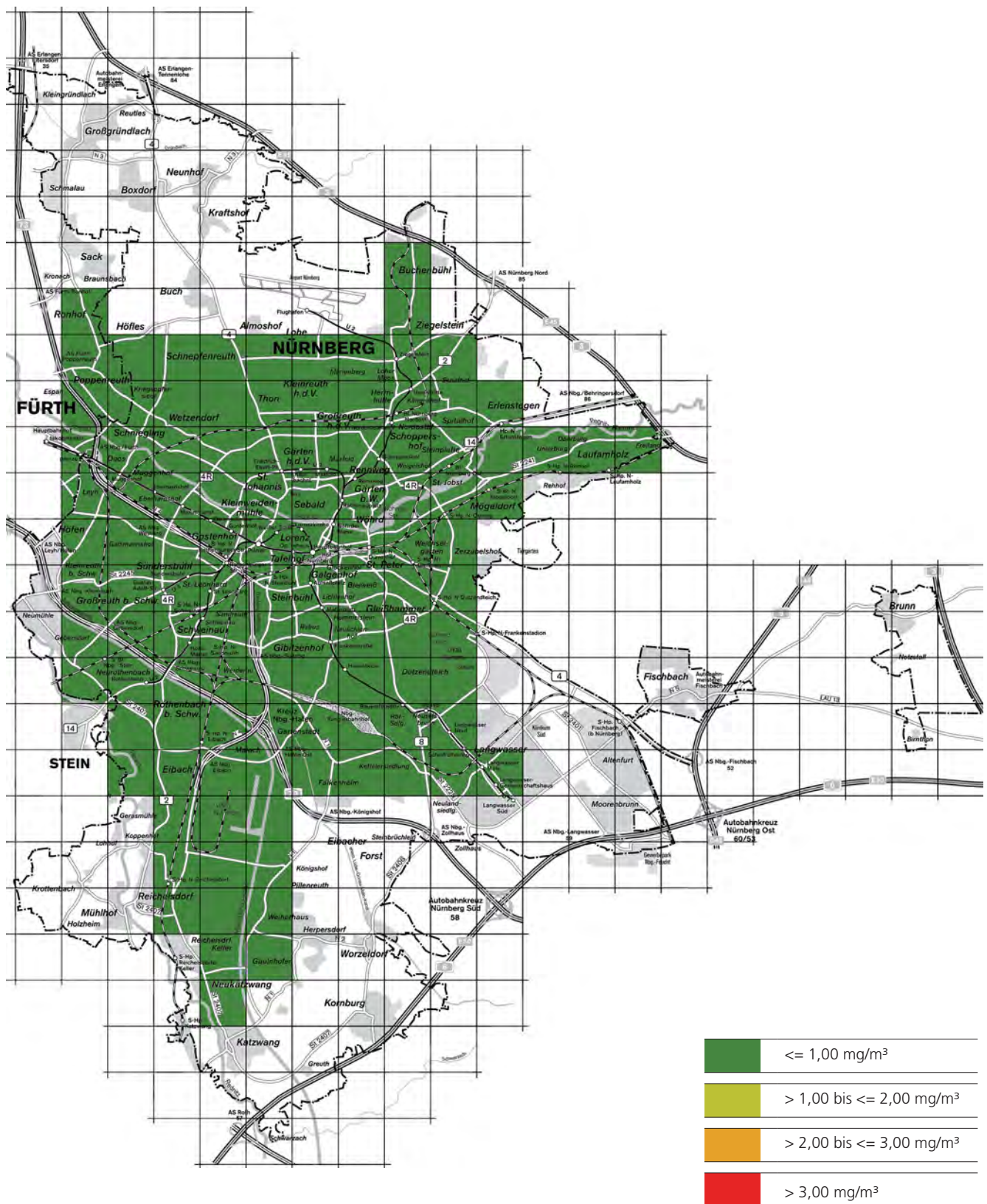
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.12 Messwerte Kohlenmonoxid (CO) 1993 - 1997



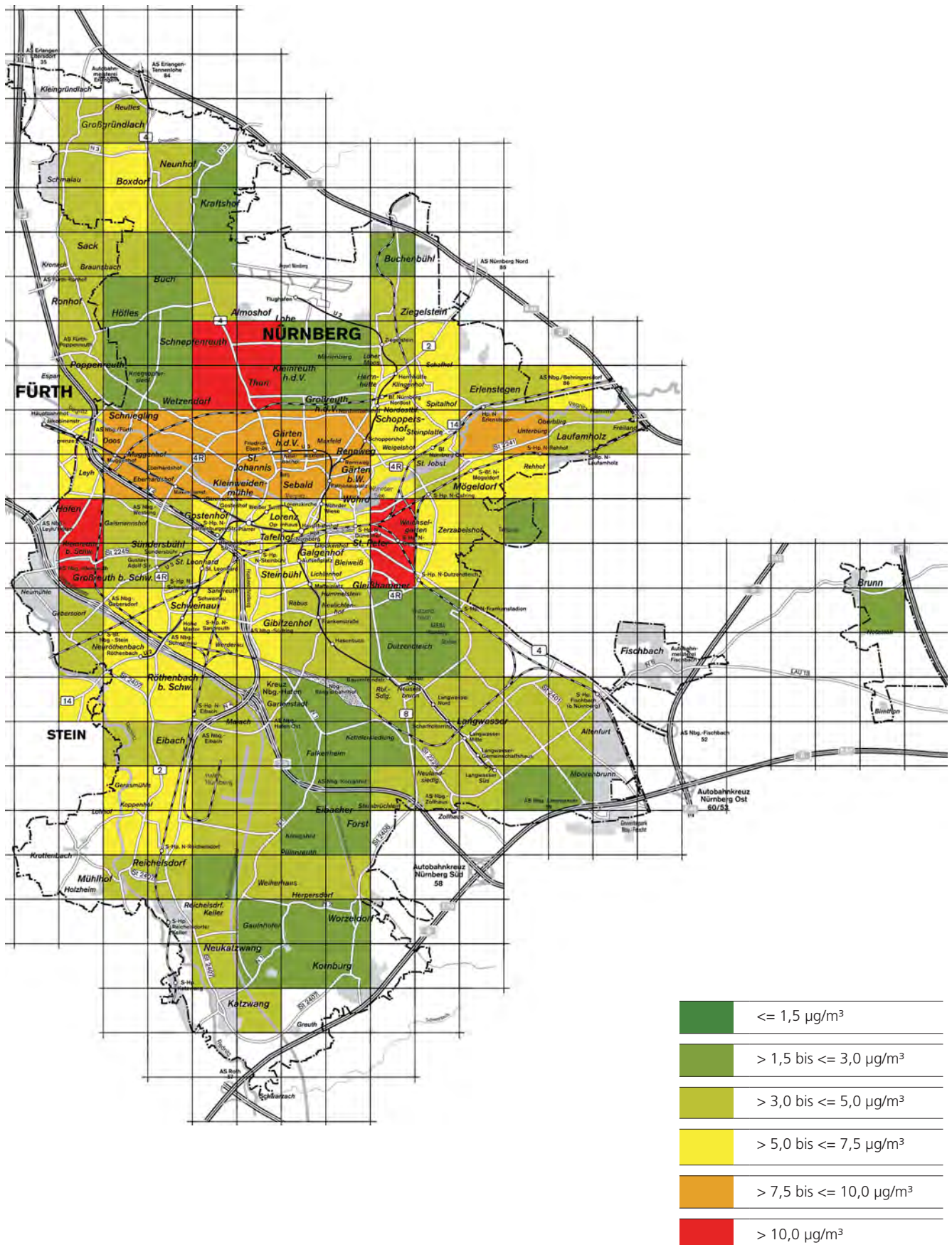
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.13 Messwerte Kohlenmonoxid (CO) 2002 - 2011



