



## **Analyse der erhöhten Stickstoffdioxidbelastung an Hamburger Verkehrsmessstationen 2002 und 2003**

### **1. Einleitung und Veranlassung**

2002 wurde erstmalig in Hamburg beim Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) die Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge der 22. BImSchV - § 3, Absätze (4) und (5) -, überschritten. Nach § 47 des BImSchG hat somit die zuständige Behörde einen Luftreinhalteplan aufzustellen.

Die Überschreitungen traten an den drei Verkehrsmessstationen Stresemannstraße, Max-Brauer-Allee und Habichtstraße auf. Da in 2003 gegenüber dem Vorjahr eine Zunahme der Belastung durch NO<sub>2</sub> zu registrieren war, gab es an den o. g. Stationen erneut eine Überschreitung der Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge und es kam noch eine vierte Überschreitung an der Kieler Straße neu hinzu.

Vor diesem Hintergrund wurde HU43 in einem ersten Gespräch der an einer Luftreinhalteplanung beteiligten Dienststellen gebeten, eine detaillierte Darstellung der Immissionssituation hinsichtlich NO<sub>2</sub> in Hamburg generell und an den o. g. Verkehrsmessstationen im Besonderen vorzulegen.

### **2. Entstehung und Emissionen von Stickoxiden**

Die Stickoxide, Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) gelangen hauptsächlich als Nebenprodukt von Verbrennungsvorgängen in die Atmosphäre. Sie entstehen dabei durch Oxidation des Luftstickstoffs und liegen bei der Emission im Allgemeinen zu über 90 % als Stickstoffmonoxid NO vor. Das NO wird dann in der Atmosphäre zügig zum NO<sub>2</sub> oxidiert. Die hauptsächlichsten Emissionsquellen für Stickoxide sind Industrie inklusive Kraftwerke, Gebäudeheizung und der Verkehr.

In der Broschüre "Luftreinhaltung in Hamburg 1982 bis 2000" sind für das Jahr 2000 folgende NO<sub>x</sub>-Emissionen für Hamburg angegeben:

Industrie, Kraftwerke (Inkl. Wedel)	6.576 t (29 %)
Hausbrand	2.600 t (12 %)
Kfz-Verkehr	10.000 t (45 %)
übriger Verkehr	3.262 t (15 %)
<hr/>	
Summe	22.438 t

### **3. Grundzüge der räumlichen Belastungsstruktur**

Die Stickstoffdioxidbelastung in einem Ballungsraum wie Hamburg ergibt sich aus der Überlagerung einer weiträumig vorhandenen Grundbelastung, der urbanen, im Ballungsraum erzeugten Belastung und ggf. einer lokalen vor Ort erzeugten Zusatzbelastung.

Die Summe aller Quellen im Ballungsraum gemeinsam mit der weiträumig vorhandenen Grundbelastung verursacht die urbane Belastung. Da die Emissionsdichte sowohl beim Kfz-Verkehr wie auch bei den industriellen Quellen im Zentrum Hamburgs am größten ist, ist hier auch die urbane Belastung am höchsten. Generell nimmt die urbane Belastung zu den Stadtrandgebieten dann ab. Vor allem bedingt durch den Kfz-Verkehr, dessen Emissionen bodennah direkt in den Umgebungsbereich des Menschen erfolgen, addiert sich auf die urbane Hintergrundbelastung ggf. lokal eine Zusatzbelastung, die u. a. von Verkehrsnähe, Verkehrsstärke und –zusammensetzung und der Bebauungsstruktur abhängt.

#### 4. Einflussgrößen auf die Höhe der NO<sub>2</sub>-Belastung

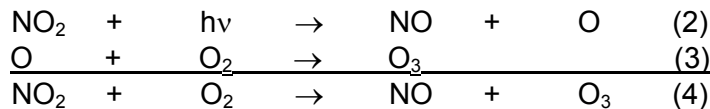
Die Höhe der NO<sub>2</sub>-Belastung hängt von einer Vielzahl von Einflussgrößen ab. Ein wichtiger Punkt ist die Stärke und Lage von Stickoxid-Emissionsquellen. Für die lokale Belastung können insbesondere die in unmittelbarer Nähe erzeugten Emissionen entscheidend sein.

Weiterhin ist maßgeblich, dass bei den Stickoxiden ein Mehrstoffsystem vorliegt. Die Emission erfolgt weit überwiegend als NO (s. o.). Die Oxidation des NO zu NO<sub>2</sub> verläuft zur Hauptsache über Ozon:



Sie kann tagsüber aber auch ohne Ozonverbrauch über photochemisch sehr aktive Peroxiradikale (HO<sub>2</sub> bzw. RO<sub>2</sub> / R = organischer Rest) ablaufen.

Das NO<sub>2</sub>-Molekül andererseits wird durch die Lichtenergie des Tageslichts gespalten (photolytisch) und das dabei entstehende Sauerstoffatom setzt sich sofort zu Ozon um; in der Summe (2) und (3) zu (4) ergibt sich die Rückreaktion zu Reaktion (1):



Die Gleichgewichtslage zwischen NO<sub>2</sub>-Bildungs- und Abbaureaktionen hängt u. a. von einer Reihe von Faktoren wie z. B. von der NO- und O<sub>3</sub>-Konzentration, der Sonneneinstrahlung und dem photochemischen Oxidationspotential der Atmosphäre ab. Weiterhin kann das NO<sub>2</sub> neben der Photolyse auch durch Weiterreaktion zu anderen Verbindungen, z. B. Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>), oxidiert und damit aus der Luft entfernt werden.

Typisch ist z. B. für einen ozonreichen Sommertag, dass mit dem Anstieg der Ozonbildung am Vormittag die NO<sub>2</sub>-Konzentration im urbanen Hintergrund zurückgeht, da hier der photolytisch-photochemische NO<sub>2</sub>-Abbau dominiert. In belasteten Straßen dagegen herrscht durch ständig neue Emission ein starker NO-Überschuss, so dass bei Eintrag ozonhaltiger Umgebungsluft nach Reaktion (1) die zusätzliche NO<sub>2</sub>-Bildung den Abbau überwiegt (siehe Abbildung).

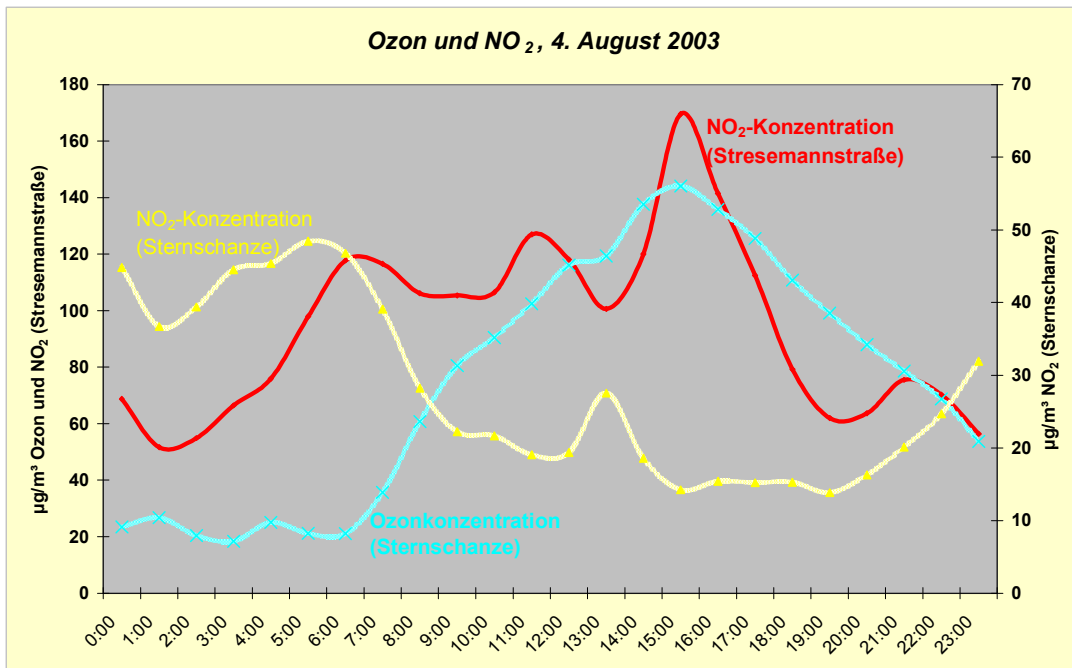


Abbildung 1: Verlauf von NO<sub>2</sub>- und O<sub>3</sub>-Konzentration am Beispiel eines schönen Sommertages im urbanen Hintergrund (Sternschanze) und einer Verkehrsmessstation (Stresemannstraße)

Neben der Emission und den luftchemischen Umsetzungen wirkt sich die Durchmischung und Turbulenz der unteren Atmosphäre auf die Höhe der NO<sub>2</sub>-Konzentration aus. Im Jahresverlauf ist die Durchmischung im Sommer grundsätzlich besser als im Winterhalbjahr; im Tagesverlauf nimmt die Turbulenz im Allgemeinen mit der Tagestemperatur zu, auch die Windstärke ist im Durchschnitt tagsüber größer als in den Abend- und Nachtstunden.

Alle Effekte gemeinsam bewirken, dass im Langzeitmittel die großflächige NO<sub>2</sub>-Konzentration im Sommerhalbjahr niedriger ist als im Jahresmittel, an den Verkehrsmessstationen dagegen höher (siehe Abbildung auf der folgenden Seite).

Der Anteil, den das NO<sub>2</sub> an einer gemessenen Gesamtstickoxidbelastung hat, ist grundsätzlich ein qualitatives Maß für die Nähe beeinflussender Stickoxidquellen. Da die Umwandlung von NO in NO<sub>2</sub> Zeit benötigt, ist in Quellnähe der NO<sub>2</sub>-Anteil relativ gering und er nimmt mit der Quellentfernung zu – so betrug er im Durchschnitt 2003 in der Stresemannstraße 40 %, an der Sternschanze 64 %, Richtung Stadtrand in Blankenese 73 % und an der ländlichen Hintergrundstation Bornhöved 82 %.

