



Stationäre & mobile NO₂- Messungen in Stuttgart

07.12.2015 und 14.01.2016

Stand: 27.01.2016

Autoren:

M. Reh, T. Adler, Dr. D. Pöhler, Prof. U. Platt

*Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg,
Deutschland*

Im Auftrag von:

Deutsche Umwelthilfe (DUH)

Kontakt: denis.poehler@iup.uni-heidelberg.de

Einleitung

In den Industrienationen sowie in den meisten Schwellenländern lebt der Großteil der Bevölkerung in urbanen Ballungsgebieten. In diesen dicht besiedelten Gegenden wird die Luftqualität vor allem durch die Emissionen von Kraftfahrzeugen bestimmt. Der bei zu großer Luftverschmutzung entstehende Smog ist ein globales Problem vieler Metropolen. Die Luftqualität in Megastädten, wie Peking oder Mexiko-Stadt, ist um ein vielfaches schlechter als die Luftqualität deutscher Städte, jedoch gibt es auch hierzulande Orte mit bedenklich hoher Schadstoffbelastung.

Zur Überwachung der Luftqualität gibt es die Messnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes mit mehreren hundert Messstationen Deutschlandweit. Neben Feinstaub und Ozon (O_3) hat vor allem Stickstoffdioxid (NO_2) einen negativen Einfluss auf die Luftqualität und ist mittlerweile Schadstoff Nummer Eins in Deutschland [3]. Stickstoffdioxid verursacht in zu hoher Konzentration Entzündungen der Atemwege. Bei Kindern mit Asthma werden die Symptome von Bronchitis verschlimmert und das Lungenfunktionswachstum verringert [1]. Außerdem wird es in Zusammenhang mit Herz- Kreislauferkrankungen gebracht. Es verursacht zudem sauren Regen, katalysiert Ozon (ebenfalls ein Schadstoff) und erzeugt indirekt Partikel. Die Weltgesundheitsorganisation WHO empfiehlt daher zum Schutz von Mensch und Natur für die Stickstoffdioxidkonzentration einen Jahresmittelwert von $40\mu g/m^3$ sowie einen Stundenmittelwert von max. $200\mu g/m^3$, als Grenzwert. Europaweit wurde mit der Richtlinie 2008/50/EG für Stickstoffdioxid der 1-Stunden-Grenzwert von $200\mu g/m^3$ festgelegt, der nicht öfter als 18-mal im Kalenderjahr überschritten werden darf. Der Jahresmittelgrenzwert des Stickstoffdioxids wurde dabei im Jahr 2014 an über 50% aller verkehrsnahen Messstationen in Deutschland überschritten [2]. Stickstoffmonoxid (NO) hat vergleichsweise zu NO_2 geringe Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und ist daher nicht reglementiert.

Stickstoffdioxid wird hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen von Kraftfahrzeugen erzeugt. Fußgänger, Fahrradfahrer sowie Fahrzeuginsassen sind dem so erzeugten Schadstoff in Städten permanent ausgesetzt. Beeinflusst wird die Luftqualität eines Ortes dabei nicht nur vom Verkehrsaufkommen, sondern auch von der geografischen Lage sowie der Bebauung. Das hat zur Folge, dass lokal große Schwankungen in der Stickstoffdioxidkonzentration auftreten können. Außerdem liefert das Ergebnis einer stationären Stickstoffdioxidmessung nur für die nähere Umgebung einen exakten Wert. Die in stationären Messstationen ermittelten Stickstoffdioxidkonzentrationen sind jedoch nur indirekt mit Chemolumineszenz Messgeräten und Konvertern bestimmt worden und besitzen so durch das Messverfahren gegebene Fehler sowie eine schlechte zeitliche Auflösung.

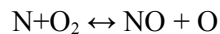
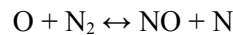
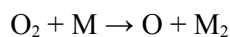
Mit dem mobilen NO₂-ICAD-Messinstrument des Institutes für Umweltphysik der Universität Heidelberg ist es möglich die Stickstoffdioxidkonzentration an beliebigen Orten, unabhängig von stationären Messstationen, zu bestimmen. Es basiert auf dem CE-DOAS Messprinzip und ermöglicht eine hohe Zeitauflösung die es ermöglicht schon durch einen relativ kurzen Messzeitraum exakte Ergebnisse zu erhalten.

Entstehung von Stickstoffdioxid (NO₂)

Unter dem Begriff Stickoxide (NO_x) versteht man die Summe aus Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂).

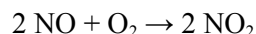


Stickoxide werden sowohl in natürlichen Prozessen als auch vom Menschen erzeugt. Verbrennungsprozesse in großen Industrieanlagen, Kraftwerken und Verbrennungsmotoren machen jedoch den größten Teil der Stickoxidproduktion aus. Grundlage der Produktion aller Stickoxide sind die chemischen Reaktionen des Zel'dovich-Zykluses:



Da für diese Reaktionen zum Teil hohe Aktivierungsenergien benötigt werden, finden diese nur bei hohen Temperaturen statt, wie zum Beispiel in Verbrennungsmotoren. Da die Rückreaktionen ebenfalls eine Aktivierungsenergie benötigt, kommt es durch rasches Abkühlen zum „Einfrieren“ des chemischen Zustandes mit NO, wie es in Verbrennungsmotoren üblich ist.

Das so entstandene NO reagiert mit dem Sauerstoff der Luft bei ausreichender Aktivierungsenergie (ebenfalls hohe Temperaturen) teilweise zu Stickstoffdioxid weiter.

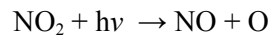


Ebenso erfolgt in der Atmosphäre eine Reaktion mit Ozon (O₃) zu Stickstoffdioxid.

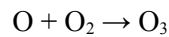


Diese Bildung von NO₂ ist direkt an die Begrenzung von Ozon gekoppelt. Unter Bedingungen mit ausreichend Ozon kann theoretisch alles NO zu NO₂ reagieren. Dies ist an warmen, sonnigen Tagen mit hoher, parallel auftretender Ozonproduktion durch VOC Emissionen (Flüchtige Organische Verbindungen) der Fall (z.B. Sommer Smog). An kalten Wintertagen ist diese Ozonproduktion unterdrückt und die Bildung von NO₂ wird oft durch das Aufbrauchen des atmosphärischen O₃ begrenzt.

Durch natürliche Prozesse unterliegt die Stickstoffdioxidkonzentration im Tagesverlauf bestimmten Schwankungen. Man spricht vom NO₂-Tagesgang. Dabei werden vom UV-Licht der Sonne verschiedene Reaktionen beeinflusst. Z.B. wird tagsüber NO₂ durch Photodissoziation in NO umgewandelt.

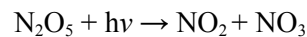


Wobei direkt Ozon (O_3) entsteht.

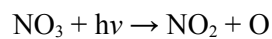
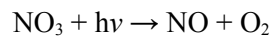


Zwischen Bildung von NO_2 mit $\text{NO} + \text{O}_3$ und der Photolyse von NO_2 stellt sich ein Gleichgewicht ein, wobei das Verhältnis von NO zu NO_2 das sogenannte Leighton Ratio genannt wird. Dieses Verhältnis liegt am Tag bei typischen Bedingungen bei 1.

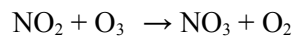
Neben diesen Hauptprozessen gibt es noch zahlreiche weitere die für die Produktion und den Abbau von NO_2 wichtig sind. So erzeugt die Photolyse von N_2O_5 weiteres NO_2 .



Das gebildete NO_3 reagiert ebenfalls unter Photolyse weiter zu NO und NO_2 .



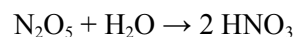
Mit Abnahme des Sonnenlichts gegen Abend sinken die Photolyseraten und NO_2 wird durch Photodissoziation nicht mehr zerstört, was zu einer Zunahme der Stickstoffdioxidkonzentration führt. Aus dem NO_2 wird nachts wieder NO_3 und N_2O_5 gebildet.