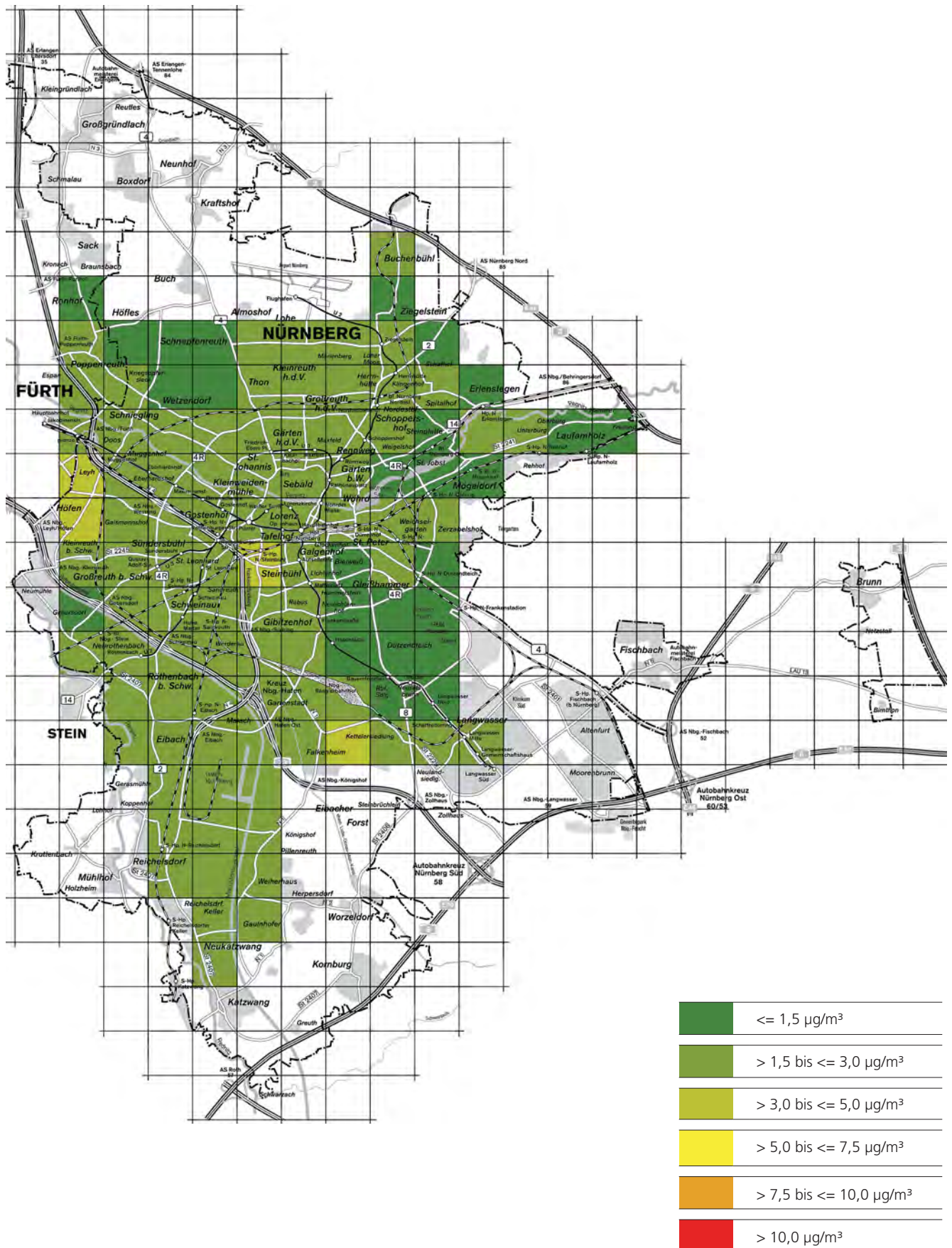
17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.14 Messwerte Benzol (C_6H_6) 1993 - 1997



17.3 Flächendeckende Messungen

17.3.15 Messwerte Benzol (C_6H_6) 2002 - 2011



17.4 Metalle im Staubbiederschlag und im Schwebstaub

17.4.1 Vergleich 1981 - 1987 mit 1993 - 1997, Tabellen

Flächen-Nr.	Staubbiederschlag mg/m ² *d		Blei (Pb) µg/m ² *d		Cadmium (Cd) µg/m ² *d		Zink (Zn) µg/m ² *d		Kupfer (Cu) µg/m ² *d	
	1981-87	1993-97	1981-87	1993-97	1981-87	1993-97	1981-87	1993-97	1981-87	1993-97
175	157,3	150,3	147,0	33,3	2,323	0,166	540,2	295,6	131,3	19,7
176	140,0	187,0	104,6	34,7	2,044	0,709	365,4	109,3	131,5	28,1
177	128,0	138,0	78,4	25,7	1,820	0,489	338,5	154,7	51,8	33,6
178	157,1	176,0	83,2	24,2	1,495	0,452	304,9	323,0	49,2	35,7
194	180,0	151,3	188,8	30,7	2,221	0,698	401,8	92,0	64,3	23,9
195	164,9	127,2	169,3	32,8	1,995	0,753	365,6	94,9	70,7	30,2
196	94,2	108,0	92,5	27,2	1,703	0,508	271,8	115,2	56,0	24,7
197	125,6	125,2	79,0	27,6	1,365	0,460	227,6	151,8	41,1	23,6
213	114,9	103,6	218,0	46,3	2,432	0,500	321,2	85,1	52,0	27,4
214	156,5	60,8	112,4	29,3	1,187	0,436	221,8	74,4	45,5	13,6
215	156,5	81,2	112,4	24,4	1,187	0,436	221,8	74,4	45,5	24,5
216	149,3	81,1	165,5	65,6	1,957	0,422	242,8	96,7	35,9	26,6
232	87,0	82,1	465,5	65,6	1,957	0,422	242,8	96,7	35,9	26,6
233	107,6	39,0	155,9	30,8	1,151	0,792	227,7	59,6	29,0	11,9
234	154,7	87,8	101,1	16,0	1,028	0,254	204,9	71,7	38,2	93,1
235	120,4	87,8	69,9	16,0	1,042	0,254	186,5	71,7	36,7	9,1
Mittelwert	137,1	111,7	121,7	30,5	1,6	0,5	290,2	115,5	57,2	22,0
Minimal	87,0	39,0	69,0	15,0	1,0	0,3	186,5	59,6	29,0	9,1
Maximal	180,0	187,0	218,0	65,6	2,4	0,8	540,2	295,6	131,5	35,7

Oben:

