

# Das dreckige Dutzend

**Abschlussbericht der Stickstoffdioxid-  
Messungen in zwölf deutschen Städten**





Abschlussbericht



# Stickstoffdioxid-Messungen in 12 Städten

15.02. - 17.03.2016

Autoren: K. Bigge, Dr. D. Pöhler

Mit Unterstützung von:

Dr. M. Horbanski, Dr. J. Lampel,  
A. De Aguinaga und Prof. U. Platt

*Institut für Umweltphysik,  
Universität Heidelberg, Deutschland*

im Auftrag von Greenpeace Deutschland

Version: 24.6.2016

Kontakt:

[denis.poehler@iup.uni-heidelberg.de](mailto:denis.poehler@iup.uni-heidelberg.de) // [kbigge@iup.uni-heidelberg.de](mailto:kbigge@iup.uni-heidelberg.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Physikalisch-Chemische Grundlagen von Stickstoffdioxid</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Messprinzip</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Messtrategie</b>	<b>10</b>
4.1	Stationäre Messungen . . . . .	11
4.2	Messung der Schadstoffbelastung für Fahrradfahrer . . . . .	11
4.3	Extrapolation zu Jahresmittelwerten . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>17</b>
5.1	Augsburg . . . . .	19
5.1.1	Stationäre Messungen . . . . .	19
5.1.2	Fahrradmessung . . . . .	25
5.2	Dortmund . . . . .	27
5.2.1	Stationäre Messungen . . . . .	29
5.2.2	Fahrradmessungen . . . . .	34
5.3	Düsseldorf . . . . .	37
5.3.1	Stationäre Messungen . . . . .	39
5.3.2	Fahrradmessung . . . . .	43
5.4	Esslingen . . . . .	45
5.4.1	Stationäre Messungen . . . . .	45
5.5	Frankfurt . . . . .	48
5.5.1	Stationäre Messungen . . . . .	50
5.5.2	Fahrradmessungen . . . . .	57
5.6	Freiburg . . . . .	61
5.6.1	Stationäre Messungen . . . . .	63
5.6.2	Fahrradmessungen . . . . .	66
5.7	Köln . . . . .	70
5.7.1	Stationäre Messungen . . . . .	72
5.7.2	Fahrradmessungen . . . . .	78
5.8	Mainz . . . . .	85
5.8.1	Stationäre Messungen . . . . .	87
5.8.2	Fahrradmessung . . . . .	91
5.9	München . . . . .	93
5.9.1	Stationäre Messungen . . . . .	95

5.9.2	Fahrradmessungen . . . . .	105
5.10	Stuttgart . . . . .	111
5.10.1	Stationäre Messungen . . . . .	113
5.10.2	Fahrradmessung . . . . .	119
5.11	Tübingen . . . . .	121
5.11.1	Stationäre Messungen . . . . .	123
5.11.2	Fahrradmessung . . . . .	126
5.12	Wiesbaden . . . . .	128
5.12.1	Stationäre Messungen . . . . .	128
5.13	Vergleichsmessungen . . . . .	131
5.13.1	Dortmund . . . . .	131
5.13.2	Frankfurt . . . . .	132
5.13.3	Köln . . . . .	133
5.13.4	München . . . . .	133
5.14	Ergebnistabellen . . . . .	135
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit</b>	<b>141</b>
6.1	Stationäre Messungen . . . . .	142
6.2	Fahrradmessungen . . . . .	147
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>150</b>

# 1 Einleitung

Weltweit lebt die Mehrzahl der Bevölkerung in Städten und urbanen Gebieten. Die hohe Dichte von menschlichen Aktivitäten hat dabei einen starken Einfluss auf die lokale Luftqualität. Eine wichtige Schadstoffquelle sind Verbrennungsprozesse und dabei - besonders in Industrienationen - der Kraftfahrzeugverkehr. Der entstehende Smog stellt ein weltweites Problem und Quelle von Gesundheitsgefährdung dar. Während gerade in Deutschland im Bereich des Feinstaubes und anderer Schadstoffe in den letzten Jahrzehnten massive Reduktionen erreicht werden konnten, ist die Belastung mit Stickoxiden stellenweise durchaus vergleichbar mit berüchtigten Großstädten in China oder Lateinamerika.