Einen weiteren großen Einfluss auf den NO_2 -Abbau hat die Reaktion des NO_2 mit Hydroxyl-Radikalen zu Salpetersäure.



Ein weiterer wichtiger Abbauprozess ist über N_2O_5 mittels einer chemischen Reaktion mit Wasser (H_2O):



In Ballungsräumen ist eine Verringerung der NO_2 Konzentration meist nicht durch die Abbauprozesse, sondern durch die Vermischung mit NO_2 -armer Luft bzw. der zeitweisen Umwandlung in NO zu begründen.

Messprinzip

Mit dem NO₂-ICAD-Messinstrument wird die Stickstoffdioxidkonzentrationen durch spektrale Absorption bestimmt. Der Name ICAD ist ein Akronym des Messprinzips (Iterative Cavity DOAS, Patent EP 15179088.8). Es ist eine Weiterentwicklung der Resonator verstärkten Optischen Absorptionsspektroskopie (Cavity Enhanced DOAS, kurz: CE-DOAS). Zur Bestimmung der Stickstoffkonzentration der Luft wird diese von einer Pumpe in die Messzelle des Messgerätes gesaugt. In der Messzelle wird die Luft von einer Hochleistungs-LED mit Licht einer bestimmten Wellenlänge durchleuchtet. Der Stickstoffdioxidgehalt dieser Luft bewirkt direkt, durch dessen Absorption elektromagnetischer Strahlung, eine Intensitätsänderung, aus welcher dann die in der Luft vorhandene Stickstoffkonzentration bestimmt wird. Da jeder Stoff eine für ihn einzigartige Absorption aufweist, zieht jeder Stoff auch unterschiedliche, charakteristische Intensitätsänderungen nach sich. Dadurch wird allein mithilfe des Messprinzips sichergestellt, dass andere, in der Luft vorhandene Stoffe den Stickstoffdioxidmesswert nicht beeinflussen können.

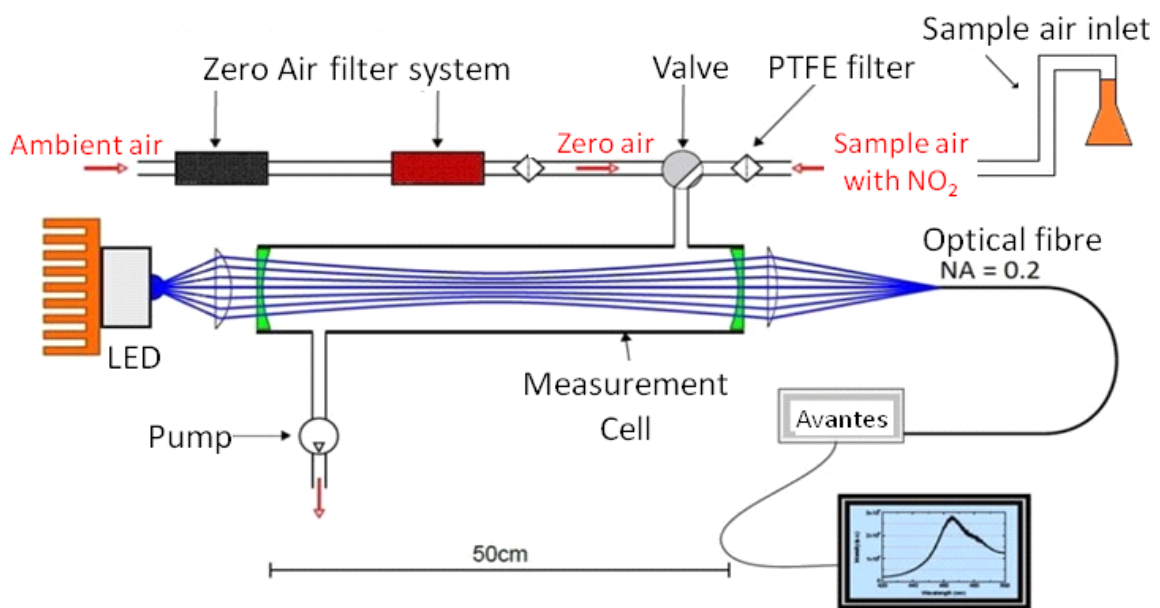


Abbildung 1: Messprinzip des verwendeten NO₂ ICAD Systems.



*Abbildung 2: Beispiel stationärer Messungen an der Römerschule.
Ansaugleitung auf dem Stativ und NO₂ ICAD Messinstrument mit
Akkubetrieb daneben.*

Die Genauigkeit des Messgerätes ist dabei abhängig von der Länge des Lichtwegs durch die zu untersuchende Luft. Um einen möglichst langen Lichtweg zu realisieren ist die Messzelle an beiden Enden mit hochreflexiven Spiegeln abgeschlossen (Cavity Enhanced). Das Licht wird so effektiv mehr als tausend Mal hin und her reflektiert bevor es die Messzelle wieder verlässt. Der Lichtweg verlängert sich so auf über 1000 Meter was zu einer sehr guten Messgenauigkeit führt. Durch das ICAD Verfahren wird diese Messtechnik unempfindlich gegenüber Intensitätsschwankungen die z.B. durch Temperaturänderungen oder Vibrationen erzeugt werden.

Technische Kenndaten

Instrument	NO ₂ ICAD Messgerät (spezieller Eigenbau des Instituts für Umweltphysik, Uni Heidelberg) zur Bestimmung der NO ₂ Konzentration
Messplattform	Mobil, für Pkw/ Mini-Bus geeignet, kann aber ebenfalls per Hand an einzelne Orte getragen werden; Messfahrzeug wurde mit bereitgestellt
Zeitauflösung	bis zu 2 s
Genauigkeit	0,1µg/m ³ @ 60s; 0,5µg/m ² @ 2s (höhere Messgenauigkeit bei geringerer Zeitauflösung & Mittelung)
Messhöhe	Die Messluft wird über eine Leitung angesaugt, die beliebig platziert werden kann, typ. Montage am Messfahrzeug oder auf einem Stativ, Die Messleitung ist am Ende nach unten gebogen um Wasser in der Messleitung zu vermeiden.
Interferenzen	keine bekannt

Stationäre Messorte und Auswertung

Es wurden 13 stationäre Messungen in Stuttgart vorgenommen. Bei der Auswahl der Messorte wurde darauf geachtet ein großes Spektrum unterschiedlicher Orte abzudecken. Hierzu wurden Messorte ausgewählt, die sich bezüglich ihrer Lage, ihrer Bebauung sowie in ihrem Verkehrsaufkommens unterscheiden. Außerdem wurden die Messorte so gewählt, dass sie Orte repräsentieren, die für einen Großteil der Bevölkerung relevant sind. Solche Orte sind belebte Plätze, Schulen, Kindergärten und Spielplätze. Denn besonders Kinder und junge Heranwachsende sind durch zu hohe Stickoxidkonzentrationen gefährdet, da sich ihre Lunge noch in der Entwicklungsphase befindet und sich insbesondere die Abwehrfähigkeit der Lunge bis hin zum Ende des zweiten Lebensjahres ausprägt.

Ziel der Messungen war es mit den gemessenen Stickstoffdioxidwerten, die aktuelle Belastung zu erfassen, als auch daraus den Jahresdurchschnitt der Stickstoffdioxidkonzentration an diesen Orten zu extrapolieren. Die aktuellen Messwerte stellen zwar die aktuelle Belastung dar, sind jedoch durch ihre kurze Zeitdauer nicht unbedingt repräsentativ für andere Tage und Zeiten. So spielen meteorologische Bedingungen, Tageszeit und Emissionsverhalten (Hauptverkehrszeiten) eine entscheidende Rolle für die aktuelle Konzentration, die dadurch nicht vollständig abgebildet werden kann. Jedoch wurde grundsätzlich darauf geachtet, die Messungen an Tagen mit durchschnittlichen Wetterverhältnissen und Verkehrslagen durchzuführen.