Metalle im Staubbiederschlag

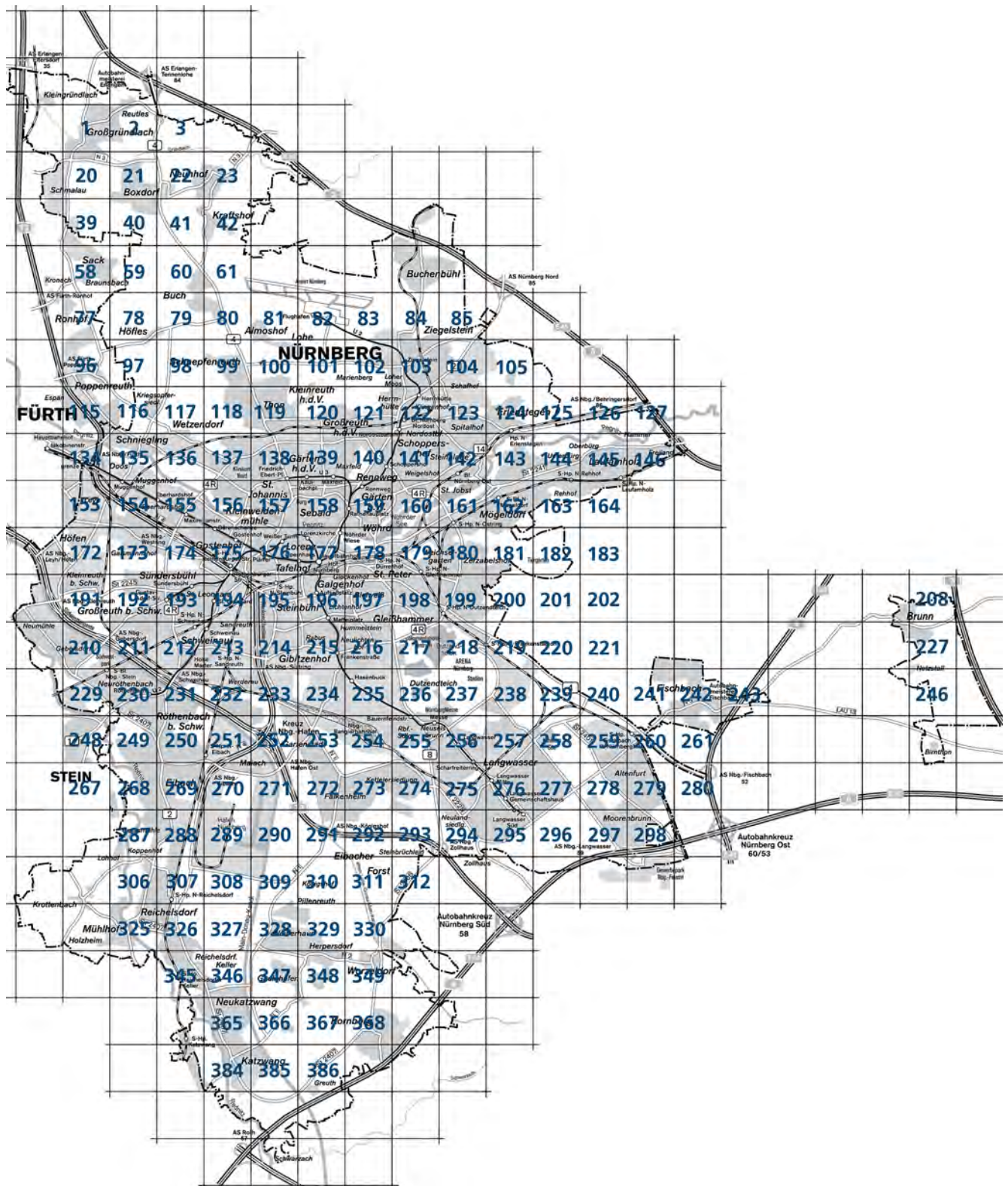
Rechts:

Metalle im Schwebstaub

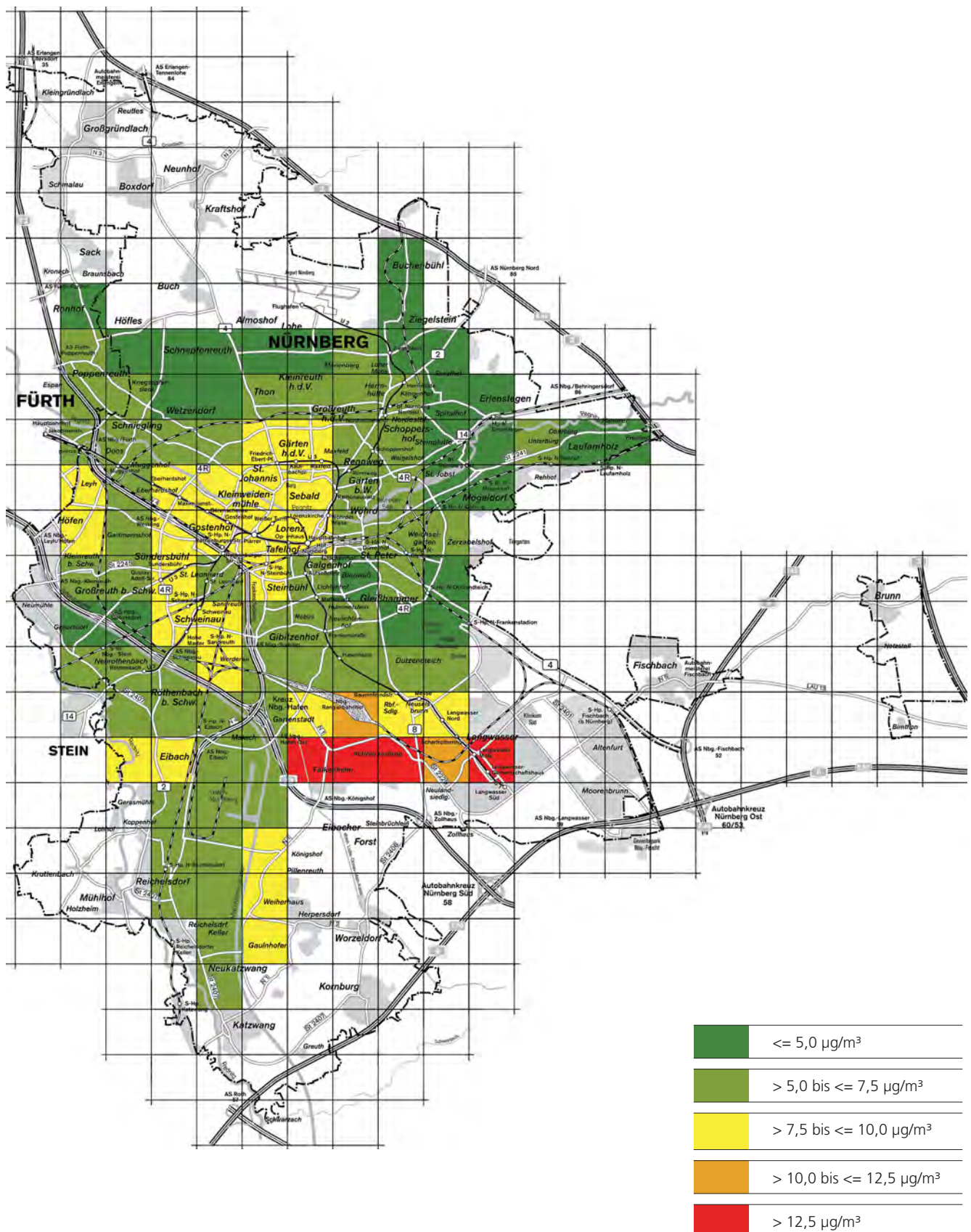
Flächen-Nr.	Schwebstaub µg/m ³		Blei (Pb) µg/m ³		Cadmium (Cd) µg/m ³	
	1981-87	1993-97	1981-87	1993-97	1981-87	1993-97
175	67,2	21,5	0,499	0,044	0,008	0,003
176	59,8	24,3	0,299	0,042	0,004	0,002
177	53,8	20,9	0,266	0,034	0,004	0,002
178	48,7	21,0	0,252	0,041	0,004	0,002
194	62,4	19,5	0,377	0,045	0,006	0,003
195	79,5	20,8	0,385	0,039	0,005	0,003
196	71,7	19,5	0,318	0,032	0,005	0,002
197	60,2	19,6	0,278	0,036	0,004	0,002
213	51,9	21,1	0,324	0,060	0,010	0,004
214	61,1	20,9	0,298	0,032	0,005	0,002
215	61,1	17,7	0,298	0,032	0,005	0,002
216	54,7	17,4	0,217	0,034	0,004	0,003
232	42,8	24,4	0,301	0,074	0,011	0,005
233	51,8	26,2	0,303	0,050	0,004	0,003
234	46,4	16,6	0,254	0,037	0,004	0,003
235	61,8	16,6	0,193	0,037	0,004	0,003
Mittelwert	58,4	20,5	0,304	0,043	0,004	0,003
Minimal	42,8	16,6	0,193	0,032	0,004	0,002
Maximal	79,5	26,2	0,499	0,074	0,011	0,007