Der Begriff Stickoxid wird dabei für die Summe von Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) verwendet. NO wird als vergleichsweise harmlos für Menschen angesehen. NO<sub>2</sub> kann jedoch in zu hoher Konzentration Entzündungen der Atemwege hervorrufen. Bei Heranwachsenden mit Asthma kann das Lungenfunktionswachstum verringert und die Symptome vom Bronchitis verschlimmert werden [4]. Zusätzlich wurden von Gesundheitsexperten Herz-Kreislauf-Probleme und Allergien in Verbindung mit NO<sub>2</sub>-Belastung gebracht. Es verursacht darüber hinaus sauren Regen, führt zu Ozonbildung, was ebenfalls ein Schadstoff ist, und erzeugt indirekt Aerosole.

Zum Schutz von Mensch und Natur wurden gesetzliche Grenzwerte für NO<sub>2</sub> festgelegt, die EU-weit bei 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> im Jahresmittel und 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> im Stundenmittel liegen [2]. Der Stundengrenzwert darf im Jahr nicht mehr als 18 mal überschritten werden, wie von der EU-Richtlinie 2008/50/EG festgelegt. Der Jahresgrenzwert sollte gar nicht überschritten werden. NO hat geringe Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und Natur und ist daher keinen Grenzwerten unterworfen, allerdings kann es ein Reservoirgas für NO<sub>2</sub> sein. Daher wird NO üblicherweise mitgemessen. Die Grenzwerte stellen jedoch keine Unbedenklichkeitswerte dar; eine Gesundheitsschädigung findet auch unterhalb dieser Grenzwerte statt. Sie dienen jedoch dazu Mensch und Natur vor größeren Schäden zu bewahren.

Zur Überwachung der Luftqualität in Deutschland gibt es das Messnetz der Umweltsstationen der Bundesländer und des Umweltbundesamtes mit insgesamt mehreren hundert Stationen. Damit wurde festgestellt, dass der Jahresgrenzwert in den letzten Jahren kontinuierlich bei etwa 60% der Verkehrsmessstationen überschritten wird. Damit ist NO<sub>2</sub> der Hauptschadstoff in deutschen Städten. Die aktuellen Messwerte sind auf der Webseite des Umweltbundesamtes erhältlich [3]. In urbanen Gebieten ist der Verkehr Hauptverursacher der hohen Belastungen. Dabei sind allerdings die Bebauung, die geografische Lage und das Klima weitere wichtige Faktoren, die die Belastung beeinflussen. Wind beispielsweise transportiert die belastete Luft aus der Stadt und senkt so die Schadstoffkonzentrationen vor Ort. Insgesamt kann die Belastung damit örtlich auch

kleinskalig stark variieren, was eine aussagekräftige flächendeckende Luftüberwachung schwierig macht.

Mit dem mobilen NO<sub>2</sub>-ICAD-Messinstrument des Instituts für Umweltphysik der Universität Heidelberg ist es möglich, die Stickstoffdioxidkonzentration an beliebigen Orten, unabhängig von stationären Messstationen, zu bestimmen. Es basiert auf dem etablierten DOAS-Messprinzip, das eine hohe Zeitauflösung gewährleistet. Dies erlaubt es schon mit einem relativ kurzen Messzeitraum genaue Ergebnisse zu erhalten. Aufgrund der starken zeitlichen Variation der Emission, der Meteorologie und der chemischen Prozesse ist ein direkter Vergleich der Messwerte nicht sinnvoll. Daher werden, wie in Abschnitt 4.3 erläutert, Jahresmittelwerte extrapoliert. Die weiteren Vorteile des Messinstruments wie sein geringes Gewicht, Größe und Stromverbrauch sowie seine Robustheit gegenüber Temperaturschwankungen und Erschütterungen ermöglichen einen Transport im Fahrradanhänger. Dadurch kann erstmalig die direkte Belastung für Fahrradfahrer identifiziert werden.