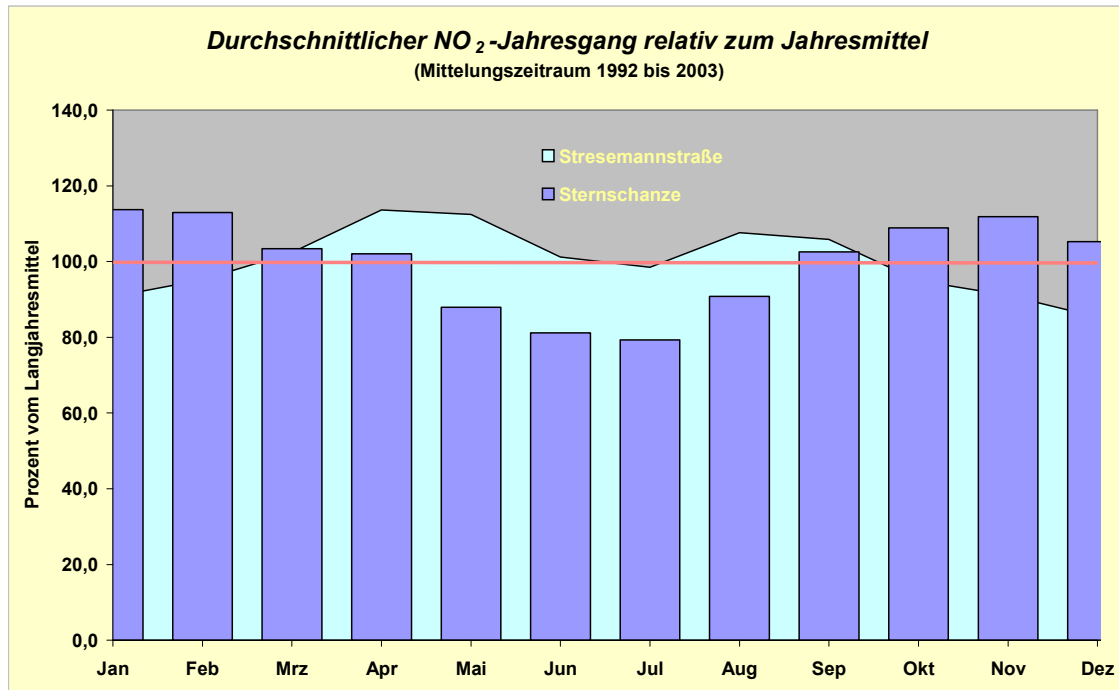


Abbildung 2: Jahresgang in Bezug auf den Jahresmittelwert, urbaner Hintergrund (Sternschanze) und Verkehrsmessstation (Stresemannstraße)

## 5. Die Stickoxidbelastung in den Jahren 2002 und 2003

Die weiträumige (ländliche) Hintergrundbelastung wird nach Einschätzung der Fachkollegen der Lufthygienischen Überwachung Schleswig-Holstein (LÜSH) im Staatlichen Umweltamt Itzehoe durch die Ergebnisse der LÜSH-Station Bornhöved repräsentiert.

Die Ergebnisse der Hamburger Messstationen wurden der Übersichtlichkeit halber je nach Lage und Ergebnishöhe gruppiert in die Kategorien

- Stadtrand (Stationen Blankenese, Bramfeld, Neugraben, Tatenberg)
- niedrige städtische Belastung (Stationen Bergedorf, Harburg)
- städtische Belastung (Stationen Billbrook, Sternschanze, Wilhelmsburg)
- hohe städtische Belastung (Station Veddel)
- Verkehrsmessstationen

Die Ergebnisse für die Jahre 2002 und 2003 sind der Tabelle auf der nächsten Seite zu entnehmen.

Die NO<sub>2</sub>-Belastung in den Außenbezirken liegt gegenwärtig ca. 5 µg/m<sup>3</sup> höher als die ländliche Hintergrundbelastung in Schleswig-Holstein, die seit den achtziger Jahren bis heute mehr oder weniger unverändert geblieben ist. Die (inner-) städtische Belastung liegt wiederum etwa 10 µg/m<sup>3</sup> höher als am Stadtrand. Dazwischen gibt es natürlich einen gleitenden Übergang, die Mitte wird als 'niedrige städtische Belastung' eingestuft.

	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		NO (µg/m <sup>3</sup> )		NO <sub>2</sub> -Anteil (Prozent)	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003
ländlicher Hintergrund (Bornhöved/SH)	14	14	2	2	82	82
Stadtrand	18	20	5	6	71	67
niedrige städtische Belastung	21	26	7	9	68	66
städtische Belastung	28	30	10	14	65	60
hohe städtische Belastung	39	44	30	34	46	46
Minimum Verkehrsmessstationen	46	50	36	36	46	48
Maximum Verkehrsmessstationen	60	69	88	95	31	32

Tabelle 1: Belastungsstruktur Stickoxide in Hamburg

Je nach den besonderen örtlichen Gegebenheiten können die Ergebnisse einzelner Messstationen aus diesem eher generellen Schema herausragen:

- Die Station Flughafen würde auf Grund ihrer Lage eher in die Kategorie 'Stadtrand' oder 'niedrige städtische Belastung' fallen, aber durch die Nähe zur Flughafenumgehungsstraße und zum Flugverkehr liegen die Messwerte auf dem höheren Niveau der 'städtischen Belastung'.
- Die Station Veddel besitzt durch ihre Nähe zu Industrie und zu starkem Verkehr auf der A 255 eine um 10 bis 15 µg/m<sup>3</sup> höhere Belastung als das generelle städtische Niveau, ohne eine Verkehrsmessstation zu sein; ihre Ergebnisse wurden deshalb als 'hohe städtische Belastung' kategorisiert.

Die Belastung an den Verkehrsmessstationen am Straßenrand stark befahrener und bebauter Straßen liegt knapp 20 bis über 30 µg/m<sup>3</sup> über dem allgemeinen städtischen Belastungsniveau.

## 6. Analyse der lokalen Belastungssituation an den Verkehrsmessstellen

### 6.1 Lagebeschreibung

Die drei Verkehrsmessstellen Stresemannstraße, Max-Brauer-Allee und Kieler Straße liegen relativ nah beieinander in Altona und sind jeweils nur ca. 1 km voneinander entfernt. Die städtische Messstation Sternschanze liegt unweit östlich davon, mit dem geringsten Abstand von ca. 800 m zum Messort Stresemannstraße und der größten Entfernung von rund 1.900 m zur Max-Brauer-Allee.

Die Station Sternschanze liegt beim U-Bahnhofs Sternschanze im Sternschanzenpark mit einem Abstand von 180 m zur westlich von ihr gelegenen Schanzenstraße. Sie ist damit dem direkten Verkehrseinfluss entzogen und repräsentiert dadurch sehr gut die urbane Hintergrundbelastung ohne den lokalen Verkehrseinfluss in diesem Gebiet.

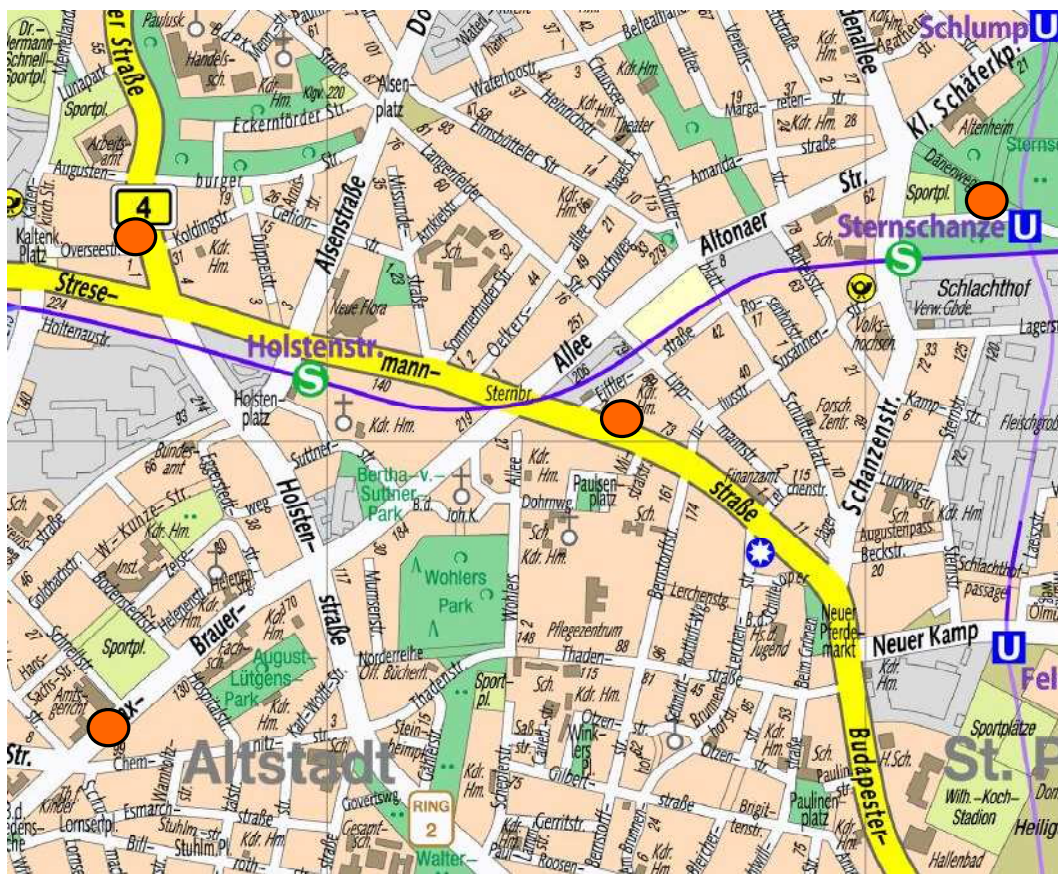


Abbildung 3: Lage der Stationen Sternschanze, Stresemannstraße, Kieler Straße und Max-Brauer-Allee

Die Verkehrsmessstation Habichtstraße am Ring 2 liegt in Barmbek-Nord und ist rund 6 km vom Stadtzentrum entfernt. Die Umgebung ist als typisch städtisches Gebiet einzustufen. Leider gibt es im näheren Umfeld keine Messstation, deren Daten als repräsentativ für die dortige Hintergrundbelastung herangezogen werden kann. Die nächstgelegene Station im Nordosten ist die Station Bramfeld beim Umweltzentrum Karlshöhe, ca. 5,5 km entfernt, deren Belastung der Kategorie 'Stadttrand' zugeordnet wurde. Im Südosten ist die nächste Messstelle die Messstation Billbrook, bereits über 7 km entfernt (Kategorie 'städtisch').