17.4 Metalle im Staubbiederschlag und im Schwebstaub

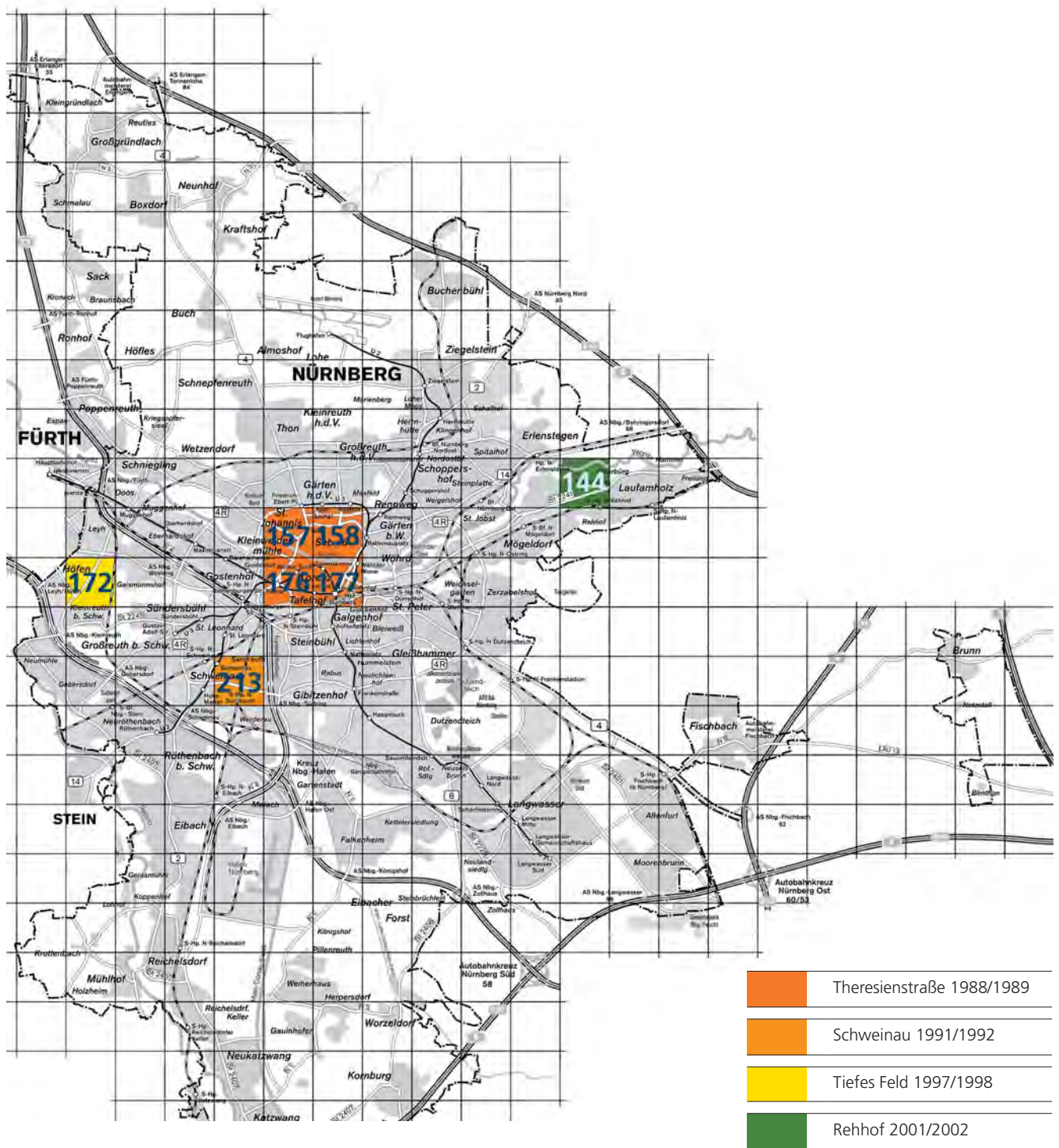
17.4.2 Vergleich 1981 - 1987 mit 1993 - 1997, Lageplan Teilflächen



17.5 Flächendeckende Messungen, Messwerte Toluol 2002 - 2011



17.6 Messprogramme über Teilflächen



17.7 Luftmessstationen, Jahresübersichten

17.7.1 Jahresmittelwerte Stickstoffdioxid (NO₂) in µg/m³

	Flughafen	Jakobsplatz *	Muggenhof	Ziegelstein	Bahnhof	Von-der-Tann-Straße	Langwasser	Olgastraße	Mögeldorf
1969									
1970									
1971									
1972									
1973									
1974									
1975									
1976									
1977					19				
1978					38				
1979					76		57	38	
1980		41					38	29	
1981		41					32	35	
1982		35			38			28	
1983		41			44		44		
1984		47			53		36	43	
1985		48			45			45	
1986		47			43		44	44	
1987		44			44		49	40	
1988		51			46		44		44
1989		53			44		51	40	37
1990		47			46		43	42	43
1991		49			50		41	44	44
1992		54			44		42	45	43
1993		46			31		42	43	44
1994		42			45		44	42	43
1995	25	38			54		47	43	
1996	30	39			46		45	46	
1997	30	35			45		45	42	
1998	29	31			45		47	39	
1999	26	30			47		45	41	
2000	27	30	39		45		39	37	
2001	26	28	34		44		42	38	
2002	33	33	36		43		42	39	
2003	31	37	40	43	43				
2004	28		38	36	43				
2005	29	37	43	40	46				
2006	29	38	37	42	47				
2007	22	34	34	35	40	53			
2008	24	35	34	36	37	55			
2009	20	30	29	37	38	53			
2010	20	34	25	34	40	50			
2011	18	33	29	30	38	49			

* bis 2003: Standort am Hauptmarkt. Wegen Umbau im Jahr 2004 kein Jahresmittelwert

17.7 Luftmessstationen, Jahresübersichten

17.7.2 Jahresmittelwerte Schwefeldioxid (SO₂) in µg/m³

	Flughafen	Jakobsplatz *	Muggenhof	Ziegelstein	Bahnhof	Von-der-Tann-Straße	Langwasser	Olgastraße	Mögeldorf
1969		100							
1970		96							
1971		78							
1972		74							
1973		76							
1974		80							
1975		48		30	30			40	
1976		54		40	60			40	
1977		49		40	50			40	
1978		54	60	40	60			60	60
1979		47	40	40	60		40	50	50
1980		49	48	52			37	53	47
1981		44	44	49	53		38	45	34
1982		42		45	50		41	43	36
1983		36		36	35		35	45	29
1984		41	35	51	34		30	36	36
1985		39	46	37	41		29	43	37
1986		38	38	26	40		27	38	29
1987		36	43	44	42		41	33	29
1988		20	19	19	19		18	21	12
1989		23	18	18	19		19	18	11
1990		22	17	18	20		19	15	15
1991		28	18	18	21		21	20	20
1992		24	15	15	17		16	15	15
1993		24	14	16	16		13	14	16
1994		21	11	13	12		10	13	13
1995	5	16	10	11	11		10	10	
1996	9	12	13	12	12		10	13	
1997	7	12	10	9	8		6	8	
1998	7	11	8	7	6		5	6	
1999	6	9	6	6	5		4	5	
2000	6	7	5	4	4		4	4	
2001	4	5	5	5	4		3	4	
2002	4	5	4		4				
2003	4	4	5		4				
2004	3		5		4				
2005	4	5	4		5				
2006	4	5			5				
2007	4	5			5				
2008	5	5			5				
2009	3	7			3				
2010	3	6			3				
2011					5				