Um die Repräsentativität der Ergebnisse zu erhöhen, sowie Bezug auf den Jahresgrenzwert von NO_2 von $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ zu nehmen, wurde aus den Messwerten der Jahresdurchschnitt der Stickstoffdioxidkonzentration an diesen Orten extrapoliert. Dazu werden die Messwerte mit den gleichzeitigen Messwerten Stuttgarter Messstationen (LUBW 2015) [5] sowie den letztjährigen Jahresmittelwerten (2014) [4] dieser Stationen in Relation gesetzt. Zu jedem Messort wurde eine ähnliche Stuttgarter Station bestimmt. Ähnlich sind sich ein Messort und eine Messstation, wenn sich, die Stickstoffkonzentration beeinflussenden Faktoren, wie Lage, Bebauung und Verkehrsaufkommen, gleichen.

Aus dem Durchschnittswert unserer Messung k , dem zeitgleich gemessenen Stundenmittelwert der Messstation k_s und dem Jahresmittelwert j_s wird mit folgender Formel der Jahresmittelwert j extrapoliert:

$$j = k \frac{j_s}{k_s}$$

Für Stuttgart ergeben sich hierbei Schwierigkeiten, da alle Messstationen im zentralen Stadtbereich reine Hauptverkehrsmessstationen sind. Somit gibt es keine Stationen, die die Konzentrationen in Nebenstraßen oder städtischen Hintergrund darstellen. Die erste Messstation für städtischen Hintergrund befindet sich im Norden von Stuttgart-Bad Cannstatt und ist somit weit außerhalb des

zentralen Stadtgebietes. Sie ist unserer Ansicht nach daher nur begrenzt repräsentativ als Hintergrundmessstation im zentralen Stadtgebiet, kann aber dennoch Aufschluss über mögliche Jahresmittelkonzentrationen in wenig befahrenen Gegenden geben. Die Messstation Hohenheimer Straße liegt in einem Straßenabschnitt mit starker Steigung. Da die Abgase hier evtl. nicht auf andere Straßen ohne derartige Steigung übertragen werden können, wurde sie für weitere Berechnung nicht verwendet. Bei der Station Arnulf-Klett-Platz am Hauptbahnhof wurde eine starke Windabhängigkeit beobachtet. Bei üblichem Süd-Westwind werden geringere Konzentrationen beobachtet, als bei nord-östlicher Windrichtung, wenn die Verkehrsemissionen von der Straße direkt zur Station getragen werden. Generell kann bei der Verwendung der Messstationsdaten von Hauptverkehrsstandorten für die Bestimmung der extrapolierten Jahresmittelwerte für Messorte in weniger befahrenen Straßen zu einer Unterschätzung. Grund ist dafür das an den Hauptverkehrsstraßen ein deutlich größerer Gradient zwischen Konzentrationen während der Hauptverkehrszeiten im Verhältnis zum Mittelwert anzutreffen ist als für Nebenstraßen. Daher stellen die bestimmten Werte eher eine untere Grenze dar. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Stunden-Messwerte der Stationen nur vorläufige, ungeprüfte Messdaten darstellen.

Folgende Tabelle zeigt die Jahresmittel 2014 der einzelnen Messtationen [2].

Messstation	Beschreibung	Jahresmittel j
Stuttgart Am Neckartor (S)	Verkehr	89
Stuttgart Hohenheimer Straße (S)	Verkehr	77
Stuttgart Arnulf-Klett-Platz	Verkehr	61
Stuttgart Bad Cannstatt	Hintergrund	31

Es ist hervorzuheben, dass die so extrapolierten Jahresmittelwerte eine Abschätzung darstellen, die in den meisten Fällen im Rahmen von +/- 20% zum wahren Wert liegt. Eine genaue Aussage kann aber nur durch Langzeitmessungen und/ oder regelmäßig wiederholte Messungen an den jeweiligen Orten erfolgen.

Die gemessenen Konzentrationen werden zudem von den jeweiligen Wettergegebenheiten beeinflusst. Am 07.12.2015 variierte die Temperatur von morgens (10 Uhr) 9°C bis hin zu 14°C am Nachmittag (15 Uhr), sowie 7°C (18 Uhr) in den Abendstunden. Tagsüber schien die Sonne und es wehte ein Wind aus Westrichtung mit 7 km/h bis in den Nachmittag hinein (14 Uhr), welcher danach in Südrichtung drehte.

Am 14.01.2016 variierte die Temperatur von morgens (10 Uhr) -1°C bis hin zu 5°C am Nachmittag (14 Uhr), sowie 3°C (18 Uhr) in den Abendstunden. Tagsüber schien die Sonne an einem klaren blauen Winterhimmel und es wehte ein Wind aus Nordrichtung mit bis zu 18 km/h..

Ergebnisse der stationären Messungen

Montag, 07.12.2015

An diesem Messtag wurden in Stuttgart eine Bushaltestelle (am HBF), zwei Schulen, eine Kindertageseinrichtung, ein Krankenhaus und öffentliche Plätze in der verkehrsberuhigten Zone der Innenstadt auf die vorherrschende NO₂ Belastung untersucht.

1.Messort: Hauptbahnhof, Bushaltestelle Nordseite

Der Hauptbahnhof wird von vielen Menschen aller Altersgruppen täglich aufgesucht. Gerade bei einem regen Busverkehr mit vielen Anfahrtszyklen ist der Wartende an der Haltestelle hohen Stickoxidkonzentrationen ausgesetzt. Mit einem extrapolierten Jahresmittelwert von 90µg/m³ liegt man deutlich über dem Grenzwert von 40µg/m³. Dieser Wert liegt deutlich höher als der Jahresmittelwert der nahe gelegenen Station Arnulf-Klett-Platz mit 61µg/m³. Grund hierfür ist womöglich, dass bei typischen Windrichtungen aus Süd-West diese Station die Emissionen der Fahrzeug auf der Straße gar nicht erfasst, also im Jahresmittel niedrigere Messwerte aufweist. Dies zeigt sich z.B. dadurch, dass an der Station am 1. Messtag (7.12.2015) bei Süd-Westwind niedrigere NO₂ Konzentrationen beobachtet wurden als am 2. Messtag (14.1.2016) mit Nordwind. Steht man hingegen wie in unserem Fall auf der Nordseite der Straße, kann man hohe NO₂ Werte bei typischem Süd-Westwind beobachten. Diesen sind z.B. auch die Fahrgäste an der Haltestelle ausgesetzt.



Abbildung 3: Messung an der Bushaltestelle Hauptbahnhof mit dem Stativ und Ansaughöhe ca. 1,5m.

2.Messort: Römerschule, Römerstr.16



Abbildung 4: Messung an der Fassade der Römerschule zur Richtung Hauptstätter Straße mit dem Stativ und Ansaughöhe ca. 1,5m.