Bis Anfang der neunziger Jahre bestanden noch die Stationen Stadtpark und Wandsbek-Gartenstadt, ungefähr 1,6 km westlich bzw. 2,8 km östlich der Habichtstraße gelegen. Sie zeigten Stickoxidbelastungen, die ungefähr in der Mitte zwischen den Ergebnissen der Station Sternschanze und der Station Tatenberg lagen, was der vorn genannten Kategorie 'niedrige städtische Belastung' entspricht. Daher erscheint es plausibel, für den Standort Habichtstraße eine urbane Hintergrundbelastung in Höhe der 'niedrigen städtischen Belastung' anzunehmen, was auch gut mit der größeren Entfernung zum Stadtzentrum korrespondiert.

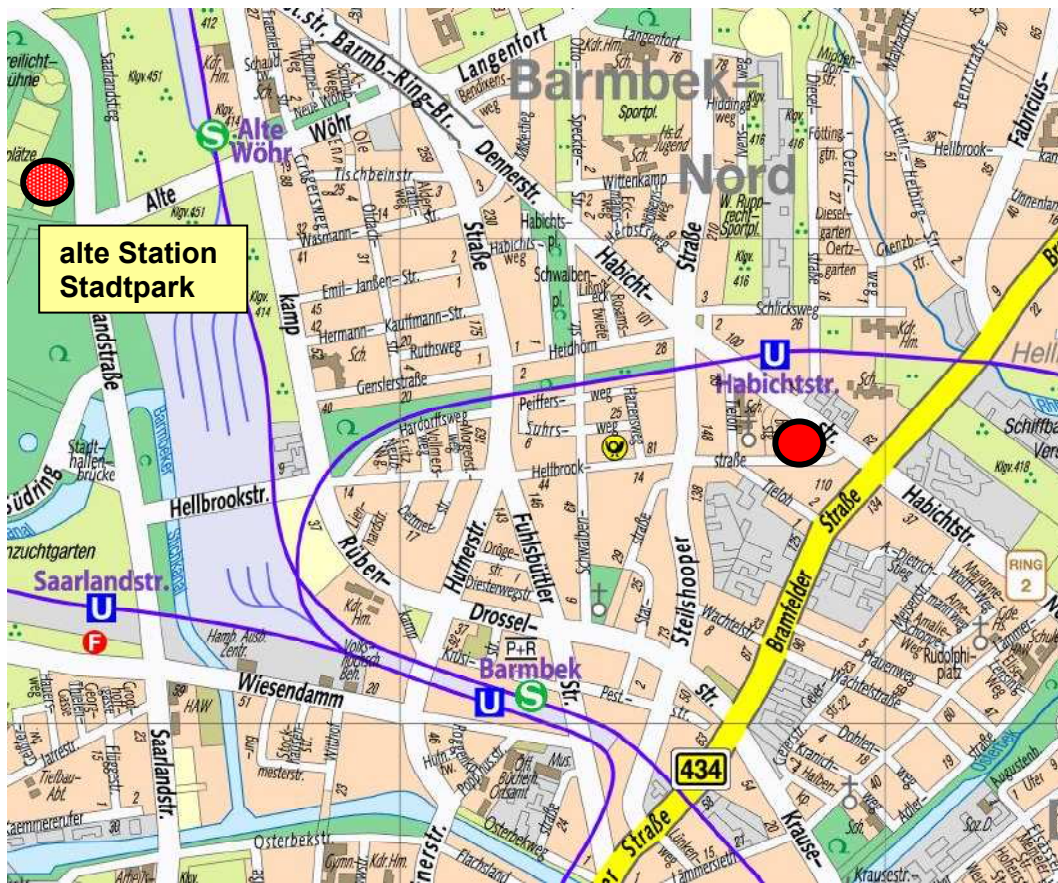


Abbildung 4: Lage der Verkehrsmessstation Habichtstraße

## 6.2 Die Belastung an den vier Verkehrsmessstationen

Die Jahresmittelwerte der Stickoxidbelastung an den vier Verkehrsmessstationen sind in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgeführt. Die Tabelle wird ergänzt um die Daten für die jeweilige urbane Hintergrundbelastung, die nach den im vorigen Abschnitt erläuterten Lagekriterien anzunehmen ist.

Die durch lokale Quellen bedingte Zusatzbelastung ergibt sich näherungsweise als Differenz zwischen der Belastung an der Verkehrsmessstelle und der urbanen Hintergrundbelastung. In der Tabelle 2 sind auch diese Daten für die Jahre 2002 und 2003 entsprechend zusammengestellt.

Die höchsten Zusatzbelastungen ergeben sich danach für die Habichtstraße und nur eine etwas geringere für die Max-Brauer-Allee. Die niedrigsten Werte berechnen sich für die Kieler Straße, nur wenig höhere Werte für die Stresemannstraße

An der gesamten Stickoxid-Zusatzbelastung hat das Stickstoffmonoxid den weitaus größten Anteil, nur ungefähr ein Viertel entfällt auf das Stickstoffdioxid. Gleichwohl wird auf Grund dieser Abschätzung je nach Straße etwa 50 bis 60 % der  $\text{NO}_2$ -Belastung durch den örtlich vorhandenen Straßenverkehr verursacht.

	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		NO (µg/m <sup>3</sup> )		NO <sub>x</sub> (als µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> )	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Belastung Kieler Straße	53	60	61	61	147	154
Belastung Max-Brauer-Allee	60	68	88	89	195	204
Belastung Stresemannstraße	58	63	61	62	152	158
<i>urbaner Hintergrund "Sternschanze"</i>	29	32	9	12	43	50
Zusatz Kieler Straße	24	28	52	49	104	104
Zusatz Max-Brauer-Allee	31	36	79	77	152	154
Zusatz Stresemannstraße	29	31	52	50	109	108
Habichtstraße	59	69	87	95	192	215
<i>niedrige städtische Belastung</i>	21	26	7	9	32	40
Zusatz Habichtstraße	38	43	80	86	160	175

Tabelle 2: Schätzung der Stickoxid-Zusatzbelastung an den 4 Straßenmessstellen

Für eine grobe Quellenzuordnung ergeben sich somit für die Verkehrsmessstationen folgende Budgets:

- weiträumige Hintergrundbelastung 14 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>
- Beitrag der Summe urbaner Quellen 7 – 18 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>
- Beitrag des lokalen Verkehrs 24 – 43 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>

Die Summe der urbanen Quellen umfasst alle industriellen und gewerblichen Quellen, Hausbrand und den großräumig vorhandenen Verkehr und lässt sich aus den Immissionsdaten nicht weiter aufschlüsseln.

### 6.3 Verlauf der Monatswerte in den Jahren 2002 und 2003

In den beiden folgenden Diagrammen der Abbildung 5 ist der Verlauf der NO<sub>2</sub>-Monatsmittelwerte für die Jahre 2002 und 2003 gezeigt. Dabei wurden jeweils zwei Verkehrsmessstationen in einer Grafik zusammengefasst.

Neben durchaus vorhandenen Unterschieden sind auch Gemeinsamkeiten in den Verläufen zu erkennen. Die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Dezember 2002 und 2003 gehören einheitlich zu den niedrigsten Monatswerten, auch der Januar 2002 zeigt geringe Werte ebenso wie der Juni 2002; davon abweichend erkennt man allerdings zu Beginn des Jahres 2002 an der Station Habichtstraße einen anderen Verlauf. Hohe Monatsbelastungen finden sich vor allem im Mai (außer Stresemannstraße) und September 2003, aber auch im April (außer Habichtstraße) und im September bzw. August/September 2002.