Um einen umfassenden Überblick zu erhalten, wurde die Stickstoffdioxid-Konzentration in 12 Städten in unterschiedlichen Bereichen gemessen. Diese sollen die Stickstoffdioxidmessungen der Landesumweltmessstationen ergänzen. Ziel ist es, durch eine Vielzahl an Messorten in jeder Stadt ein besseres Bild über die stark belasteten Gebiete und die Schadstoffverteilung zu erlangen. Daher wurden sowohl stationäre Messungen als auch Messungen mit einem Fahrrad durchgeführt.

## 2 Physikalisch-Chemische Grundlagen von Stickstoffdioxid

Grundlage der Produktion aller Stickoxide ist der Zel'dovich-Zyklus, dessen chemische Reaktionen sowohl natürlich als auch anthropogen verursacht sein können.



Dabei reagieren molekularer Stickstoff und Sauerstoff, die den überwiegenden Teil der Luft ausmachen, nach Zugabe genügend hoher Aktivierungsenergie miteinander. Diese wird bei hohen Temperaturen aufgebracht, wie sie bei Verbrennungen und besonders in Verbrennungsmotoren vorkommen. Köhlen die entstandenen Stickoxide genügend schnell ab, kann die Rückreaktion nicht stattfinden, da auch diese eine hohe Aktivierungsenergie hat; die Stickoxide bleiben erhalten.

Weitere wichtige Reaktionen sind die Weiterentwicklung von NO mit molekularem Sauerstoff zu NO<sub>2</sub>, einmal unter Zugabe von Aktivierungsenergie,



sowie als Reaktion mit vorhandenem Ozon (O<sub>3</sub>) ohne nennenswerte Aktivierungsenergie,



Dementsprechend kann, sofern genügend O<sub>3</sub> vorhanden ist, sämtliches vorhandenes NO zu NO<sub>2</sub> weiterreagieren. Die NO<sub>2</sub>-Belastung hängt daher direkt von der vorhandenen O<sub>3</sub>-Menge ab. Bei hoher Stickoxid-Belastung ist davon auszugehen, dass praktisch alles vorhandene O<sub>3</sub> abgebaut wird, was auch durch Messungen bestätigt wurde. Folglich ist die Ozonbelastung in deutschen Städten aktuell sehr niedrig, auch an warmen Sonnentagen, an denen durch Photodissoziation und VOC-Emission<sup>1</sup> O<sub>3</sub> produziert wird. An

---

<sup>1</sup>VOCs: Volatile Organic Compounds - Flüchtige Organische Verbindungen

diesen Tagen ist dann die  $\text{NO}_2$ -Menge im Vergleich zu kühlen Wintertagen erhöht, an denen die  $\text{O}_3$ -Menge geringer ist und daher ein größerer Teil der Stickoxide als unschädliches  $\text{NO}$  verbleibt.

Zusätzlich unterliegt die  $\text{NO}_2$ -Konzentration Schwankungen, die sich aus dem Tagesverlauf ergeben und hauptsächlich vom ultravioletten Anteil des Sonnenlichtes getrieben werden:

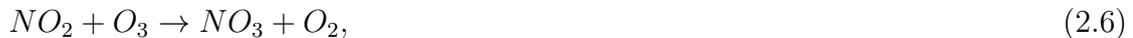


wobei  $h\nu$  für die Energie von Licht der Frequenz  $\nu$  steht, mit der Planck-Konstante  $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{Js}$ . Das freiwerdende Sauerstoffatom  $\text{O}$  kann dann mit molekularem Sauerstoff  $\text{O}_2$  zu Ozon  $\text{O}_3$  reagieren:

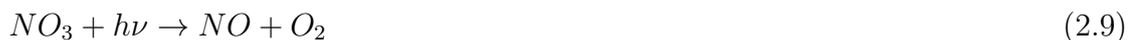


In Verbindung mit Reaktion 2.3 kann sich so zwischen  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$  ein Gleichgewicht einstellen, der sogenannte Leighton-Ratio. Unter typischen Bedingungen liegt dieser tags bei etwa 1, das heißt die Menge an  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$  sind gleich. Gegen Abend lässt die Menge an Sonnenlicht und damit die Menge an über Gleichungen 2.4 und 2.5 gebildetem  $\text{O}_3$  nach. Die  $\text{NO}_2$ -Konzentration nimmt wieder zu.