Der Haupteingang dieser Schule liegt in einer Seitenstraße zur Hauptstätter Straße, dadurch ist an diesem Ort kein direkter Verkehr. Das Schulgebäude besitzt jedoch ebenfalls eine Fensterfront, die direkt auf die Hauptverkehrsstraße hinaus zeigt. Zwar sind die Klassenräume mit Doppelfenstern ausgestattet und die Belüftung erfolgt vorrangig über eine Lüftungsanlage. Durch die Lüftungsanlage sollte ebenfalls ein Großteil der Stickoxidkonzentrationen in die Klassenräume gelangen (die Lüftungsanlagen filtern meist nur Partikel, aber keine Stickoxide). Die Kinder im Grundschulalter befinden sich von 8 Uhr morgens bis zur Mittagszeit in der Grundschule und sind dort den vorherrschenden Spurengaskonzentrationen ausgesetzt. An beiden Standpunkten (Haupteingang Nebenstraße und an der Hauptverkehrsstraße) wurden NO_2 Konzentrationen jeweils im Mittel von 49 und $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Die Messungen erfolgten zur Mittagszeit, außerhalb der Hauptverkehrszeiten wenn mit bereits mäßigeren Konzentrationen zu rechnen ist. Auf der Hauptstätter Straße konnte trotzdem ein reger, fließender Verkehr beobachtet werden, der jedoch deutlich geringer als zu Hauptverkehrszeiten ausfiel. Dies verursachte ebenfalls eine starke Variation der Messwerte je nach kurzzeitiger Fahrzeugzahl. Die extrapolierten Jahresmittelwerte zeigen Werte von $49\mu\text{g}/\text{m}^3$ für die Hauptstätter Str. und sind für den Haupteingang in der Seitenstraße bereits deutlich geringer mit $36\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Abbildung 5: Messung vor dem Seiteneingang der Römerschule mittels Stativ

3.Messort: Kita Lukas, Schwarenbergstr. 115

Diese Kindertagesstätte ist an einer eher ruhig anmutenden Straße gelegen, mit einem Garten hin zur Straße, der für die spielenden Kinder gedacht ist. Die Zielgruppe an die sich diese Einrichtung richtet, sind Kinder im Alter von 1-6 Jahren, welche vormittags in der Kita betreut werden. Auch während der Messungen spielten Kinder im Garten. Zu diesem Zeitpunkt wurde nur geringer Verkehr auf der Straße beobachtet. Die Messwerte sind daher ähnlich zu dem erwarteten städtischen Hintergrund. Jedoch wurde trotzdem im Mittel eine hohe Konzentration von $63\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Auch der extrapolierte Jahresmittelwert von $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt knapp über dem Grenzwert von $40\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Abbildung 6: Messungen vor der Kita Lukas, Schwarenbergstr. 115. Messleitung war direkt am Fahrzeug zur Bürgersteigseite angebracht.

4.Messort: Zeppelinglymnasium, Neckarstraße 149

Da das Zeppelinglymnasium direkt an der Hauptverkehrsstraße liegt, ist es gut mit öffentlichen Verkehrsmitteln zu erreichen. Verschiedene U-Bahnen halten direkt vor dem Hauptgebäude, und auch mit dem Auto ist die Anbindung hervorragend. Mit einer Ampelschaltung direkt vor dem Gebäude führt dies zu häufigen Stausituationen, gerade zu Berufsverkehrszeiten. Jedoch kann durch die weitere Bebauung eine gute Belüftung in diesem Straßenbereich möglich. Jugendliche im Alter von 10-18 Jahren besuchen diese Schule zwischen 8 Uhr und 16 Uhr und sind somit den ganzen Tag über, gerade auch zu Hauptverkehrszeiten den jeweiligen NO_2 Konzentrationen ausgesetzt. Auch während der Messungen kam es immer wieder zu kurzzeitig stockendem Verkehr. Starke Variationen der Messwerte (bis weit über $100\mu\text{g}/\text{m}^3$) konnten beobachtet werden, voraussichtlich hervorgerufen durch einzelne, besonders stark emittierende Fahrzeuge. Im Mittel lag die Konzentration bei $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ und der extrapolierte Jahresmittelwert bei $40\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Abbildung 7: Messung vor dem Haupteingang des Zeppelinglymnasiums mittels Stativ

5.Messort: Katherinen Hospital

Dieses Krankenhaus liegt an der Kriegsbergstraße 60, einer viel befahrenen Hauptverkehrsstraße. Gerade für Menschen, die eine Operation hinter sich haben, und deren Immunsystem geschwächt ist, sind zu hohe Schadstoffkonzentrationen gefährlich. Besonders Patienten mit Bronchialen oder Herz-



Abbildung 8: Messung vor dem Haupteingang des Katherinen Hospitals mittels Stativ

Kreislauf Erkrankungen sind gefährdet. Auch hier wurden gerade zur Hauptverkehrszeit Konzentrationen von über $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Der extrapolierte Jahresmittelwert liegt bei $55\mu\text{g}/\text{m}^3$.

6.Messort: Weihnachtsmarkt und Rathausplatz

Der zentral gelegene Rathausplatz im Herzen Stuttgarts liegt in einem verkehrsberuhigten Bereich abseits vom Straßenverkehr. Dennoch werden auch hier verkehrsbedingt hohe NO_2 Konzentrationen erwartet die sich im Stadtgebiet insgesamt verteilen. Dieser Ort ist besonders interessant, da ihn viele Bürger frequentieren: Kinder, Erwachsene und Senioren werden gleichermaßen den dort vorherrschenden Konzentrationen ausgesetzt. Obwohl in der verkehrsbedingten Zone keine Autos



Abbildung 9: Messung auf dem Weihnachtsmarkt vor dem Rathaus mittels Stativ

fahren, wurden auch hier hohe Konzentrationen von im Mittel $73\mu\text{g}/\text{m}^2$ gemessen. Zwar liegt das extrapolierte Jahresmittel mit $33\mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich niedriger, jedoch trotzdem sehr hoch für ein verkehrsberuhigtes Stadtgebiet.

Donnerstag, 14.01.2016

An diesem Messtag wurden fünf Schulen, ein Spielplatz und die Umweltmessstation am Neckartor auf die vorherrschende NO₂ Belastung untersucht.

1.Messort: Steinbeisschule, Steinbeisstraße 5



Abbildung 10: Messung vor dem Haupteingang der Steinbeisschule mittels Stativ vor dem Schulgebäude.

Diese Schule liegt etwas abseits der Stuttgarter Innenstadt, nahe des Rosensteinparks. Als technisches Gymnasium und Berufskolleg richtet sich ihr Bildungsangebot vorrangig an Jugendliche im Alter von 10-18 Jahren, die dort ganztags den Unterricht besuchen. Der gemessene Mittelwert lag bei 47µg/m³, trotz der Tatsache, dass während unserer Messung kaum ein Auto die Straße befahren hat. Daraus errechnet sich ein Jahresmittelwert von 31µg/m³, welcher unter dem Jahresgrenzwert liegt, aber im Vergleich zum geringen Verkehrsaufkommen recht hoch ist.

2.Messort: Hölderlin Gymnasium, Hölderlinstrasse 28

Das Hölderlin Gymnasium liegt in einer ruhigen Seitenstraße, die nur relativ selten befahren wird. Mit einer Gebäudefassade hin zur Straße und einem Schulhof, der ebenfalls an die Straße grenzt, ist der Einfluss der vorbeifahrenden Autos auf die NO₂ Konzentration auf dem Schulgelände dennoch nicht zu vernachlässigen. Gerade Heranwachsende im Alter von 10-18 Jahren sind hiervon betroffen. Die gemessene Konzentration liegt bei 56µg/m³, der extrapolierten Jahresmittelwert liegt bei 42µg/m³.



Abbildung 11: Messung vor dem Hölderlin Gymnasium mittels Ansaugtrichter am Bus Richtung Bürgersteig

3.Messort: Eberhard-Ludwigsgymnasium, Herdweg 72



Abbildung 12: Messung vor dem Eberhard-Ludwigsgymnasium mittels Ansaugtrichter am Bus Richtung Bürgersteig

Unweit des Hölderlin Gymnasiums befindet sich das Eberhard-Ludwigsgymnasium, das an einer Bergstraße mit starker Steigung liegt. Unweit des Haupteingangs befindet sich eine Bushaltestelle. Der Verkehr ist mäßig bis stark. Die gemessenen ($53\mu\text{g}/\text{m}^3$) und extrapolierten ($42\mu\text{g}/\text{m}^3$) NO_2 Konzentration ähneln denen am Hölderlin Gymnasium, trotz des stark voneinander abweichenden Verkehrsaufkommens. Hier lässt sich besonders gut die Dominanz der Hintergrundbelastung erkennen, gerade weil beide Messorte auf einer Luftlinie von weniger als 1km voneinander entfernt liegen.