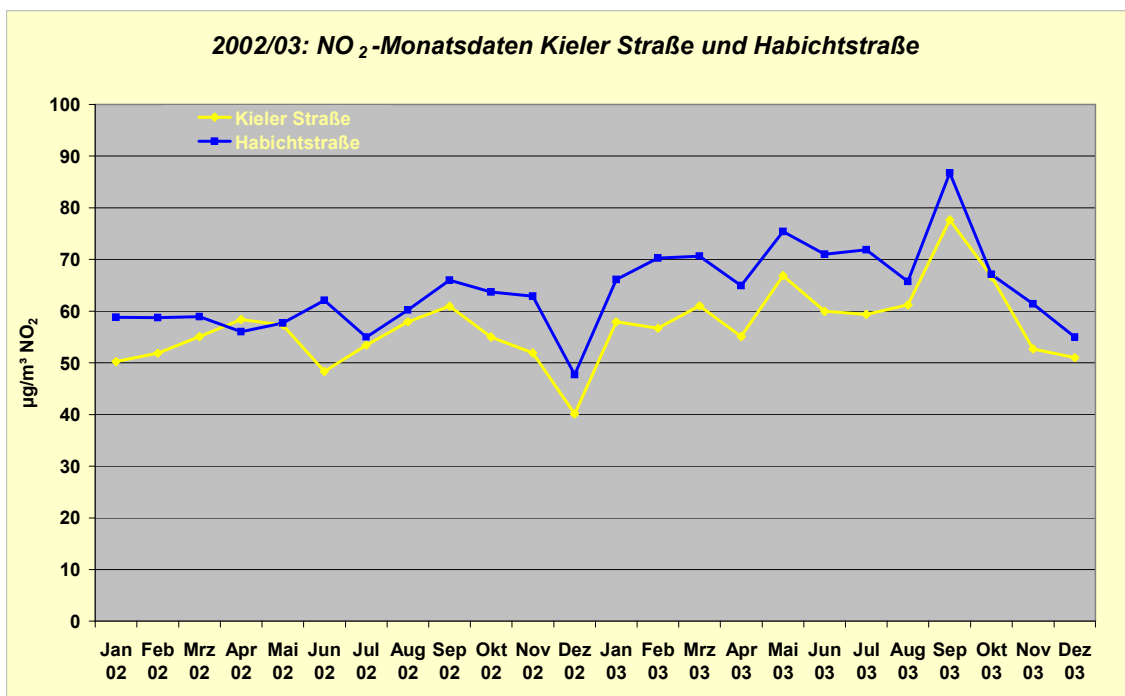
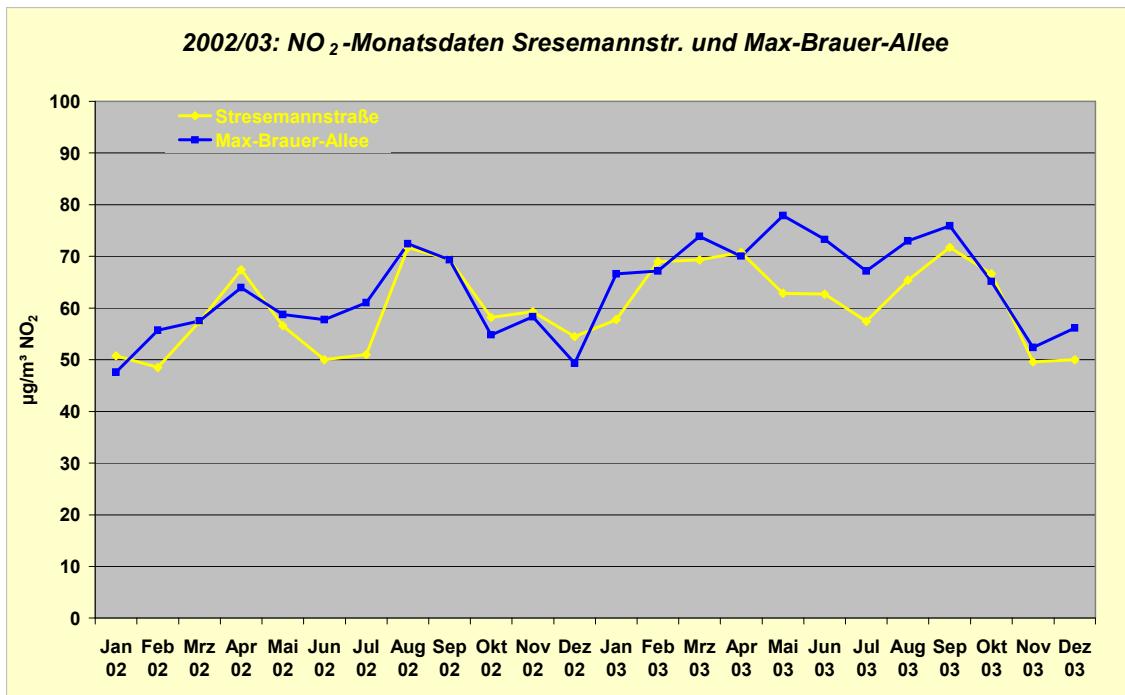


Abbildung 5: Verläufe der NO<sub>2</sub>-Monatsmittelwerte an den Verkehrsmessstationen

## 6.4 Wochengänge

Bildet man Langzeitmittelwerte (z. B. Jahresmittelwerte) der jeweils täglichen Belastung an den einzelnen Wochentagen, so erhält man den durchschnittlichen Wochengang. Gemittelt über die Jahre 2002 und 2003 kommt man zu den folgenden Ergebnissen:

Zeitraum: 2002 / 2003	durchschnittliche NO <sub>2</sub> -Konzentration (µg/m <sup>3</sup> )							
	Montag	Diens- tag	Mitt- woch	Don- nerstag	Freitag	werk- tags	Sams- tag	Sonn- tag
Habichtstraße	69,5	73,2	71,4	72,2	74,0	72,1	47,6	39,9
Kieler Straße	60,0	62,5	60,4	62,3	64,8	62,0	47,2	41,5
Max-Brauer-Allee	68,1	68,3	67,5	67,8	69,1	68,1	57,5	51,3
Stresemannstraße	67,4	66,9	66,0	66,6	64,4	66,3	48,2	41,8
Sternschanze	31,9	32,6	31,6	32,4	33,1	32,3	26,3	23,4
niedrige städtische Belastung	23,8	25,0	24,8	25,8	26,3	25,2	20,8	17,0
Bornhöved						15,0	13,5	11,5

Tabelle 3: Durchschnittliche Wochengänge (NO<sub>2</sub>) für 2002/03

Die durchschnittliche Belastung an Werktagen war von den Verkehrsmessstellen an der Kieler Straße mit 62 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> am geringsten und mit 72 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> in der Habichtstraße am höchsten. An den Wochenenden lagen die Konzentrationen an den drei Stationen Habichtstraße, Kieler Straße und Stresemannstraße sehr ähnlich mit 47 bis 48 µg/m<sup>3</sup> an Samstagen und zwischen 40 und 42 µg/m<sup>3</sup> an Sonntagen. In der Max-Brauer-Allee wurden dagegen jeweils um rund 10 µg/m<sup>3</sup> höhere Werte gemessen.

Insgesamt variieren die Unterschiede zwischen der durchschnittlichen werktäglichen Belastung und der niedrigsten Belastung sonntags beträchtlich:

- in der Habichtstraße wurde an Sonntagen eine um 32 µg/m<sup>3</sup> niedrigere NO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen im Vergleich zu Montag bis Freitag;
- in der Max-Brauer-Allee betrug die Differenz lediglich 17 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>;
- Kieler Straße (20 µg/m<sup>3</sup>) und Stresemannstraße (24 µg/m<sup>3</sup>) zeigten mittlere Unterschiede;
- im urbanen Hintergrund lag die Belastung sonntags um 8 bis 9 µg/m<sup>3</sup> niedriger als in der Woche, im ländlichen Hintergrund um 3 bis 4 µg/m<sup>3</sup>.

Bringt man von den NO<sub>2</sub>-Werten an den Straßen die urbane Hintergrundbelastung in Abzug, erhält man eine Schätzung für die lokale Zusatzbelastung durch den Verkehr vor Ort. Diese ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

Die an allen Hamburger Messstationen festzustellenden Belastungsunterschiede zwischen Werktag und Wochenende dokumentieren in erster Linie den Einfluss des Straßenverkehrs auf die Immissionshöhe, da bei den anderen maßgeblichen Stickoxidquellen (Kraftwerke, Großfeuerungsanlagen, Hausbrand etc.) nicht von einer so starken Wochentagabhängigkeit auszugehen ist.

### NO<sub>2</sub>-Zusatzbelastung (µg/m<sup>3</sup>) an den Verkehrsmessstellen

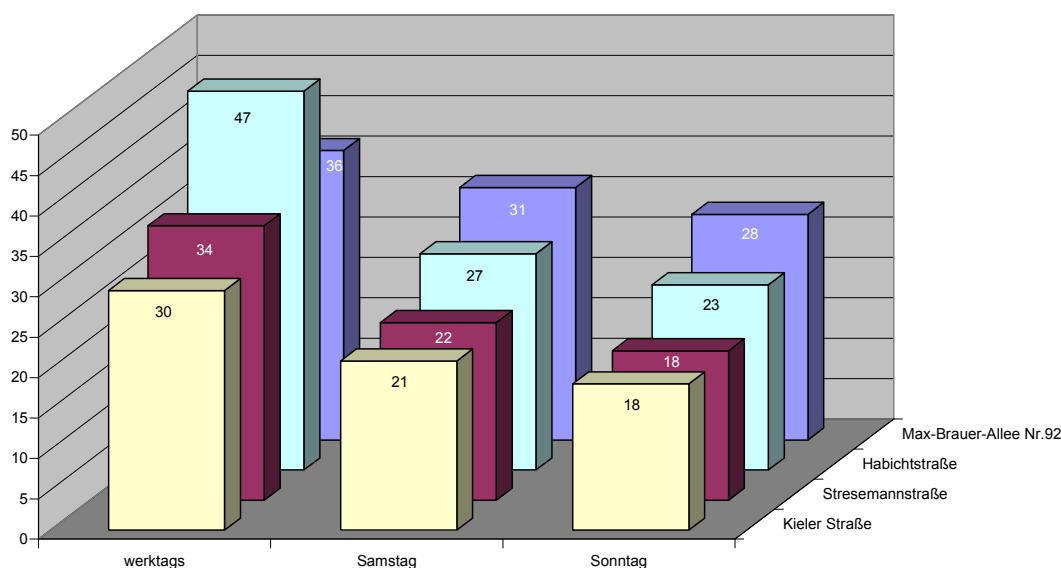


Abbildung 6: Abgeschätzte NO<sub>2</sub>-Zusatzbelastung in der Woche und an Wochenenden

## 6.5 Tagesgänge

Bildet man Langzeitmittelwerte der Einstundenmesswerte jeweils für jeden Stundenzeitraum des Tages, dann erhält man einen so genannten durchschnittlichen Tagesgang. Auch dabei kann wieder zwischen Werktagen, Samstagen und Sonntagen differenziert werden.

In der folgenden Abbildung sind die Tagesgänge am Beispiel von Stationen für den urbanen Hintergrund grafisch dargestellt.

Die drei dargestellten Stationen stehen für die städtische, die niedrige städtische und die Stadtrand-Belastung und zeigen trotz unterschiedlicher Belastungsniveaus einen qualitativ gleichförmigen Verlauf. Insbesondere fällt auf, dass an allen Tagen die niedrigsten Belastungswerte jeweils früh nachmittags gegen 14 bis 15 Uhr auftreten. Zu diesem Zeitpunkt herrschen allgemein die besten Luftaustauschbedingungen und zumindest im Sommerhalbjahr eine relativ hohe NO<sub>2</sub>-Abbaurrate (siehe vorn).