* bis 2003: Standort am Hauptmarkt. Wegen Umbau im Jahr 2004 kein Jahresmittelwert

17.7 Luftmessstationen, Jahresübersichten

17.7.3 Jahresmittelwerte Kohlenmonoxid (CO) in mg/m³

	Flughafen	Jakobs- platz *	Muggen- hof	Ziegelstein	Bahnhof	Von-der- Tann- Straße	Lang- wasser	Olgastraße	Mögeldorf
1975				1,0	3,0			2,0	
1976				1,0	3,0			1,0	
1977				2,0	3,0			1,0	
1978				1,0	3,0			1,0	
1979				0,9	3,5			1,6	
1980				2,1	3,4			1,5	
1981				2,3	3,0			1,8	
1982				2,1	3,0			1,7	
1983				1,8	3,1			1,4	
1984				2,2	2,3			1,2	
1985				1,3	2,3			1,4	
1986				1,6	2,1			1,4	
1987				1,5	1,5			1,1	
1988				0,9	0,6			0,9	
1989				1,0	1,1			1,1	
1990					1,2			1,0	
1991				1,2	1,3			1,0	
1992				1,1	1,2			0,8	
1993				1,0	1,1			0,8	
1994				1,0	1,0			0,6	
1995	0,2			1,0	0,9			0,6	
1996	0,2			1,0	0,9			0,9	
1997	0,3			0,9	0,9			0,9	
1998	0,3			0,8	0,9			0,6	
1999	0,4			0,7	0,8			0,6	
2000	0,4		0,5	0,6	0,7			0,6	
2001	0,3		0,6	0,6	0,7			0,6	
2002	0,2		0,6	0,6	0,7			0,6	
2003	0,2		0,4	0,6	0,7				
2004	0,2		0,6	0,5	0,5				
2005	0,4		0,5	0,4	0,4				
2006	0,2		0,4		0,5				
2007	0,3		0,4						
2008	0,3		0,4						
2009	0,4		0,4						
2010	0,2		0,4						
2011	0,3		0,3						

* bis 2003: Standort am Hauptmarkt

17.7 Luftmessstationen, Jahresübersichten

17.7.4 Jahresmittelwerte Benzol (C₆H₆) in µg/m³

	Flughafen	Jakobs- platz *	Muggen- hof	Ziegelstein	Bahnhof	Von-der- Tann- Straße	Lang- wasser	Olgastraße	Mögeldorf
1975									
1976									
1977									
1978									
1979									
1980									
1981									
1982									
1983									
1984									
1985									
1986									
1987									
1988									
1989									
1990									
1991									
1992									
1993									
1994									
1995		3,2							
1996		2,1							
1997		1,5							
1998		1,5							
1999		1,8							
2000		1,0							
2001		1,0							
2002		1,4							
2003		1,1							
2004		0,8							
2005		0,7							
2006		0,7							
2007		0,4							
2008		0,3							
2009		0,8							
2010		0,9							
2011		0,8							

* bis 2003: Standort am Hauptmarkt

17.7 Luftmessstationen, Jahresübersichten

17.7.5 Jahresmittelwerte Schwebstaub in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Flughafen	Jakobs- platz *	Muggenhof	Ziegelstein	Bahnhof	Von-der- Tann-Straße	Lang- wasser	Olgastraße	Mögeldorf
1975				30	30			50	
1976					30				
1977				50	50				
1978			140	80	110		130		130
1979			50	60	60		50		60
1980			58	41	67		58		49
1981			50	35	61		51	56	43
1982				47	57		53		52
1983				37	58		40		47
1984			45	42	46		49		45
1985			51	45	49		58		43
1986			57	42	56		50		49
1987		58	62	47	65		63		61
1988		37	36	38	46		45	41	40
1989		39	42	44	53		46	43	44
1990		37	42	38	49		41	43	40
1991		38	49	42	48		43	51	49
1992		33	48	38	49		43	48	46
1993		30	48	38	45		39	48	41
1994		25	41	48	38		47	45	41
1995	23	30	47	50	37		47	45	
1996	28	35	49	51	36		47	51	
1997	26	26	42	42	31		40	42	
1998	25	25	38	40	31		39	38	
1999	19	20	33	38	28		33	34	

* bis 2003: Standort am Hauptmarkt

17.7 Luftmessstationen, Jahresmittelwerte

17.7.6 Feinstaub PM₁₀ - Jahresmittelwerte in µg/m³ / Überschreitungen

	Flughafen	Jakobs- platz *	Muggenhof	Ziegelstein	Bahnhof	Von-der- Tann-Straße	Lang- wasser	Olgastraße	Mögeldorf	zulässige Überschrei- tungen
2000	17 / 0	17	32 / 24	33 / 0	31 / -		33 / 32	28 / 19		60
2001	16 / 0	22	32 / 176	33 / 0	36 / -		30 / 155	28 / 125		55
2002	20 / 0	21	28 / 32	34 / 40	39 / 73		32 / 37	33 / 49		50
2003	25 / 3		31 / 15	35 / 20	46 / 73					45
2004	21 / 1		27 / 13	27 / 16	32 / 33					40
2005	22 / 7		27 / 20	27 / 17	30 / 33					35
2006	21 / 15	22 / 16	28 / 27	27 / 22	29 / 33					35
2007	17 / 6	19 / 6	23 / 13	23 / 12	24 / 13	29 / 25				35
2008	16 / 3	18 / 7		21 / 6	23 / 11	27 / 18				35
2009	19 / 13	20 / 9		22 / 15	26 / 18	27 / 22				35
2010	18 / 7	19 / 9		23 / 15	27 / 22	29 / 34				35
2011	18 / 7	25 / 22		23 / 18	27 / 26	29 / 32				35

* bis 2003: Standort am Hauptmarkt

Linke Zahl: Konzentration in µg/m³, rechte Zahl: Überschreitungen des Tagesgrenzwerts von 50 µg/m³ (Spalte rechts: zulässige Überschreitungen).

17.7.7 Schadstoffgehalte im Feinstaub PM₁₀ - Jahresmittelwerte

Jahr	Arsen (As) ng/m³	Blei (Pb) µg/m³	Cadmium (Cd) ng/m³	Nickel (Ni) ng/m³	Benz-a-pyren ng/m³
2000		0,015			
2001		0,018			
2002		0,018			
2003		0,014			
2004		0,012			
2005		0,011			
2006		0,010			
2007	< 2,0	0,009	0,2	1,1	
2008	0,6	0,013	0,4	1,8	0,4
2009	0,7	0,010	0,3	1,8	0,7
2010	0,7	0,009	0,2	1,5	0,7
Grenzwert / Zielwert	6,0	0,50	5,0	20	1,0

17.8 Messprogramm Güterverkehrszentrum 1994

Durchschnittswerte zeitversetzte Halbstundenmessungen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Messpunkt	Ozon	NO	NO ₂	SO ₂	CO	Ruß	Benzol	Toluol	Ethylbenzol	mp-Xylol	o-Xylol
1	3	242	64	33	2 790	10	13,2	37,1	7,3	24,3	9,7
2	8	85	36	21	1 410	5	7,6	17,2	3,6	11,6	4,6
3	6	148	56	36	2 350	7	14,5	34,3	7,1	24,3	9,8
4	11	76	48	22	1 440	3	5,7	15,3	3,2	10,1	3,8
5	8	99	42	20	1 860	4	10,3	23,7	5,7	17,3	6,9
6	5	209	55	39	2 060	9	10,6	29,2	5,6	19,4	7,2
7	9	91	65	24	1 670	4	8,9	31,4	4,7	14,8	5,7
8	3	139	48	32	1 650	6	9,6	26,3	5,1	16,7	6,5
Mittelwerte	7	136	52	28	1 904	6	10,1	26,8	5,3	17,3	6,8
Grenzwerte nach 23. BImSchV						8	10				