Nachts spielen weitere Reaktionen eine Rolle: aus dem  $\text{NO}_2$  wird  $\text{NO}_3$  und  $\text{N}_2\text{O}_5$  gebildet:



Beide Gase dienen als Reservoirgase, da sie tagsüber unter Einfluss von Sonnenlicht wieder in  $\text{NO}_2$  rückreagieren:



Die  $\text{NO}_2$ -Konzentration an einem gegebenen Ort und Zeitpunkt ist also ohne Betrachtung weiterer Gase, der chemischen Prozesse und des Wetters schwer einzuordnen und muss im Kontext betrachtet werden.

Ein wichtiger Abbauprozess ist die Bildung von Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ), entweder unter Hinzunahme von Hydroxyl-Radikalen ( $\text{OH}$ ),



oder in der Reaktion mit Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ):



Allerdings ist im städtischen Gebiet eine  $\text{NO}_2$ -Verringerung meist nicht auf Abbau sondern auf Abtransport oder Vermischung mit Stickoxid-arter Luft aus dem Umland durch Wind oder aber zwischenzeitliche Reaktion zu  $\text{NO}$  zurückzuführen.

### 3 Messprinzip

Das in dieser Studie verwendete NO<sub>2</sub>-Messgerät arbeitet mit dem Messprinzip ICAD (Iterative Cavity DOAS, Patent EP 15179088.8), welches eine Weiterentwicklung von Cavity-Enhanced DOAS (CE-DOAS) darstellt. DOAS steht dabei für Differenzielle Optische Absorptions-Spektroskopie. Tabelle 3.1 zeigt Details zum Messgerät.

Die Messung findet optisch statt. Gase wie NO<sub>2</sub> haben ein sehr charakteristisches Muster bei der Absorption von Licht verschiedener 'Farben' bzw. Wellenlängen. Grob gesagt kann ein Gas zum Beispiel mehr blaues als rotes Licht absorbieren (das Gas sähe dann rot aus, statt weiß wie vor der Absorption). Da die Absorptionsmuster vieler Gase einzigartig sind, kann man sie daran identifizieren und auch die Konzentration bestimmen. NO<sub>2</sub> hat ein besonders gut zu messendes Absorptionsmuster, sodass es sich mit diesem Prinzip gut messen lässt und vor allem auch andere Gase die Messung nicht beeinflussen.

Ein Schema des Messaufbaus ist in Abb. 3.1 gezeigt. In der Praxis wird mit einer kleinen Pumpe die zu vermessende Luft in die Messzelle gesaugt. Dort wird sie mit dem Licht einer breitbandigen Hochleistungs-LED durchleuchtet und die übrigbleibende Strahlung auf der anderen Seite mit einem Spektrometer gemessen. Die Messgenauigkeit ist abhängig vom Absorptionslichtweg durch die beprobte Luft. Bei gewöhnlichen Konzentrationen im Bereich von wenigen Mikrogramm pro Kubikmeter Luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sind Absorptionslichtwege von mehreren 100 m nötig. Um kompakt einen möglichst langen Lichtweg zu erhalten, werden zwei hochreflektive Spiegel verwendet, die den Lichtweg auf etwa 1,6 km verlängern, was zu einer hohen Messgenauigkeit führt. Nachteilige Effekte durch Vibration oder Temperaturänderungen im Aufbau werden durch die patentierte ICAD-Methode ausgeglichen. Dadurch werden ein geringer Stromverbrauch und eine hohe Mobilität erreicht, die die in diesem Bericht beschriebene Messreihe erst ermöglicht. Bild 3.2 zeigt das Messgerät in Verwendung während der Messkampagne. Mit dem Laptop ist es möglich, das Gerät über W-LAN zu steuern und sofort eine erste Auswertung zu berechnen. Damit sind direkte Messwerte mit hoher Zeitauflösung verfügbar.