Die höchsten Werte treten einheitlich an Arbeitstagen um 8 Uhr morgens auf. Werktags gibt es dann am Abend gegen 20 Uhr ein zweites Maximum, das aber etwas niedriger liegt. Am Samstag und Sonntag ist bei allgemein bis früh nachmittags rückläufigen Konzentrationswerten morgens nur ein kurzer Zwischenanstieg zu erkennen, die Höchstwerte werden erst am Abend bzw. sonntags sogar erst in der Nacht erreicht.

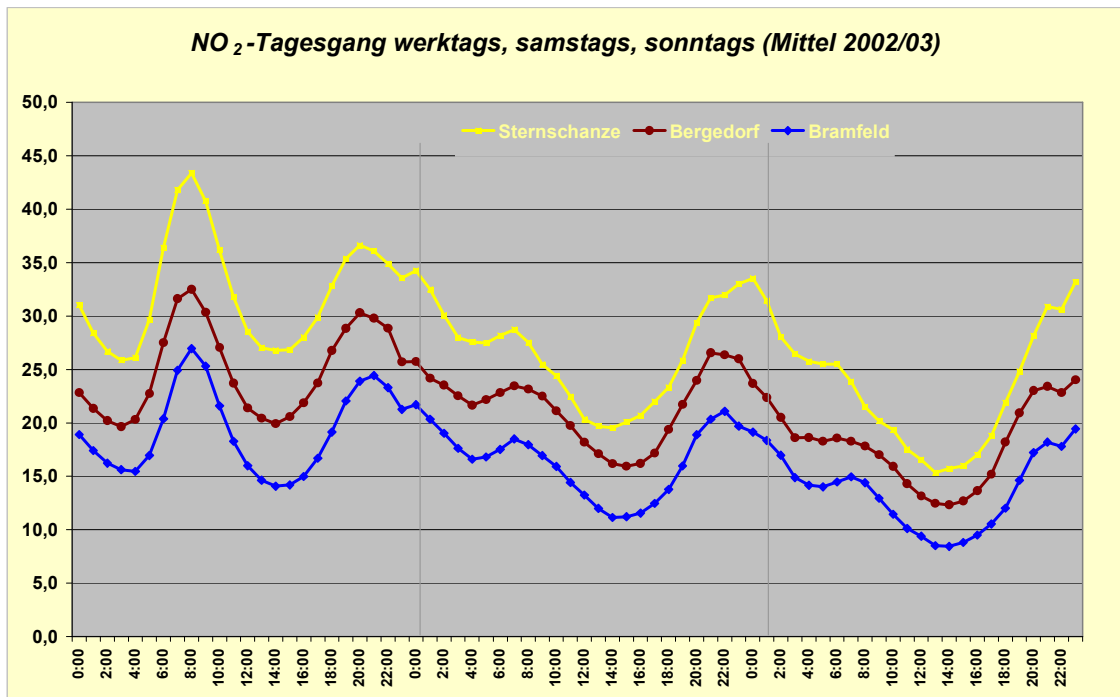


Abbildung 7: Mittlere Tagesgänge der NO<sub>2</sub>-Konzentration an Werktagen, Samstagen, Sonntagen

Die mittleren Tagesverläufe der vier Verkehrsmessstationen, die in der folgenden Abbildung gezeigt sind, zeigen untereinander größere Unterschiede, die durch die örtlichen Gegebenheiten erklärt werden müssen.

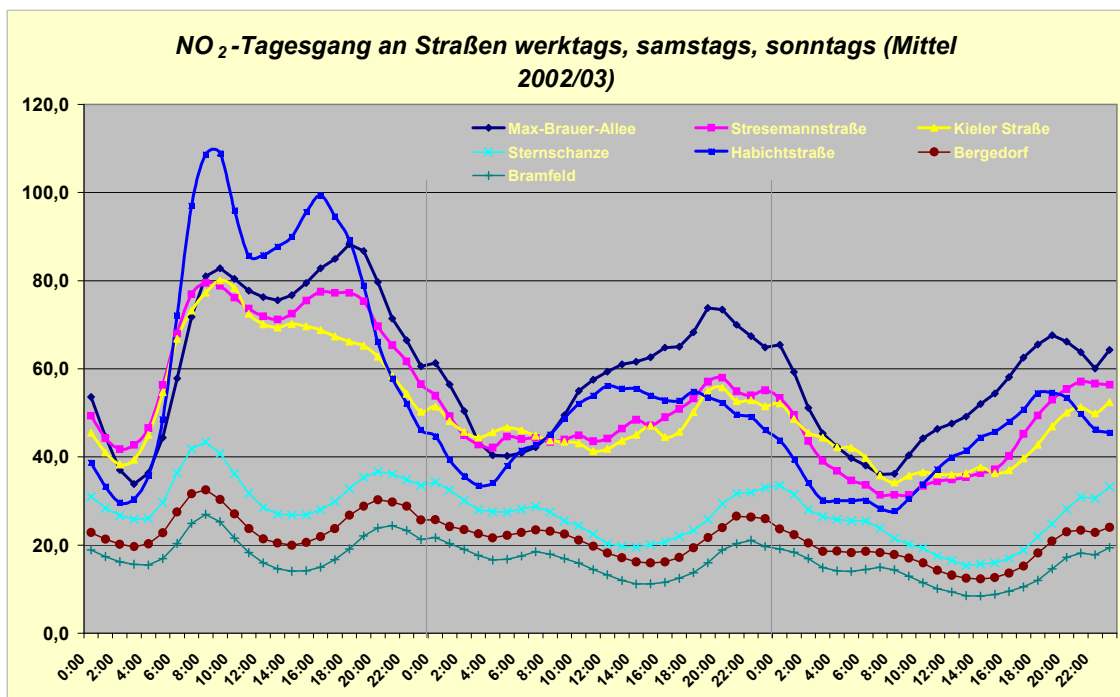


Abbildung 8: durchschnittliche Tagesgänge im urbanen Hintergrund (oben) und an den vier Verkehrsmessstationen (inklusive urbaner Hintergrund, unten)

Die niedrigsten Konzentrationen an den Verkehrsmessstationen treten jeweils früh morgens auf, an Werktagen und samstags zwischen 2 bis 4 Uhr (werktags eher etwas früher, samstags etwas später), sonntags erst gegen 7 bis 8 Uhr. Zu diesen Zeiten wird auch der geringste Belastungsunterschied zum jeweiligen urbanen Hintergrund gemessen, der dann nur noch etwa 10 µg/m<sup>3</sup> beträgt.

An Werktagen gibt es morgens eine Belastungsspitze, die einheitlich etwa um 8 bis 9 Uhr auftritt. In der Habichtstraße und in der Kieler Straße stellt sie das tägliche Maximum der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen dar. Im weiteren Verlauf gehen die Werte zum Mittag zurück, um am Nachmittag im Allgemeinen erneut auf einen Höchststand zu klettern, der zwischen 16 bis 19 Uhr erreicht wird. Eine Ausnahme bildet hier die Kieler Straße, an der nach dem Mittag kein erneuter Anstieg auftritt. An der Messstation Max-Brauer-Allee dagegen bilden die Konzentrationen am Nachmittag die Maximalwerte des Tages und in der Stresemannstraße sind sie vergleichbar hoch wie am Morgen, während sie in der Habichtstraße den morgendlichen Höchststand nicht wieder erreichen.

An den Wochenendtagen entfällt die Konzentrationsspitze am Vormittag. Die NO<sub>2</sub>-Werte nehmen nach dem Minimum früh morgens im Tagesverlauf mehr oder weniger deutlich zu, um erst gegen 18 bis 20 Uhr das Tagesmaximum zu erreichen. In der Habichtstraße wird dieses Maximum davon abweichend an Samstagen bereits zur Mittagszeit erreicht und bleibt dann bis zum Spätnachmittag bestehen. Von dieser Besonderheit in der Habichtstraße abgesehen ähnelt der Schadstoffverlauf hier dem in der Max-Brauer-Allee, während andererseits Kieler Straße und Stresemannstraße eine vergleichbare Charakteristik zeigen.

Bildet man auch bei den Tagesverläufen jeweils die Differenz zwischen den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Verkehrsmessstationen und dem dazugehörigen urbanen Hintergrund, erhält man den Tagesverlauf der örtlich vorliegenden Zusatzbelastung. Diese sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

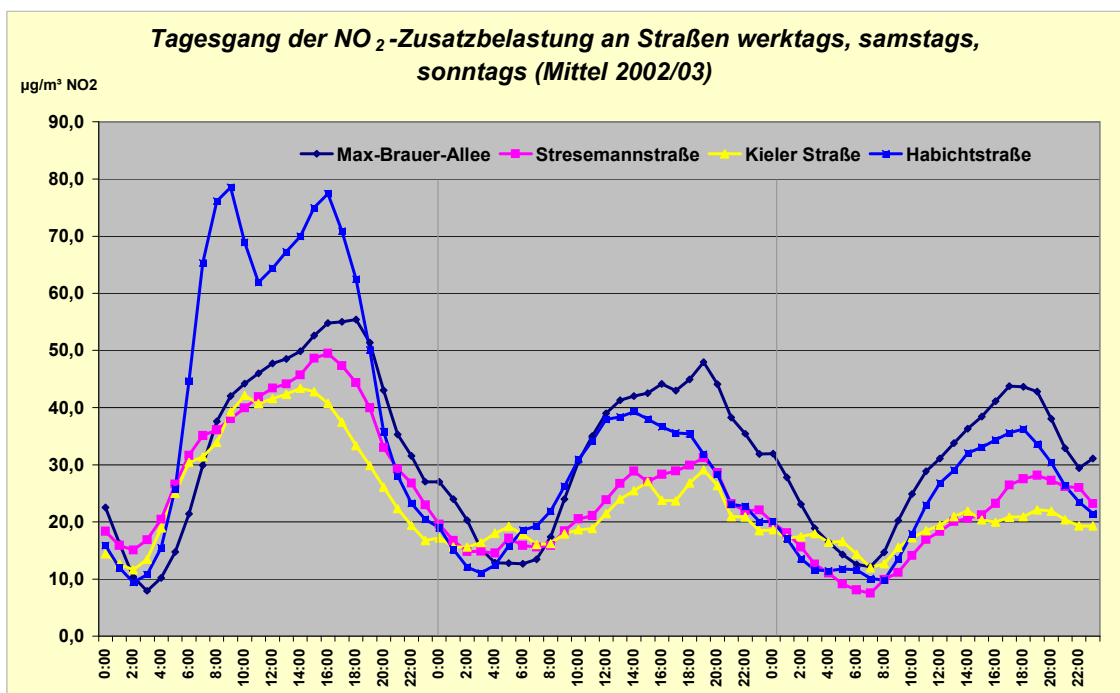


Abbildung 9: Tagesverlauf der NO<sub>2</sub>-Zusatzbelastung an den Verkehrsmessstationen