Durchschnittswerte 24-Stunden-Messungen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Messpunkt	Ozon	NO	NO ₂	SO ₂	CO	Ruß	Benzol	Toluol	Ethylbenzol	mp-Xylol	o-Xylol
1	3	216	63	10	2 000	8	19,4	46,3	7,9	27,3	12,5
2	2	79	45	13	1 875	4	8,5	19,0	3,9	13,4	6,0
3	4	168	42	33	2 100	11	26,8	66,4	12,0	42,6	18,7
4	2	76	35	11	1 277	3	16,8	47,0	7,9	28,1	11,5
5	1	143	38	10	1 618	6	19,1	46,9	8,1	27,6	12,0
6		321	28	24	4 295	8	11,2	29,5	5,3	18,4	7,6
7	2	174	44	11	1 838	6	14,5	38,2	6,0	20,9	9,3
Mittelwerte	3,2	168,1	42,1	16	2 143	7	16,6	41,9	7,3	25,5	11,1
Grenzwerte nach 23. BImSchV						8	10				

Messpunkt-Nr.	Standort
1	Weißburger Straße
2	Hafenstraße
3	Eibacher Hauptstraße
4	Marthweg / Einmündung Am Vogelberg
5	Katzwanger Hauptstraße
6	Finkenbrunn
7	Saarbrückener Straße
8	Marthweg, Kleingartenanlage „Am Königshof“

17.9 Immissionsmessungen nach 23. BImSchV

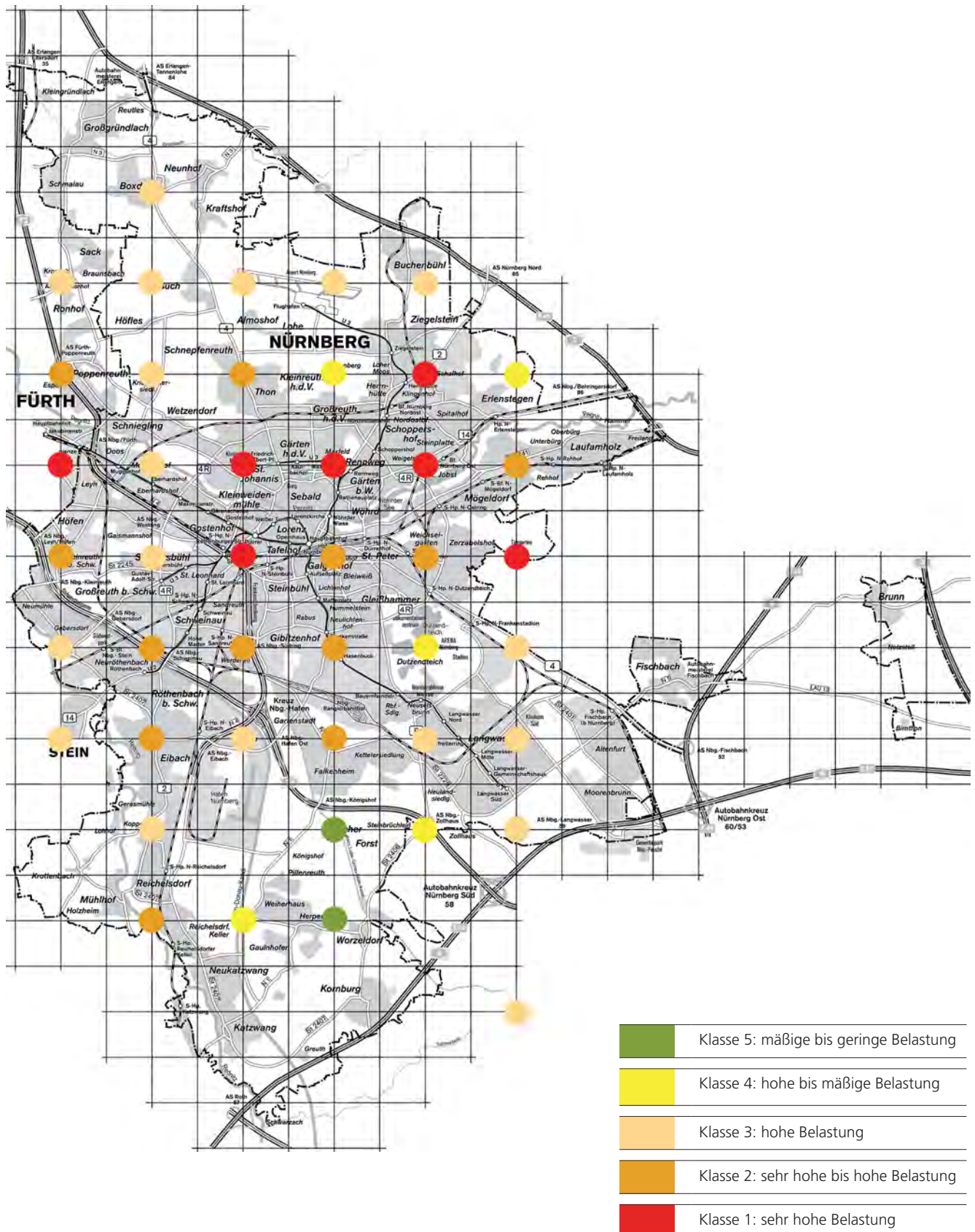
Standort	Stickstoffdioxid (NO ₂) µg/m ³		Benzol (C ₆ H ₆) µg/m ³		Dieselruß µg/m ³	
	1994/1995	1996/1997	1994/1995	1996/1997	1994/1995	1996/1997
Bucher Straße	126	112	13,5	8,1	9,6	9,0
Schnieglinger Straße	102		7,5		6,9	
Äußere Bayreuther Straße	130	103	7,8	7,2	8,5	8,8
Frankenschnellweg	111		6,1		7,1	
Von-der Tann-Straße	114	121	6,6	6,2	9,5	12,8
Äußere Laufer Gasse	106		6,6		6,3	
Sulzbacher Straße	118		8,1		7,2	
Rothenburger Straße	125		8,7		8,7	
Schweinauer Hauptstraße	103		5,8		6,3	
Gibitzenhofstraße	126		10,2		8,8	
Olgastraße (Nopitschstraße)	101		3,9		5,5	
Willy-Brand-Platz	108		4,3		5,7	
Erlenstegenstraße		102		4,8		8,2
Frauentorgraben		137		11,1		11,9
Maximilianstraße		142		10,1		13,0
Ostendstraße		115		8,8		10,7
Regensburger Straße		112		5,7		8,6
Welserstraße		117		8,0		9,6
Grenzwerte nach 23. BImSchV	160 *		10,0		8,0	

* als 98%-Wert der Halbstunden-Mittelwerte eines Jahres

17.10 Orientierende Messungen nach 22. BImSchV 2002 / 2003

Immissions-Situation	Standort	Stickstoffdioxid (NO ₂) µg/m ³	Feinstaub PM10 µg/m ³	Benzol (C ₆ H ₆) µg/m ³	Trichlorethen ng/m ³	Tetrachlorethen ng/m ³
Verkehr	Laufamholzstraße	50	38	3,1	1,0	1,8
Verkehr	Welserstraße	61	44	3,8	1,3	0,9
Verkehr	Sigmundstraße	56	37	2,9	1,6	1,1
Verkehr	Erlanger Straße	66	48	3,5	0,8	0,8
Verkehr	Bahnhof (LfU-Messstation)	44	31	2,3	1,3	1,4
Verkehr	Reichelsdorfer Hauptstraße	37	31	2,6	1,3	1,2
Industrie, Gewerbe	Hintere Marktstraße	35	32	1,9	3,4	6,7
Stadtrand / Hintergrund	Am Tiergarten	21	25	0,9	1,0	1,8
Grenzwerte nach 22. BImSchV		40	40	5,0		