4.Messort: Messstation Am Neckartor

Als Zubringer nach Stuttgart ist die Hauptverkehrsstraße Am Neckartor stark befahren. Dort wurden Messdaten mit unserem Messgerät in einem Zeitraum von einer Stunde aufgenommen, um diese mit der örtlichen Messstation zu vergleichen. Hier wurden Konzentrationen von $99\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, und ein Jahresmittelwert von $82\mu\text{g}/\text{m}^3$ extrapoliert. Diese Messung sollte verdeutlichen, dass Messungen mit dem NO_2 -ICAD und einer herkömmlichen Messstation vergleichbare Ergebnisse liefern. So liefert der Vergleich eine NO_2 Konzentration von im Mittel $99\mu\text{g}/\text{m}^3$ für unser NO_2 -ICAD und $108\mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Chemolumineszenz Messgerät mit Molybdänkonverter der Messstation. Somit liegt unser Messwert um gute 8% geringer. Hauptursache sind nach unserer Einschätzung eher die systematischen Messfehler von Chemolumineszenz Messgeräten mit Molybdänkonvertern die bis zu 50% des Messwertes betragen können [Villena, 2005]. Weitere Gründe mögen die leicht versetzte Ansaugluft und Kalibrationsunsicherheiten beider Messsysteme sein. Da wir leicht geringere NO_2



Abbildung 13: Messung an der Umweltmessstation Am Neckartor mittels Stativ auf dem Autodach

Konzentrationen beobachtet haben, würden wir im Verhältnis für die anderen Messorte ebenfalls geringe Werte beobachten, als jene einer etwaigen Messstation.

5.Messort: Wirtschaftsgymnasium West, Rotebühlstraße 101



Abbildung 14: Messung vor dem Haupteingang des Wirtschaftsgymnasiums mittels Stativ

Diese Einrichtung richtet sich sowohl an Jugendliche im Alter von 10-18 Jahren, die das Wirtschaftsgymnasium besuchen, als auch an junge Berufseinsteiger, im Berufskolleg. Das Gebäude hat sowohl eine Fensterfront zur ruhig gelegenen Seitenstraße, als auch den Haupteingang zur Hauptverkehrsstraße, mit Bushaltestelle und Ampelkreuzung. An beiden Positionen wurden Messdaten aufgenommen, um die unterschiedlichen Verkehrslagen zu charakterisieren. Erstaunlicherweise waren die gemessenen Konzentrationen mit $23\mu\text{g}/\text{m}^3$ hier relativ niedrig, was an der guten Luftzirkulation, bedingt durch den Wind und den relativ offenen Platz, liegen kann. Damit ergeben sich ein Jahresmittelwert von $19\mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich unter dem Jahresmittelgrenzwert.

6.Messort: Spielplatz am Marienplatz

Dieser Basketballplatz liegt direkt an einer Hauptverkehrsstraße mit starkem Verkehr auf dem, gerade zu Abendstunden, spielende Kinder nach der Schule hier anzutreffen sind. Sowohl Kinder im Grundschulalter, als auch Jugendliche betätigen sich hier sportlich. Gerade bei sportlichen Aktivitäten ist durch den erhöhten Lungenumsatz mit einer erhöhten Aufnahme von Stickoxiden zu rechnen. Der gemessene Mittelwert liegt bei $37\mu\text{g}/\text{m}^3$, dies entspricht einem Jahresmittelwert von $32\mu\text{g}/\text{m}^3$. Wahrscheinlich sind die Messwerte deutlich geringer als erwartet, da durch den weiten Platz eine



Abbildung 15: Messung auf dem Marienplatz mittels Stativ auf dem Autodach.

vorteilhafte Belüftung stattfinden kann. Jedoch sind die gemessenen Konzentrationen für sportliche Aktivitäten bedenklich.

7.Messort: Evang. Mörike-Gymnasium, Arminstraße 30

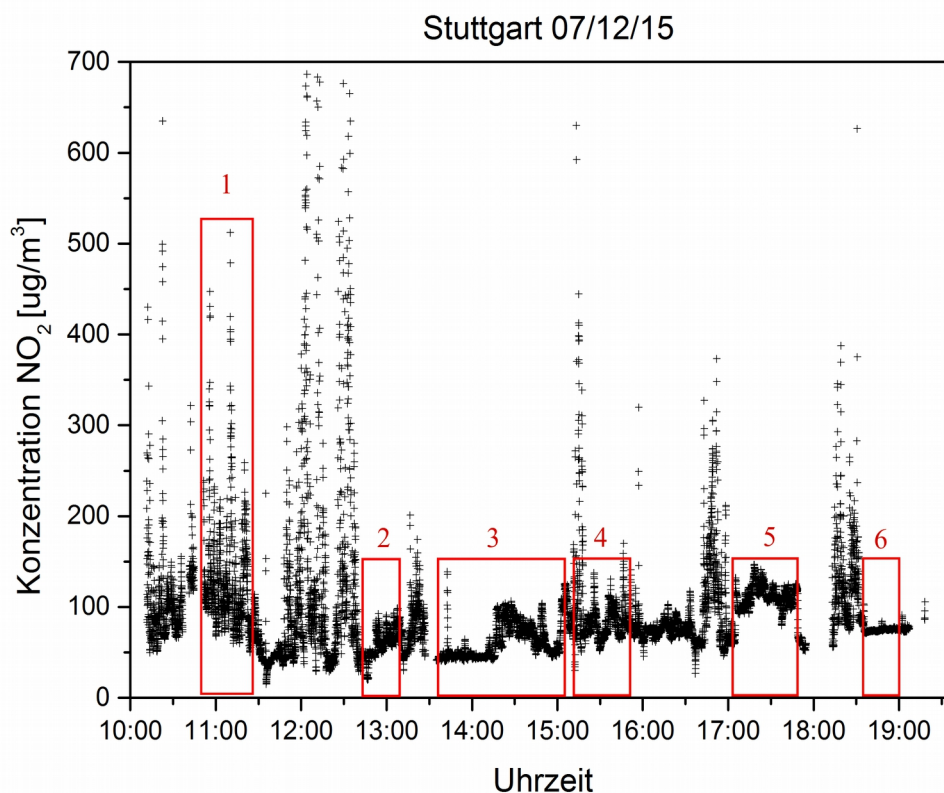
Das evangelische Mörike-Gymnasium liegt unweit des Marienplatzes. In der Straße vor der Fensterfront der Schule fahren nur selten Autos. Zielgruppe der Schule sind Kinder und Jugendliche im Alter von 10-18 Jahren. Gemessen wurden Mittelwerte von $45\mu\text{g}/\text{m}^3$. Aufgrund der Nähe zum viel befahrenen Zentrum ist der extrapolierte Jahresmittelwert von $36\mu\text{g}/\text{m}^3$ trotz der eher ruhigen Lage relativ hoch.



Abbildung 16: Messung vor der Fassade des ev. Mörike-Gymnasiums mittels Stativ auf dem Autodach

Zusammenfassung Ergebnisse stationäre Messungen

Der folgende Graph zeigt die bestimmten NO_2 Konzentrationen im Verlauf des 7.12.2015. Die jeweiligen stationären Messorte sind mit einem roten Kasten markiert und der jeweiligen Ortsnummer gekennzeichnet.