Besonders deutlich wird auf der einen Seite wie groß die Unterschiede zwischen Arbeitswoche und Wochenende an der Station Habichtstraße sind und auf der anderen Seite wie ausgeglichen dagegen an der Station Max-Brauer-Allee. Die Zusatzbelastung schwankt insgesamt zwischen ca. 10 µg/m<sup>3</sup> zu den verkehrsrärmsten Zeiten frühmorgens und 40 bis 50 µg/m<sup>3</sup>, in der Habichtstraße sogar bis knapp 80 µg/m<sup>3</sup> am werktäglichen Spätnachmittag.

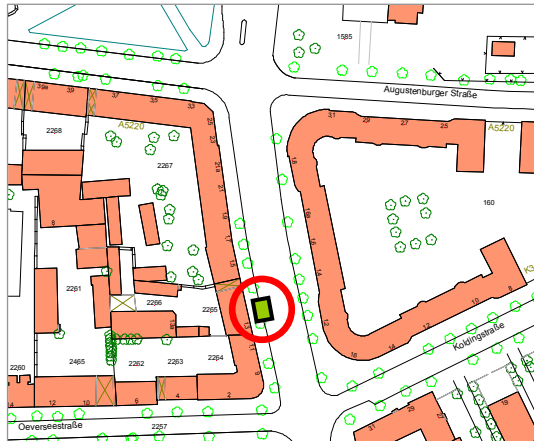
## 6.6 Immission und Emission

Die bisherigen Betrachtungen beruhten allein auf den gemessenen Immissionen an den Verkehrsmessstationen und im urbanen Hintergrund. Gerade hinsichtlich einer Planung von möglichen Minderungsmaßnahmen wäre es erforderlich, die Immission auf Basis von Emissionsannahmen zu modellieren, um die Auswirkung verschiedener Faktoren beschreiben und nachvollziehen zu können. Die Abteilung Luftuntersuchung verfügt allerdings weder über die entsprechenden Werkzeuge (Software für Modellrechnung, detaillierte Kenntnis der Verkehrseingangsdaten) noch über das erforderliche Know-how. Im Folgenden können daher nur stark vereinfachte Grundsatzüberlegungen angestellt werden.

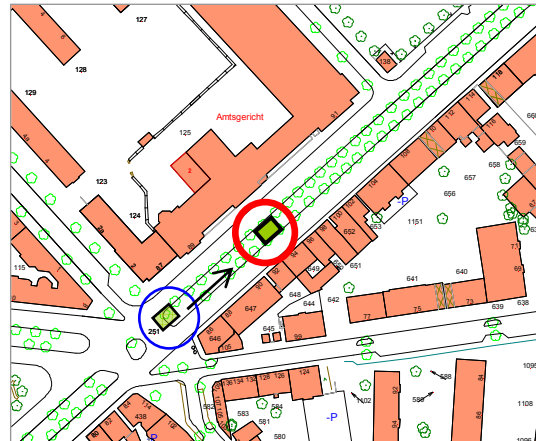
Eine wichtige Einflussgröße für die Höhe der Belastung an einer Verkehrsmessstation ist neben den Emissionsdaten die Geometrie der Straßenschlucht wie räumliche Lage, Breite der Schlucht, Höhe und Geschlossenheit der Bebauung etc. Die folgende Tabelle 4 sowie die Lagekizzen fassen die Daten zusammen, die Angaben zur Verkehrsstärke wurden von der BSU/V zur Verfügung gestellt.

	Kieler Str.	Stresemannstr.	Max-Brauer-Allee	Habichtstr.
Breite der Schlucht	29 m	22 m	28 m	32 m
Bebauungshöhe	14,5 / 15 m	15,5 / 18 m	13,5 / 23 m	13 / 18,5 m
Straßenrichtung. gegen Nord	10° n. W	75° n. W	45° n O	60° n W
Schluchtlänge	105 m	130 m	120 m	37 / 140 m
Strecke bis Bebauungsende	35 m	55 m	55 m	55 m
DTV <sub>w</sub> 2002 Pkw	24.300	22.300	27.700	48.700
DTV <sub>w</sub> 2002 Lkw	2.700	2.700	1.300	3.300
DTV 2002	24.000	23.000	26.000	47.000

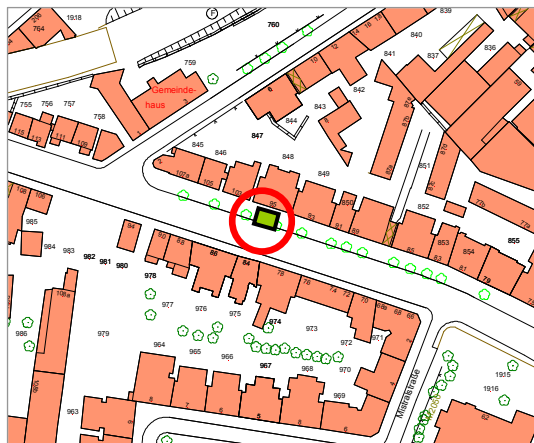
Tabelle 4: Geometrie- und Verkehrsdaten der 4 Verkehrsmessstationen



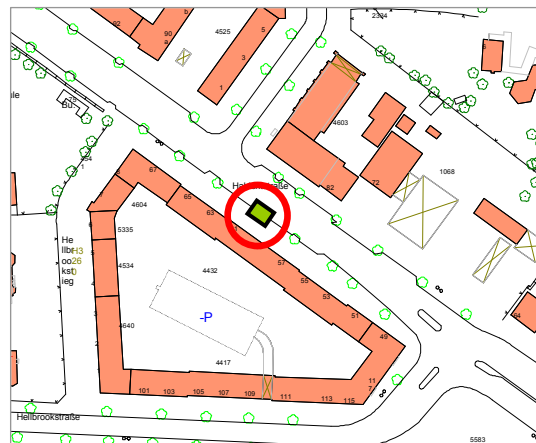
Kieler Straße



Max-Brauer-Allee



Stresemannstraße



Habichtstraße

Abbildung 10: Aufstellungsorte der vier Verkehrsmessstationen und ihre Umgebung

Für eine genauere Berechnung der durch den Verkehr in den jeweiligen Straßen verursachten Emissionen wäre eine detaillierte Aufteilung der Verkehrszahlen, z. B. der Pkw und Lkw in verschiedene Abgasminderungsstufen, eine Aufteilung der Lkw in leichte und schwere Nutzfahrzeuge sowie Busse etc. erforderlich. Weiterhin wäre die Kenntnis der anzusetzenden Fahrmodi notwendig.

Für eine überschlägige Abschätzung werden Emissionsfaktoren herangezogen, die einem Bericht des Österreichischen Umweltbundesamtes entnommen wurden ("Analyse der Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für NO<sub>2</sub> am Hietzinger Kai am 10.5.2000", Umweltbundesamt (at) Wien Juli 2000) bzw. dem online Angebot des Handbuches Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs ([www.hbefa.net](http://www.hbefa.net)) Version 2.1 entstammen. Sie sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Modus	mittl. Fahr- geschw.	Emissionsfaktor NOx (g NOx/km)		Quelle
		km/h	Pkw	
Innerortshauptstraße, vorfahrts- berechtigt, mittlere Störung IO-HVS2	42	0,37	6,05	(1)
Innerortshauptstraße mit VLSA, mittlere Störung IO-LSA2	28	0,44	7,35	(1)
Innerortsstraßen im Stadtkern IO-Kern	21	0,47	8,25	(1)
Innerortsstraßen im Stop + Go Verkehr IO-Stop+Go	5	0,54	17,62	(1)
HBEFA 2.1 für Jahr 2000		0,422	8,457	(2)

Tabelle 5 : Emissionsfaktoren für Pkw und Lkw/schwere Nutzfahrzeuge

Die angegebenen Emissionsfaktoren lassen den starken Einfluss des Lkw-Verkehrs auf die Luftbelastung deutlich werden, da nach ihnen 1 Lkw soviel Stickoxide erzeugt wie ungefähr 16 bis 20 Pkw. Mit den NOx-Emissionsfaktoren und den Fahrzeugzahlen aus Tabelle lassen sich durchschnittliche werktägliche Emissionen pro 0,1 km Straßenschlucht abschätzen (Tabelle 6).

	Kieler Str.	Stresemann- str.	Max-Brauer- Allee	Habichtstr.
	g NOx/0,1 km			
IO-HVS2	2.533	2.459	1.811	3.798
IO-LSA2	3.054	2.966	2.174	4.568
IO-Kern	3.370	3.276	2.374	5.011
IO-Stop+Go	6.070	5.962	3.786	8.444
HBEFA V. 2.1	3.309	3.225	2.268	4.846

Tabelle 6: Auf Basis der Emissionsfaktoren aus Tab. 5 abgeschätzte Stickoxidemissionen pro 100 m Straßenschlucht

Im Resultat zeigen die Ergebnisse, dass vom werktäglichen Straßenverkehr in der Stresemannstraße und der Kieler Straße ungefähr gleich große Stickoxidmengen erzeugt werden, in der Habichtstraße ist die Emission daran gemessen um ca. 50 % höher, in der Max-Brauer-Allee dagegen um etwa 30 % niedriger.