17.11 Ergebnisse der Flechtenkartierung 1998



18 Verzeichnis der Abkürzungen

AOT	accumulated exposure over a threshold of 40 ppb (Belastungsmaßstab für Ozon)
ASN	Abfallwirtschaftsbetrieb Stadt Nürnberg
BaP	Benz-a-pyren
BGA	ehemaliges Bundesgesundheitsamt (1994 aufgelöst und in andere Einrichtungen eingegliedert)
BGBI	Bundesgesetzblatt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz (Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnlichen Vorgängen)
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
EU	Europäische Union
fg	Femtogramm (10^{-12} Gramm)
GVZ	Güterverkehrszentrum
IAP	index of atmospheric purity (Index zur Luftreinheit auf Grund von Flechtenkartierungen)
LAI	Länderausschuss für Immissionsschutz
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt (seit 2005, vorher Bayerisches Landesamt für Umweltschutz)
LÜB	lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern
MVA	Müllverbrennungsanlage
µg	Mikrogramm (10^{-6} Gramm)
NATO	North Atlantic Treaty Organization
ng	Nanogramm (10^{-9} Gramm)
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PBDE	polybromierte Diphenylether
PCB	polychlorierte Biphenyle
PCDD / PCDF	polychlorierte Dibenzodioxine und -furane
PM	particulate matter, z.B. PM ₁₀ = Feinstaub mit Partikelgröße kleiner 10µm
ppb	Konzentrationsangabe „Parts per Billion“ (= ein Teil auf eine Milliarde Teile)
ppm	Konzentrationsangabe „Parts per Million“ (= ein Teil auf eine Million Teile)
StMUG	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2003 bis 2008 StMUGV - Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz)
SUN	Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg, 2006 gegründet als Zusammenschluss von Stadtentwässerungsbetrieb Nürnberg und Chemischem Untersuchungsamt
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TE, TEQ	toxicity equivalent (Toxizitätsäquivalent)
TÜV	technischer Überwachungsverein
UA	Chemische Untersuchungsanstalt der Stadt Nürnberg (bis 1987), dann Chemisches Untersuchungsamt, seit 2006 Bestandteil des Eigenbetriebs Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)

19 Tabellen und Grafiken im Text

Tabelle 1	Zusammensetzung der Luft	12
Tabelle 2	Luftschadstoffe (übliche Konzentrationen)	12
Tabelle 3	Schadstoffkonzentrationen im Vergleich	21
Tabelle 4	Messergebnisse Rehhof	22
Tabelle 5	Ergebnisse von straßennahen Messungen im Jahr 1992	24
Tabelle 6	Ergebnisse straßenabschnittbezogener Messungen in den Jahren 2003 und 2004	26
Tabelle 7	Ergebnisse der Messungen im Hafengelände im Jahr 2003	27
Tabelle 8	Ergebnisse der Exposition von Graskulturen	33
Tabelle 9	PCDD / PCDF in Fichtennadeln im Jahr 1988	33
Tabelle 10	Probenahmeorte der Fichtennadel-Untersuchungen im Jahr 1993	34
Tabelle 11	Messergebnisse der Fichtennadel-Untersuchungen	34
Tabelle 12	WHO-TEQ der PCDD / PCDF in Weidelgraskulturen (Hafengebiet) im Jahr 2005	35
Tabelle 13	Emissionsdaten der Müllverbrennungsanlage in Nürnberg	36
Tabelle 14	Emissionsdaten des Heizkraftwerks Sandreuth in Nürnberg	36
Tabelle 15	Entwicklung der Fernwärme in Nürnberg	37
Tabelle 16	Emissionsgrenzwerte für PKW	38
Tabelle 17	Auswertung der Ozonmesswerte seit 2000 der Messstation Flugfeld, entsprechend der 39. BImSchV	43
Tabelle 18	Vergleich der durchschnittlichen Staubbelastung in den 1980er und 1990er Jahren	44
Tabelle 19	Untersuchung von PCDD / PCDF in der Außenluft 1992 / 1993	46
Tabelle 20	Untersuchung von PCDD / PCDF in der Außenluft 1993 / 1994	46
Tabelle 21	PAK-Konzentration in der Außenluft aus verschiedenen Messprogrammen	47
Tabelle 22	Die Maßnahmenpakete des Luftreinhalteplans	57
Grafik 1	Die Lage der Luftmessstationen im Nürnberger Stadtgebiet	23
Grafik 2	Vergleich der Stickstoffdioxid-Konzentration von West nach Ost durch das Nürnberger Stadtgebiet	40
Grafik 3	Vergleich von Luftmessdaten des Jahres 1963	49
Grafik 4	Überschreitungshäufigkeit Feinstaub PM ₁₀ (Tage pro Jahr)	50
Grafik 5	Jahresmittelwerte Stickstoffdioxid NO ₂ (µg/m ³)	50
Grafik 6	Bewertungsschema für Stickstoffdioxid- und Feinstaub-Belastung	51
Grafik 7	Vergleich der Stickstoffdioxid- und Feinstaub-Belastung in süddeutschen Städten > 500 000 Einwohner	52
Grafik 8	Vergleich der Stickstoffdioxid- und Feinstaub-Belastung in mitteldeutschen Städten < 300 000 Einwohner	53
Grafik 9	Die Entwicklung der Schwefeldioxid-Immissionen in Deutschland seit Beginn der Industrialisierung	58