Die Zeiten zwischenden Messorten sind Messungen während der Autofahrt ,dass heißt auf der Straße. Dabei wurde in den Abgasfahnen der Fahrzeuge gemessen, was die deutlich höheren Konzentrationen

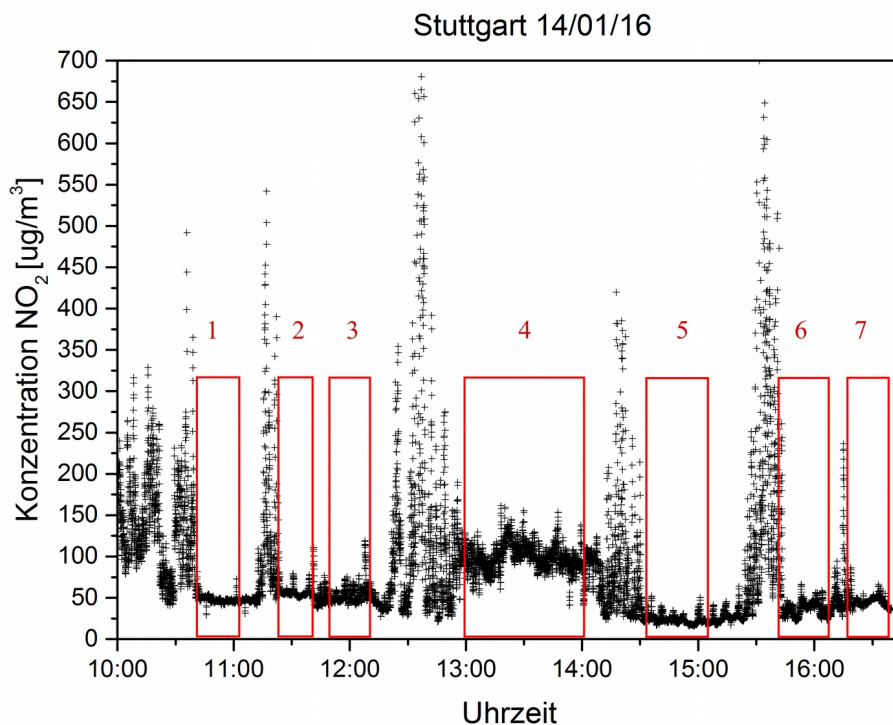
verursacht. Diese Daten sind nicht als Emissionsdaten zu betrachten und sollten mit diesen auch nicht direkt verglichen werden. Sie wurden jedoch für Emissionsbestimmungen in Abschnitt „Mobile Messungen von Fahrzeugemissionen“ genutzt.

Folgende Tabelle zeigt die errechneten zeitlichen Mittelwerte der NO_2 Konzentration jeweils in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mit der dazugehörigen Standardabweichung (Std) und dem aus den Stationsmessdaten (Referenz) bestimmten extrapolierten Jahresmittelwert j.

Nr.	Start	Stop	Ort	Mittelwert	Std	Extrapol. Jahresmittel j	Referenz-Station	Referenzwert
1	10:40	11:28	Hauptbahnhof, Bushaltestelle Nordseite	126	58	90	Neckartor	124
2	12:42	12:54	Römerschule Seitenstraße	49	14	36	Neckartor	121
2	12:54	13:12	Römerschule Hauptstraße Fassade	65	13	49	Neckartor	117
3	13:32	15:10	Kita Lukas, Schwarzenbergstr. 115	63	20	41	Bad Cannstatt	48
4	15:19	15:24	Zeppelingymnasium, Turnhalle	77	8	39	Neckartor	175
4	15:26	15:47	Zeppelingymnasium, Schulfront	82	18	42	Neckartor	175
5	17:05	17:47	Katherinen Hospital, Haupteingang	106	11	55	Neckartor	172
6	18:37	18:42	Fußgängerzone, Commerzbank	73	1	33	Neckartor & Bad Cannstatt	203 & 68
6	18:50	18:58	Weihnachtmarkt, Rathaus	75	1	34	Neckartor & Bad Cannstatt	203 & 68

Es lässt sich erkennen, dass an den von uns gemessenen Orten die extrapolierte Jahresmittelkonzentration j oft über dem Grenzwert von $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt. Im Ortskern, sowie am Katherinen Hospital sind Konzentrationen über $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ zu verzeichnen, die Kita Lukas liegt mit $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ etwas über diesem Wert, und das Zeppelingymnasium an der stark befahrenen Neckarstraße zeigt Werte von um die $40\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Der folgende Graph zeigt die errechnete NO_2 Konzentration im Verlauf des 14.01.2016. Die jeweiligen stationären Messorte sind mit einem roten Kasten markiert und der jeweiligen Ortsnummer darüber.



Folgende Tabelle zeigt die errechneten zeitlichen Mittelwerte der NO_2 Konzentration jeweils in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mit der dazugehörigen Standardabweichung (Std) und dem aus den Stationsmessdaten (Referenz) bestimmten extrapolierten Jahresmittelwert j.

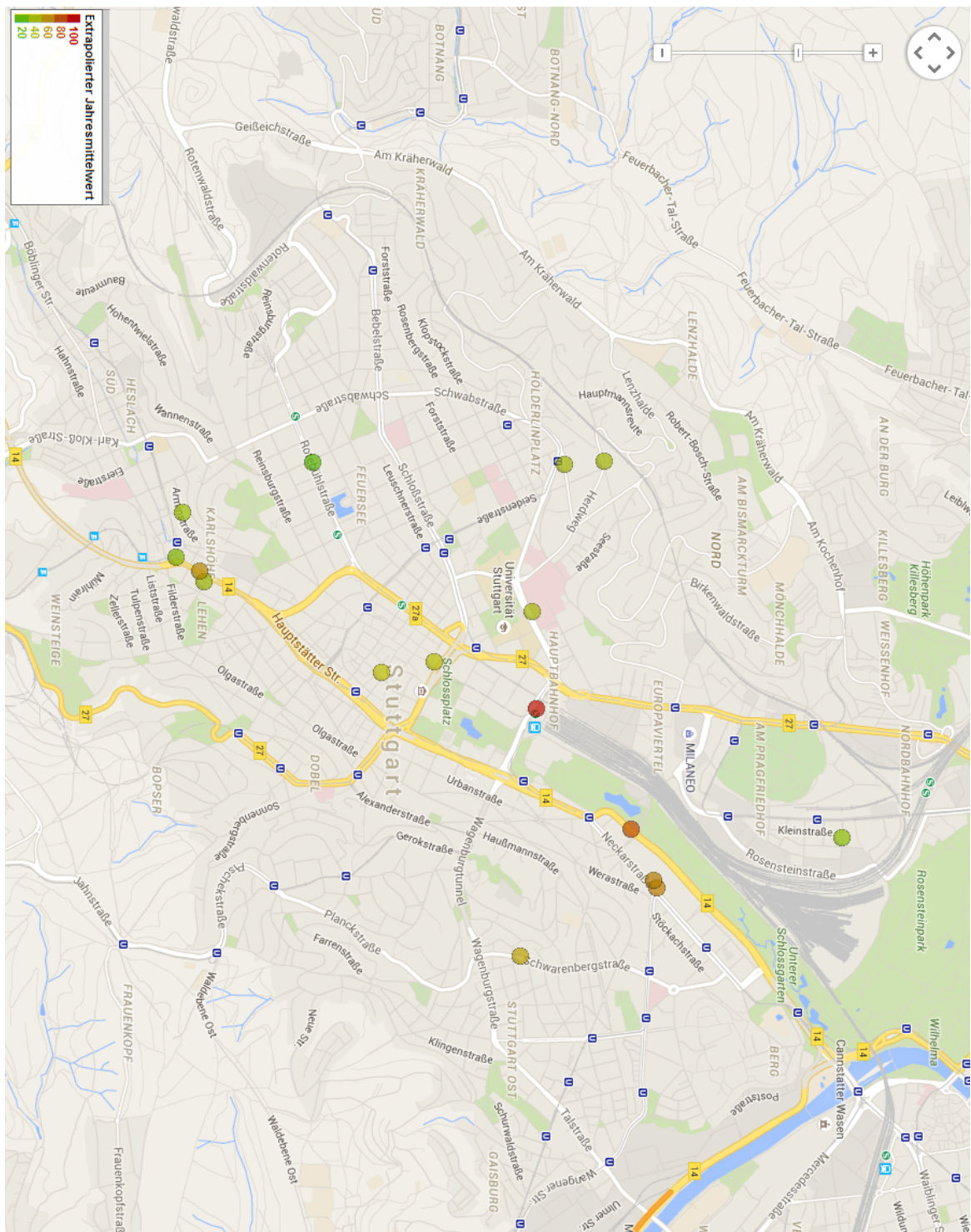
Nr.	Start	Stop	Ort	Mittelwert	Std	Extrapol. Jahresmittel j	Referenzstation	Referenzwert
1	10:46	11:05	Steinbeisschule Haupteingang	47	3	31	Neckartor & Bad Cannstatt	134 & 48
2	11:25	11:40	Hölderlin Schule	56	5	42	Neckartor & Bad Cannstatt	119 & 43
3	11:49	12:15	Eberhard-Ludwigsgymnasium	53	11	42	Neckartor	113
4	13:00	14:00	Messstation Neckartor	99	16		Neckartor	108
5	14:35	15:15	Wirtschaftsgymnasium Haupteingang	23	6	19	Neckartor & Bad Cannstatt	131 & 31
6	15:45	16:07	Basketballplatz Marienplatz	37	8	32	Neckartor & Bad Cannstatt	102 & 40
7	16:19	16:38	ev. Mörike Gymnasium	45	5	36	Neckartor & Bad Cannstatt	97 & 46