Auch die Messergebnisse zeigen im Durchschnitt von 2002 und 2003 in Stresemannstraße und Kieler Straße ähnliche Zusatzbelastungen mit 129 bzw. 120 µg/m³ NOx (berechnet als NO₂), während in der Habichtstraße mit 204 µg/m³ NOx ein um gut 60 % höherer Wert ermittelt wurde. Dies deckt sich insofern qualitativ gut mit den Emissionsabschätzungen.



Die Messergebnisse der Max-Brauer-Allee lagen mit  $168 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_x$  allerdings gut 30 % über denen der Stresemannstraße und der Kieler Straße bei gleichzeitig niedriger abgeschätzten Emissionen. Da die Bebauungsgeometrie nicht so grundlegend anders als in den anderen Straßen ist, kommt als mögliche Erklärung für diesen Effekt die Lage der Messstation in Frage; diese liegt in der Max-Brauer-Allee aus Platzgründen auf der Mittelinsel zwischen den Fahrbahnen, während sie in den drei anderen Straßen jeweils auf einer Straßenseite angeordnet sind.

In der Habichtstraße ist zur Bestimmung der Verkehrsstärke ein Dauerzählpegel installiert. Für diese Straße ist somit eine zeitaufgelöste Darstellung der Verkehrsstärke möglich, die sich mit der gemessenen Zusatzbelastung der Stickoxide vergleichen lässt. Messjahr für die nachfolgende Abbildung ist das Jahr 2002.

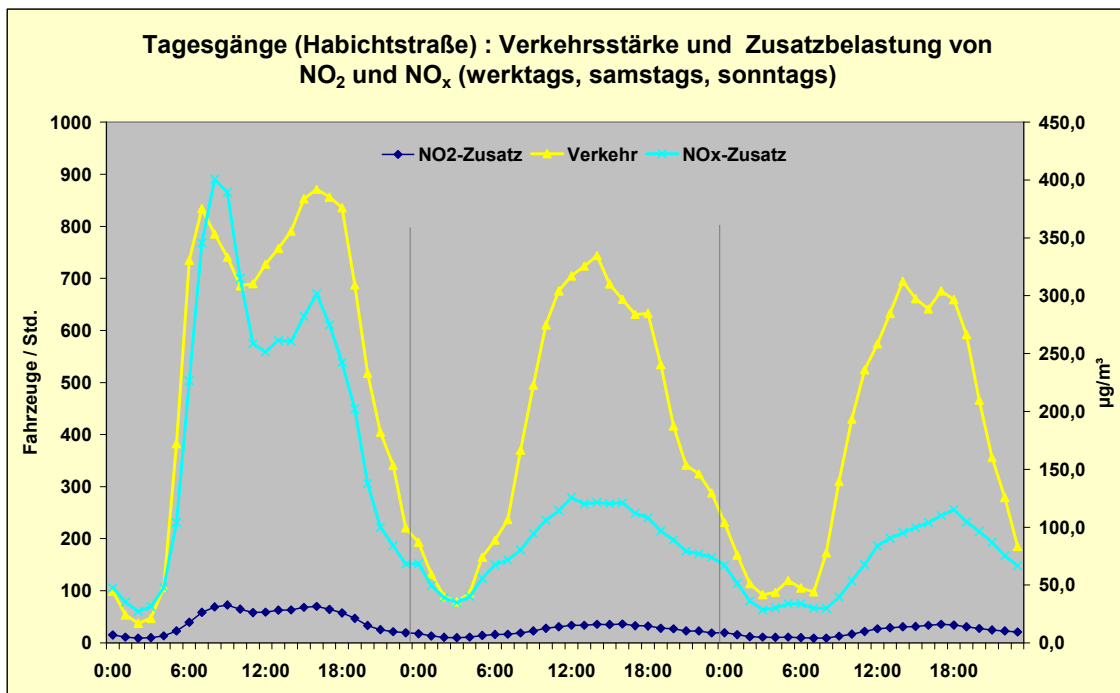


Abbildung 11: Tagesgang der Verkehrsstärke und der NO<sub>x</sub>-Zusatzbelastung in der Habichtstraße 2002 (werktags, samstags, sonntags)

Auffällig ist, dass am Wochenende bei ähnlich hohen Fahrzeugzahlen wie werktags eine deutlich reduzierte Stickoxidbelastung gemessen wird. Möglicherweise ist dies eine Folge davon, dass der Lkw-Anteil am Verkehr an Wochenenden merklich geringer ist als in der Woche. Dass werktags der stärkste Verkehr am Nachmittag, die höchste Belastung jedoch am Vormittag auftritt hängt vermutlich mit den vorn beschriebenen Mischungsbedingungen der Atmosphäre und den luftchemischen Umsetzungen zusammen.

## 6.7 Zeitliche Entwicklung der Stickoxidbelastung

Die Messstation in der Stresemannstraße wird an unveränderter Stelle seit 1992 betrieben, für die Max-Brauer-Allee liegen Werte seit 1998 vor. Mit den von der BSU übermittelten Daten zum durchschnittlichen werktäglichen Verkehr ist eine gemeinsame Darstellung der zeitlichen Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Konzentration und der Verkehrsstärke an diesen beiden Standorten möglich und den folgenden beiden Diagrammen zu entnehmen.

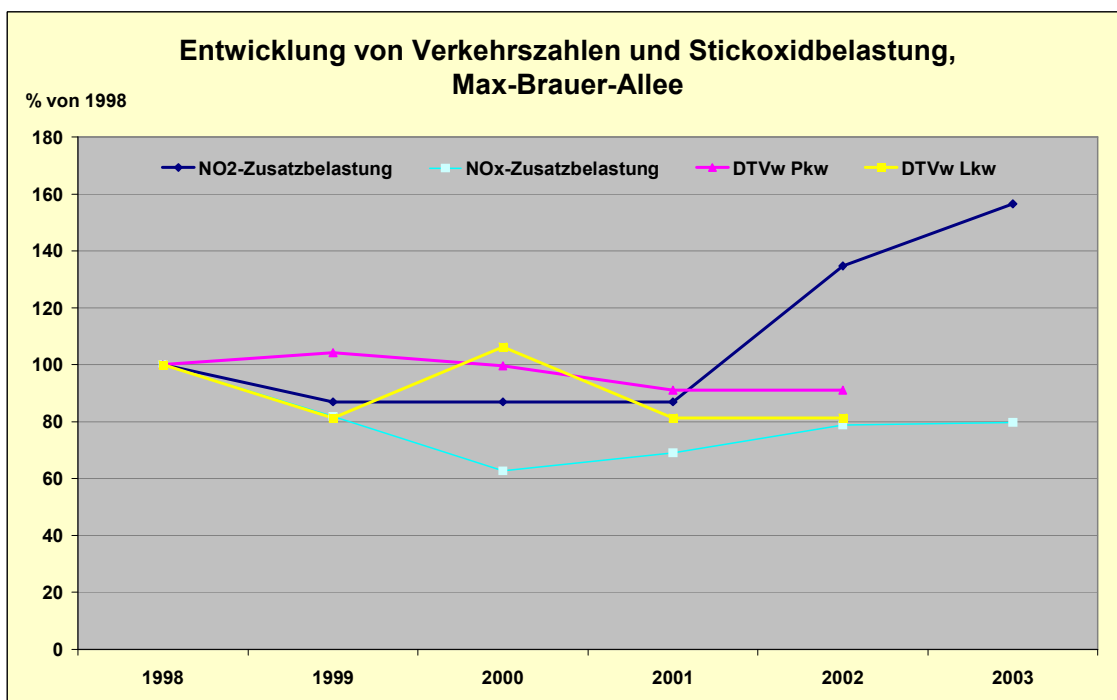
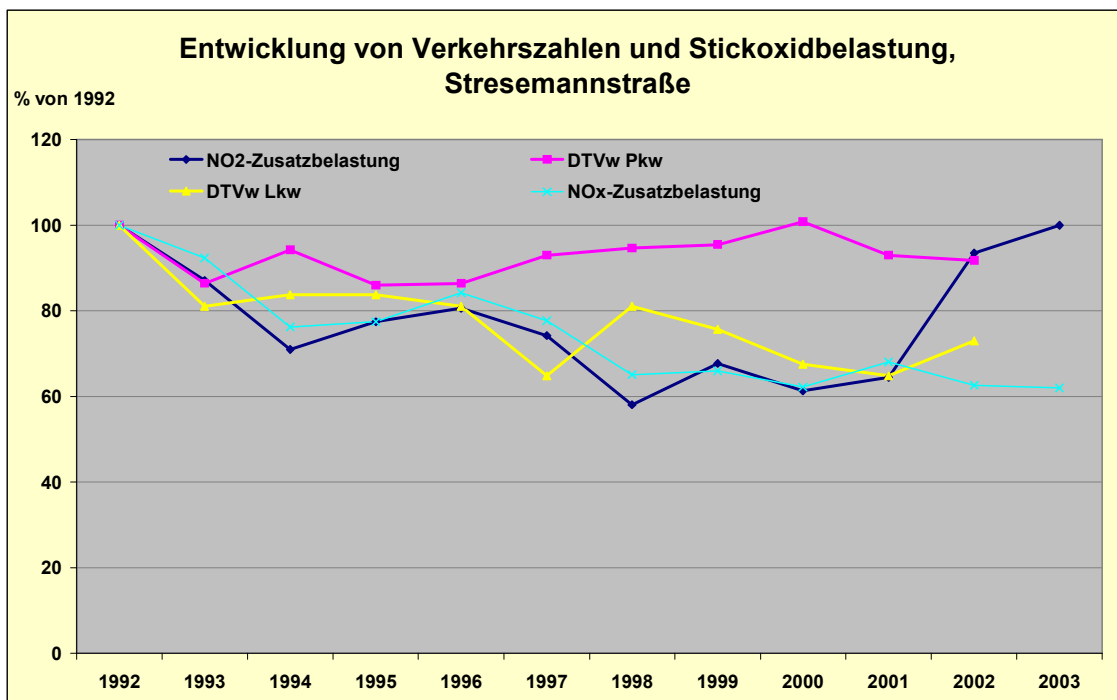


Abbildung 12: Entwicklung der NO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Zusatzbelastung an der Stresemannstraße und der Max-Brauer-Allee und Angaben zum durchschnittlichen werktäglichen Verkehr

Um zu einer einheitlichen Skalierung zu gelangen, wurden die Daten jeweils auf die Werte des Startjahres bezogen und als Prozentangabe dargestellt (1992 für die Stresemannstraße, 1998 für die Max-Brauer-Allee entsprechen jeweils 100 %).