Grafiken 6, 7 und 8: Erstellt durch das Umweltamt der Stadt Nürnberg

Alle weiteren Tabellen und Grafiken: Erstellt durch SUN

20 Literatur

- 1 G. Seiderer; Von der Lebensmittelüberwachungsanstalt zur Umweltbehörde. Zur Geschichte der Chemischen Untersuchungsanstalt der Stadt Nürnberg; Mitteilungen des Vereins für Geschichte der Stadt Nürnberg, 94 (2007); S. 161-195
- 2 P. J. Peterson, P. Williams; New indicator approach for effective urban air quality management; ESPR – Environment, Science & Pollution Research 6 (1999); S. 225-232
- 3 M. Wallström/ed.; Reclaiming city streets for people. Chaos or quality of life?; Brussels; 09/2004
- 4 Berna et al.; 10.1073 / Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (pnas); 1117620109
- 5 Phillips, John Arthur; A Manual of Metallurgy or Practical Treatise on the Chemistry of Metals; John Joseph Griffin and Co; London; 1852; p. 132
- 6 Garber, Kurt; Luftverunreinigungen und ihre Wirkungen; 1. Auflage; Berlin; 1967; S. 2
- 7 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft); 28. September 1964 (GMBL. S. 433)
- 8 Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität, Amtsblatt Nr. L 296 vom 21/11/1996 S. 0055 - 0063
- 9 Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV) vom 2. August 2010 BGBl. I Nr. 40 vom 05.08.2010 S. 1065
- 10 Jahresbericht 1955 der Städt. Chemischen Untersuchungsanstalt Nürnberg; Stadt Nürnberg, Stadtarchiv, Signatur AvPer 181
- 11 Jahresbericht 1957 der Städt. Chemischen Untersuchungsanstalt Nürnberg; Stadt Nürnberg, Stadtarchiv, Signatur AvPer 181
- 12 Jahresbericht 1959 der Städt. Chemischen Untersuchungsanstalt Nürnberg; Stadt Nürnberg, Stadtarchiv, Signatur AvPer 181
- 13 Stadt Nürnberg, Flächendeckendes Immissionsmeßprogramm, 1. Messbericht 1982 der Chemischen Untersuchungsanstalt
- 14 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBL. S. 511)
- 15 Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte - 22. BImSchV) vom 26. Oktober 1993, BGBl. I, S. 1819
- 16 Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten - 23. BImSchV) vom 16.12.1996, BGBl. I S. 1962
- 17 Stadt Nürnberg, Chemisches Untersuchungsamt: Umsetzung der neuen Europäischen Luftgüterichtlinien auf lokaler Ebene, Symposium in Nürnberg vom 2. bis 3. Oktober 2000
- 18 Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, Amtsblatt Nr. L 152 vom 11/06/2008 S. 0001 - 0044
- 19 Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 13. Oktober 1998 über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren und zur Änderung der Richtlinie 93/12/EWG des Rates (ABl. L 350 vom 28.12.1998, S. 58)
- 20 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) vom 27. Februar 1986 (GMBL. S. 95)
- 21 P. Pluschke, Raum- und zeitbezogene Auswertung von Luftmeßdaten als Bewertungshilfe für umweltpolitische und stadtplanerische Entscheidungen, in: J. Klaus (Hrsg.), Neuorientierungen in der Umweltökonomie, Dettelbach 1994, 363 – 376.
- 22 P. Pluschke, Monitoring Local Air Quality: The Spatial and Temporal Pattern of Air Pollution Caused by Mobile Sources in the City of Nürnberg/Germany, Proc. 10th World Clean Air Congress, Espoo 1995, Vol. 2, 220.
- 23 Stadt Nürnberg, Flächendeckendes Immissionsmeßprogramm, 2. Meßbericht 1983 der Chemischen Untersuchungsanstalt
- 24 Stadt Nürnberg, Flächendeckendes Immissionsmeßprogramm, 3. Meßbericht 1984 der Chemischen Untersuchungsanstalt
- 25 Stadt Nürnberg, Flächendeckendes Immissionsmeßprogramm, 4. Meßbericht 1985 der Chemischen Untersuchungsanstalt
- 26 Stadt Nürnberg, Flächendeckendes Immissionsmeßprogramm, 5. Meßbericht 1988 der Chemischen Untersuchungsanstalt
- 27 Stadt Nürnberg, Umweltreferat, Chemisches Untersuchungsamt, Umweltschutzamt, Daten zur Nürnberger Umwelt, Sonderheft: Ergebnisse und Konsequenzen des Immissionsmeßprogramms im Bereich Schweinau/St. Leonhard/Sandreuth/Werderau; Nürnberg 1992
- 28 P. Herzner; I. Lauterbach; W. Balzer; P. Pluschke, In der Südstadt stinkt's – aber keiner will's gewesen sein. Ursachenklärung und Konfliktmanagement im Falle einer episodischen, räumlich verstreuten Geruchsbelästigung, VDI – Berichte Nr. 1373, Düsseldorf 1998, 453 – 464
- 29 TÜV Umwelt Service: Immissionsmessungen verkehrsbedingter Schadstoffe im Freistaat Bayern 1996 - 1998, im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz
- 30 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Messbericht über Schadstoff-Immissionsmessungen im Untersuchungsgebiet Nürnberg-Fürth-Erlangen 2002/2003

- 31 Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen vom 10. Dezember 1990 (BGBl. I S. 2694), zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. Dezember 2010 (BGBl. I S. 2194) geändert
- 32 Rösch, L. (1981): Die epiphytische Flechtenvegetation des Ballungsraumes Nürnberg/Fürth und ihre Beziehung zur lufthygienischen Situation. Diplomarbeit an der Fachhochschule Gießen-Friedberg, Fachbereich Technisches Gesundheitswesen, unveröff.
- 33 Windisch, U., Vorbeck, A. (1998): Kartierung der epiphytische Flechtenvegetation zur Beurteilung der Luftqualität der Stadt Nürnberg, im Auftrag des Chemischen Untersuchungsamtes der Stadt Nürnberg
- 34 European Commission, Directorate General XI, Urban Environment Unit: Bio-indication of Air Quality in Urban Areas, Final Report - Volume 1/4, August 1997
- 35 Thomas, W.: Entwicklung eines Emissionsmeßsystems für PCA, Chlorkohlenswasserstoffe und Spurenmetalle mittels epiphytischer Moose - angewandt auf den Raum Bayern, Bayreuther wissenschaftliche Arbeiten, Band 3; 1981
- 36 Reischl, A., Reissinger, M., Thoma, H., Hutzinger, O.: Bioindikation luftgetragener Dioxine und Furane mit Hilfe von Fichtenadeln. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), München 1991
- 37 Bayerisches Landesamt für Umwelt (2009): Schredderanlagen und Abfalldeponien – relevante Sekundärquellen für dioxin-ähnliche PCB und verwandte persistente Schadstoffe
- 38 Stadt Nürnberg, Statistisches Jahrbuch 1972
- 39 Stadt Nürnberg, Statistisches Jahrbuch 1981
- 40 Stadt Nürnberg, Statistisches Jahrbuch 1991
- 41 Stadt Nürnberg, Statistisches Jahrbuch 2011
- 42 Struschka, M., Kilgus, D., Springmann, M., Baumbach, G.: Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung, Umweltbundesamt 2007, Berichtsnummer UBA-FB 205 42 322
- 43 Statistisches Bundesamt Deutschland: Trend zum spritsparenden Auto bremst Kraftstoffverbrauch; Destatis, 21. Januar 2010
- 44 ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Forschungsbericht „Szenarien zur Entwicklung der NO₂-Immissionsbelastung an verkehrsnahen Luftmessstationen in Bayern“, Heidelberg, April 2011
- 45 Stadt Nürnberg, Statistisches Jahrbuch 1984
- 46 Stadt Nürnberg, Statistisches Jahrbuch 2007
- 47 Balzer, W., Pluschke, P.: Secondary formation of PCDD/F during the thermal stabilization of sewage sludge, Chemosphere 1994; 29 (9 - 11) 1989 - 1902
- 48 Rappolder, M., Schröter-Kermani, C.: Dioxine und dioxinähnliche PCB – Ein Umweltproblem von gestern? UMID. Umwelt und Mensch – Informationsdienst, Nr. 1/2011, Seite 5 - 11
- 49 Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (1995): Immissionen von polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofuranen in Bayern, Materialien Band 113
- 50 Bundesgesundheitsamt: Dioxine und Furane – ihr Einfluss auf Umwelt und Gesundheit; Bundesgesundheitsblatt, Sonderheft 93
- 51 Mücke, W., Seinmetzer, H.-C., Stumpp, J., Baumeister, W., Boneberg, R., Vierle, O.: PAK-Immissionskonzentrationen - Ergebnisse mehrjähriger Messungen polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Bayern. UWSZ - Z. Umweltchem. Ökotox 3 (3) 176 - 179 (1991)
- 52 Bogdanski, R., Schaller, U., Pluschke, P., Köppel, K., Balzer, W., Herzner, P., Harrer, R.: Die Verbesserung der Luftqualität in Nürnberg; http://www.bast.de/cln_031/nn_789794/DE/Publikationen/Veranstaltungen/V3-Luftqualitaet-2011/luftqualit_C3_A4t.html
- 53 B. Fjeld, Forbruk av fossilt brensel i Europa og utslipp av SO₂ i perioden 1900 – 1972 (in norwegischer Sprache), Teknisk Notat No. 1/76, NILU (Norwegian Institute for Air Research); Kjeller/Norway 1976
- 54 J. Bettelheim; A. Litter, Historical trends of sulphur oxide emissions in Europe since 1865, CEEB Report PL-GS/E/1/79, London/England 1979
- 55 S. Mylona, Sulphur dioxide emissions in Europe 1880-1991 and their effect on sulphur concentrations and depositions, Tellus 48B, 662 – 689, 1996