Die abseits der Hauptstraßen gelegene Steinbeisschule weist Jahresmittelwerte von $31\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf, unter dem gesetzlichen Jahresmittelgrenzwert von $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dem Hölderlin-Gymnasium, wie auch dem Eberhard-Ludwigs-Gymnasium, lassen sich Jahresmittelwerte über $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ zuordnen. Das an der Hauptstraße gelegene Wirtschaftsgymnasium liegt mit $19\mu\text{g}/\text{m}^3$ in einem niedrigen NO_2 Konzentrationsbereich. Der Basketballplatz zeigt trotz seiner unmittelbaren Nähe zum Verkehr eine

Jahresmittelkonzentration von unter $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dies kann durch eine gute Vermischung über dem großen Platz mit gleicherweise sauberer Hintergrundluft zu erklären sein.

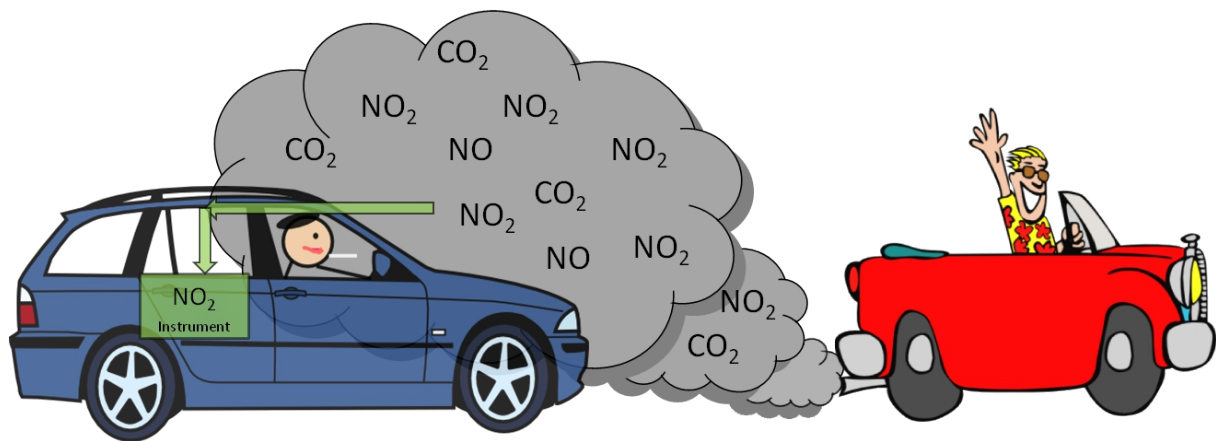
Die Messdaten liegen im Rahmen der Erwartungen unter Berücksichtigung der Messdaten und Jahresmittelwerte der Umweltmessstationen. Somit sind große Bereiche der Stuttgarter Innenstadt durch hohe NO_2 Belastungen ausgeprägt. Mehrere Orte liegen dabei über den erlaubten Jahresgrenzwert von $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedoch wird auch deutlich, dass die vorhandenen Messstationen bereits die Orte mit den höchsten NO_2 Konzentrationen abdeckt. Nur an der Messstation Arnulf-Klett-Platz, werden durch den typischen Süd-Westwind mit Zuluft aus saubereren Stadtbereichen die wahre Belastung in diesem Stadtviertel unterschätzt. So wurden deutlich höhere Werte auf der anderen Straßenseite vor dem Hauptbahnhof gemessen. So liegt der extrapolierte Jahresmittelwert für die Haltestelle vor dem Hauptbahnhof $90\mu\text{g}/\text{m}^3$, wohingegen der Arnulf-Klett-Platz nur einen Wert von $61\mu\text{g}/\text{m}^3$ misst.

Die folgende Karte zeigt eine Übersicht der stationären Messorte mit einer Farbkodierung gemäß der extrapolierten NO_2 Konzentration. Hierbei sind Werte unter dem Jahresmittelgrenzwert von $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ grün eingefärbt und Werte oberhalb dieses Wertes orange bis rot gemäß der Legende.



Mobile Messungen von Fahrzeugemissionen

Um den Stickstoffdioxidausstoß unterschiedlicher Fahrzeuge im Betrieb zu messen, wurden verschiedene mobile Messungen vorgenommen. Insbesondere wurde das Augenmerk auf Busse des öffentlichen Nahverkehrs wegen ihrer hohen Kilometerleistung im Stadtgebiet gelegt. Hierzu wurden Busse sowohl stationär am Hauptbahnhof beim Halten und Anfahren vermessen, außerdem erfolgten auch mobile Messungen. Das Messprinzip bei dem in der Abgasfahne der vorausfahrenden Fahrzeuge gemessen wurde ist im folgenden gezeigt.



Messprinzip der mobilen Messungen bei dem NO₂ und CO₂ in der Abgasfahne eines vorausfahrenden Fahrzeuges.

Bei Messungen im Fahrbetrieb erfolgt dies durch ein Messfahrzeug welches hinter den betroffenen Fahrzeugen fährt und dabei Luft aus der Abgasfahne ansaugt und darin die NO₂ und CO₂ Konzentration bestimmt. Von diesen Messwerten M wird eine Hintergrundkonzentration H außerhalb der Emissionsfahne (kurz davor oder danach) abgezogen und man erhält die NO₂ bzw. CO₂ Erhöhung in der gemessenen Abgasfahne. Für beide Gase wurde je ein Mittelwerten M in der Fahne und die Hintergrundkonzentration H bestimmt. Die gemessene Erhöhung der NO₂ Konzentration hängt dabei neben dem Emissionsverhalten der Fahrzeuge auch von verschiedenen Parametern wie der Luftvermischung und dem Fahrverhalten ab. Für diese Parameter ist dies aber ebenfalls für CO₂ der Fall. Da die CO₂ Emissionen der Fahrzeuge relativ genau bekannt und durch den Kraftstoffverbrauch vorgegeben sind, lässt sich aus dem Quotienten eine klare Bestimmung von auffälligen Fahrzeugen mit zu hohen NO₂ Emissionen durchführen. Man erhält daher das Emissionsverhältnis $E_R(\text{NO}_2/\text{CO}_2)$ mit der Gleichung (Gl. 1).

$$E_R\left(\frac{\text{NO}_2}{\text{CO}_2}\right) = \frac{\text{NO}_{2,M} - \text{NO}_{2,H}}{\text{CO}_{2,M} - \text{CO}_{2,H}} \quad (\text{Gl.1})$$

Mit diesem können ebenfalls mit der bekannten CO₂ Emission die Einhaltung der EURO Emissionsgrenzwerte überprüft werden, wobei diese sich auf NO_x = NO + NO₂ beziehen. Somit wurde

hier nur ein Teil der Emissionen gemessen. Liegt dieser bereits über den Emissionsgrenzwert, liegt die Gesamtemission noch viel höher. Bei Diesel Pkw kann der NO₂ Anteil bis zu 50% der Emissionen ausmachen. Bei Benzin- Fahrzeugen ist dieser Wert meist nur um die 10%.