Bis zum Jahr 2001 verlaufen die Kurven der Zusatzbelastung und der Verkehrsstärke nicht wesentlich voneinander abweichend. Bei der Stresemannstraße, in der Pkw- und Lkw-Zahlen sich etwas unterschiedlich entwickeln, folgt die Zusatzbelastung mehr dem abnehmenden Trend der Lkw-Verkehrsstärke.

Auffällig aber ist dann in beiden Grafiken der deutliche Anstieg der NO<sub>2</sub>-Zusatzbelastung in 2002 und noch einmal in 2003, was sich in den Verkehrszahlen nicht zeigt. Dieser Anstieg betrifft im Wesentlichen jedoch nur das Stickstoffdioxid, während die Summe der Gesamtstickoxide sich in den beiden Jahren nur wenig geändert hat. Vermutlich ist diese scheinbare „Entkoppelung“ der Verläufe auf mehrere Ursachen zurückzuführen:

- ab Februar 2002 steht die Messstation Max-Brauer-Allee nicht mehr an der Kreuzung mit der Julius-Leber-Straße/Chemnitz Straße, sondern etwa 40 m in die Straßenschlucht hinein verschoben (siehe Abbildung 10)
- ab Februar 2002 gilt in der Stresemannstraße wieder der 4-Fahrschreifen-Betrieb, d. h. der Pkw-Verkehr rückt um eine Fahrspur näher an den Messcontainer heran
- generell nimmt der NO<sub>2</sub>-Anteil an den Stickoxiden, gerade auch an den Verkehrs-Messstationen zu (Abb. 13)
- der strahlungsreiche heiße Sommer 2003 hat insbesondere in den Straßenschluchten eine zusätzliche NO<sub>2</sub>-Produktion gefördert.

Der Ortsveränderung in der Max-Brauer-Allee bzw. der geänderten Verkehrsführung in der Stresemannstraße kommt nach hiesiger Einschätzung der größte Anteil an dem Anstieg der NO<sub>2</sub>-Konzentration im Jahr 2002 zu, während der Anstieg 2003, der deutschlandweit zu beobachten war, in erster Linie Folge der ungewöhnlichen Witterung war (bis einschließlich April 2004 waren die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an den vier Straßen um 2 bis 3 µg/m<sup>3</sup> rückläufig).

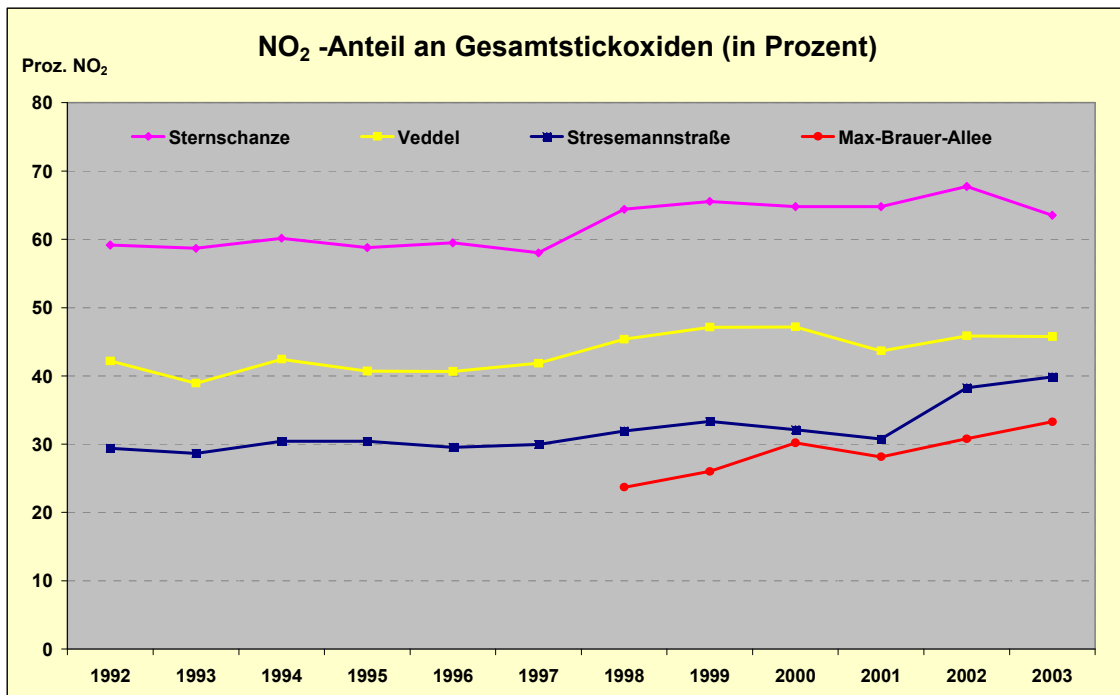


Abbildung 13: Der NO<sub>2</sub>-Anteil an den Gesamtstickoxiden für die Messstationen Sternschanze, Veddel, Stresemannstraße und Max-Brauer-Allee

Der in der obigen Abbildung dargestellte Anstieg des NO<sub>2</sub>-Anteils in der Stickoxid-Immission, der besonders deutlich ab etwa 1997 zu erkennen ist, könnte eine Folge des steigenden Anteils

von Diesel-Pkw sein, die einerseits merklich höhere  $\text{NO}_x$ -Emissionen haben als Pkw mit Ottomotor und geregelterm Drei-Wege-Katalysator und zudem in den Abgasen einen höheren  $\text{NO}_2$ -Anteil aufweisen sollen.

Weiterhin ist hinsichtlich der Max-Brauer-Allee anzumerken, dass dort, beginnend in 2000 bis weit in das Jahr 2001 hinein umfangreiche Sielbauarbeiten stattfanden, die mit wechselweiser Sperrung ganzer Fahrbahnseiten mit Verschwenkung über die Gegenfahrbahn verbunden waren, wodurch es zu erheblichen Verkehrsstörungen kam (wieso sich dies in den übermittelten Daten der Verkehrsstärken nicht niederschlägt kann von hier nicht beurteilt werden).

## **7. Ausblick**

Die vorgestellte Analyse der Stickoxidbelastung geht von der hier verfügbaren Datenlage aus. Für eine vollständige Ursachenanalyse wären beispielsweise noch Angaben zu ergänzen, ob und in welcher Höhe nennenswerte Zusatzbelastungen durch bestimmte stationäre Stickoxidquellen an den einzelnen Verkehrsmessstationen vorliegen. Auch eine genauere Darstellung des Ist-Zustandes der verkehrlichen Zusatzbelastung sowie eine nachvollziehbare Quantifizierung verkehrlicher Einflussgrößen wie Flottenzusammensetzung, Fahrmodus usw. kann, wie bereits im Bericht erwähnt, auf der vorhandenen Datenbasis nicht erfolgen. Für eine Bewertung von möglichen verkehrlichen Maßnahmen zur Verminderung der Belastung wäre aber gerade dies erforderlich. Und letztendlich ist eine belastbare Prognose für die weitere Entwicklung bis zum Jahr 2010, in dem der Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{NO}_2$  eingehalten werden muss, auf der vorhandenen Datenbasis und mit den hier vorhandenen Möglichkeiten nicht machbar.

## **8. Zusammenfassung**

Nach grundsätzlichen Ausführungen zu Entstehung und Emissionen von Stickoxiden sowie zu wichtigen anderen Einflüssen auf die Immissionshöhe von  $\text{NO}_2$  werden die in den Jahren 2002 und 2003 gemessenen Stickoxidbelastungen detailliert dargestellt und diskutiert.

Generell ist die  $\text{NO}_2$ -Belastung im Stadtkern wegen der größten Industrie- und Verkehrsdichte am höchsten und nimmt zu den Landesgrenzen hin ab. Hier liegen die Werte ungefähr um  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  über dem großräumigen ländlichen Belastungspegel Schleswig-Holsteins, während sie im Zentrum allgemein rund  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und in ungünstigen Lagen sogar um  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  darüber liegen.

An Verkehrsmessstationen wiederum werden um 20 bis  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  höhere  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen als im sonstigen Stadtkern gemessen. Der Beitrag des lokalen Verkehrs in den Straßenschluchten wurde dabei zu 24 bis  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{NO}_2$  abgeschätzt.

Mit durchschnittlichen Konzentrationsverläufen über eine Woche bzw. einen Tag, unterschieden zwischen Werktag und Wochenendtagen, konnte plausibel der prägende Einfluss des lokalen Verkehrs auf die Belastungshöhe deutlich gemacht werden. Erste grobe Abschätzungen der Emissionen unter Verwendung vereinfachender Emissionsfaktoren ergaben einerseits gute qualitative Übereinstimmungen zu den gemessenen Immissionen bei drei Straßen und zeigten andererseits, dass die Lage der Messstation auf einem Mittelstreifen (Max-Brauer-Allee) offenbar zu einer Überschätzung der Straßenrandbelastung führt.

In der zeitlichen Entwicklung der  $\text{NO}_2$ -Belastung in der Stresemannstraße und der Max-Brauer-Allee sind die deutlichen Anstiege 2002 u. a. auf Änderung in der Verkehrsführung (Stresemannstraße 4-Spur- statt 2-Spur-Betrieb für Pkw) bzw. Verlagerung der Messstation (Max-Brauer-Allee) zurückzuführen während in 2003 die ungewöhnlichen Wetterbedingungen zu einem Anstieg führten.