Die folgende Tabelle zeigt das Emissionsverhältnis $E_r(\text{NO}_2/\text{CO}_2)$ der gemessenen Fahrzeuge, die Kennzeichen der Fahrzeuge wurden für diesen Bericht aus Datenschutzgründen ausgeblendet. Bei Messungen im Fahrbetrieb wurde in folgender Tabelle der Startpunkt der Messung angegeben.

Datum	Fahrzeug	Kennzeichen	Ort	NO ₂ /CO ₂ [%]
07.12.2015	Bus 40		Stationär Hauptbahnhof	0.033
07.12.2015	Bus 40		Stationär Hauptbahnhof	0.120
07.12.2015	Bus 44		Hauptbahnhof	0.137
07.12.2015	PkW		Hauptstätter Straße	0.155
07.12.2015	Bus 42		Hauptbahnhof	0.027
07.12.2015	Bus 42		Katherinen Hospital	0.034
07.12.2015	PkW		Kita Lukas	0.207
07.12.2015	PkW		Katherinen Hospital	0.040
07.12.2015	PkW		Hauptstraße (Rathaus Passage)	0.015
14.01.2016	Bus 42		Eberhard-Ludwigs-Gymnasium	0.011
14.01.2016	Bus 42		Katherinen-Hospital	0.075
14.01.2016	Bus 41		Marienplatz	0.047

In den 2 Messtagen konnten nur wenige Fahrzeugemissionsmessungen durchgeführt werden, diese zeigen aber, dass bereits große Unterschiede der Fahrzeuge festzustellen sind. So zeigen Busse generell geringe E_r -Werte auf. Vor allem zeigen neuere Busse gewöhnlich geringe NO₂ Emissionen auf. Es gibt dabei aber auch Ausnahmen, die auf mögliche Defekte der Abgasreinigung hinweisen. In der Regel können höhere NO₂ Emissionen älteren Bussen zugeordnet werden. Die Emissionsverhältnisse verschiedener Busse können sich hierbei ohne weiteres um einen Faktor von 10 unterscheiden. Die hohen Emissionen sind vor allem bei älteren Bussen beobachtet worden, die ebenfalls noch im ÖPNV im Einsatz sind. Für eine Verbesserung der Luftqualität sollten derartige Fahrzeuge identifiziert, nachgerüstet oder gar durch neue ersetzt werden.

Pkw weisen zwar insgesamt geringere NO₂ Emissionen auf, aber das Emissionsverhältnis E_r liegt oft deutlich über dem eines Busses. Dies zeigt vor allem eine schlechtere Entfernung von Stickoxiden bei einigen Pkw Diesel-Modellen. Zu einer Verbesserung der Luftqualität ist es auf Grund der hohen Pkw Anzahl wichtig, diese zu identifizieren und in dieser Form vom städtischen Verkehr auszuschließen oder durch eine technische Nachrüstung die Emissionen deutlich zu verringern.

Fazit

Die untersuchten Orte weisen im Schnitt eine im Jahresmittel höhere NO₂ Belastung als 40 µg/m³ auf. Werte zwischen 40-50 µg/m³ sind dabei kein Einzelfall (Hölderlin, Römerschule, Katherinen Hospital, Zeppelingymnasium). Die Jahresmittel der jeweiligen stationär festen Messstation der Stadt Stuttgart wurden dem Bericht des Umweltbundesamtes zu 2014 [2] entnommen. Die gemessenen NO₂ Konzentrationen in µg/m³ und die daraus extrapolierten Jahresmittelwerte sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Ort	NO ₂ Mittelwert [µg/m ³]	NO ₂ Extrapoliertes Jahresmittel j [µg/m ³]
Steinbeisschule Haupteingang	47	31
Hölderlin Schule	56	42
Eberhard-Ludwigsgymnasium	53	42
Messstation Neckartor	99	82
Wirtschaftsgymnasium Haupteingang	23	19
Basketballplatz Marienplatz	37	32
ev. Mörike Gymnasium	45	36
Hauptbahnhof, Bushaltestelle Nordseite	126	90
Römerschule Seitenstraße	49	36
Römerschule Hauptstraße Fassade	65	49
Kita Lukas, Schwarenbegstr. 115	63	41
Zeppelingymnasium, Turnhalle	77	39
Zeppelingymnasium, Schulfront	82	42
Katherinen Hospital, Haupteingang	106	55

Es konnte demnach gezeigt werden, dass die aktuelle NO₂ Belastung an den jeweiligen Messorten zu den jeweiligen Zeiten hoch, jedoch nicht über dem erlaubten Stundengrenzwert von 200µg/m³ liegt. Da es sich während der Messungen nicht um kurzzeitige Ereignisse oder Smogperioden handelt, ist mit einer ähnlich hohen dauerhaften Belastung zu rechnen. Die extrapolierten Jahresmittelwerte sind zwar meist etwas geringer, aber trotzdem hoch und fast immer über oder nah am erlaubten Jahresmittelwert von 40µg/m³. Messorte an Hauptverkehrsstraßen liegen zwar besonders hoch, jedoch auch Orte abseits der Hauptverkehrsstraßen weisen deutlich hohe extrapolierte Jahresmittelwerte auf. Dadurch ist ein Großteil der Bevölkerung diesen hohen Stickstoffdioxidkonzentrationen permanent ausgesetzt. Grund für diese hohe Belastung im gesamten Stadtgebiet ist demzufolge die hohe städtische Hintergrundbelastung, die vor allem durch das hohe Verkehrsaufkommen in Stuttgart, der geographischen Lage und die enge Bebauung verursacht wird. Die bisherigen Umweltmessstationen decken aber die Orte mit den höchsten auftretenden Konzentrationen relativ gut ab. Nur am Hauptbahnhof wurden deutlich höhere Werte (90µg/m³ extrapolierte Jahresmittelwert) als für die nahe gelegene Messstation Arnulf-Klett-Platz (61µg/m³ Jahresmittelwert) gefunden.

Eine Vergleichsmessung unseres Instrumentes am Neckartor lag 8% geringer als der Messwert der Station (vorläufige Daten). Die Unterschiede können verschiedene Ursachen haben, die im Bericht diskutiert worden. Sie sind aus unserer Sicht vor allem auf Interferenzen des Messgerätes der Umweltmessstation zurückzuführen. Dieser Vergleich zeigt aber vor allem, dass die hier präsentierten hohen NO₂ Messwerte nicht durch die Messmethode zu erklären sind.

Bei einigen Fahrzeugemissionsmessungen im Stadtgebiet konnte gezeigt werden, dass große Unterschiede in den Emissionen der städtischen Busse zu finden ist. So weisen manche Busse (vor allem ältere Modelle) deutlich höhere Emissionen auf als neuere Busse. Dennoch liegen die Emissionsverhältnisse $E_r(\text{NO}_2/\text{CO}_2)$ von Diesel PkW ähnlich hoch oder höher als bei diesen älteren Bussen liegen.

Quellen

- [1] , Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide; Report on a WHO Working Group; Bonn, Germany; 2003. [\[DP1\]](#)
- [2] Luftqualität 2014 Vorläufige Auswertung[\[DP2\]](#), Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2015; <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2014>;
- [3] Umweltbundesamt; <http://www.umweltbundesamt.de/presse/presseinformationen/luftqualitaet-2014-stickstoffdioxid-wird-schadstoff>
- [4] Jährliche Auswertung NO₂; Umweltbundesamt 10.2015; http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/358/dokumente/no2_2014_2.pdf
- [5] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Aktuelle Luftmessdaten (reine Messdaten ohne fachliche Prüfung). <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/>
- [6] Villena, G., Bejan, I., Kurtenbach, R., Wiesen, P., and Kleffmann, J.: Interferences of commercial NO₂ instruments in the urban atmosphere and in a smog chamber, Atmos. Meas. Tech., 5, 149-159, 2005.