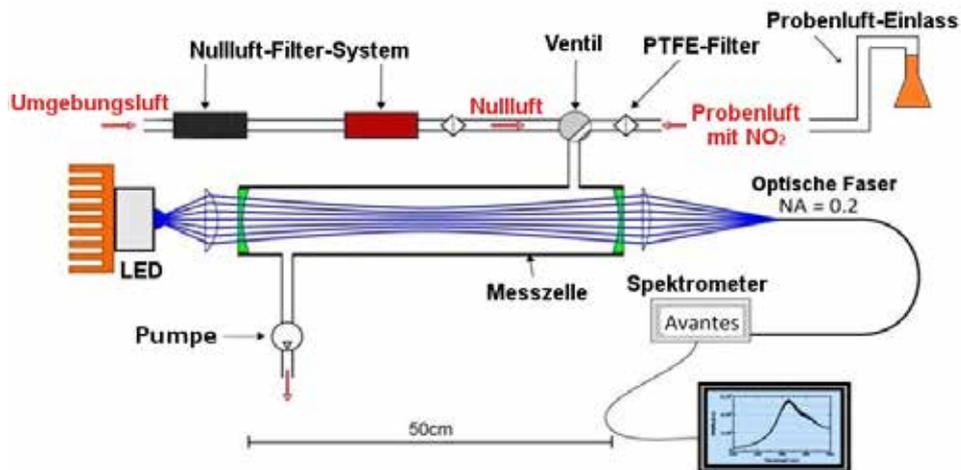


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung des verwendeten ICAD-Systems. Die zu beprobende Luft wird eingesaugt und durch Filter in den Messbereich zwischen zwei hochreflektierenden Spiegeln geleitet. Dort wird sie vom Licht einer LED durchleuchtet. Dabei wird das Licht von der Luft entsprechend der enthaltenen Gase, in diesem Fall  $\text{NO}_2$ , absorbiert. Über eine optische Faser wird das Licht nach mehrfachem Durchlaufen der beprobten Luft in einen Spektrografen gemessen. Das entstandene Spektrum wird mathematisch ausgewertet und man erhält den genauen Messwert der Konzentration.

Instrument	$\text{NO}_2$ -ICAD-Messgerät (spezieller Eigenbau des Instituts für Umweltphysik, Universität Heidelberg)
Messplattform	mobil, hier mit Auto und Fahrrad oder per Hand getragen
Zeitauflösung	bis zu 2 s
Messgenauigkeit	$0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ über 2 s (höhere Messgenauigkeit bei geringerer Zeitauflösung / längerer Mittelung möglich)
Nachweisgrenze	$0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Messhöhe	Ansaugschlauch kann beliebig platziert werden, hier mit einem Stativ oder am Fahrradlenker befestigt, zwischen 1,45 und 3 m Höhe
Interferenzen	keine bekannt

Tabelle 3.1: Details zum Messgerät.



Abbildung 3.2: Foto des Messgerätes in Verwendung. Zu sehen sind das Gerät selbst in grau mit aufliegendem schwarzen GPS-Messgerät (grüner Pfeil), das Stativ mit dem weißen PTFE-Schlauch zum Einsaugen der Messluft (wobei das Ende nach unten gebogen ist, um eindringende Nässe bei Regen zu verhindern / roter Pfeil), sowie der Laptop, der über W-LAN erlaubt, das Gerät zu steuern und direkt eine erste Auswertung zu berechnen.

## 4 Messstrategie

Um einen umfassenden Überblick über die Lage der Stickstoffdioxid-Belastung in deutschen Städten zu erhalten, wurde in 12 Städten in unterschiedlichen Bereichen gemessen. Diese sollen die Stickstoffdioxidmessungen der Landesumweltmessstationen ergänzen. Ziel ist es, durch eine Vielzahl an Messorten in jeder Stadt ein besseres Bild über die stark belasteten Gebiete und die Schadstoffverteilung zu erlangen. Es wurden sowohl stationäre Messungen als auch Messungen mit einem Fahrrad durchgeführt. Letztere dienen auch dazu, die wahre Belastung von Fahrradfahrern in verschiedenen Städten zu untersuchen. Zusätzlich wurden zur Qualitätssicherung regelmäßig Vergleichsmessungen neben Messstationen durchgeführt.

Stadt	Messtage	Messpunkte	Fahrradmessungen
Augsburg	25. + 26.2.2016	10	1
Dortmund	17. + 18. + 19.2.2016	12	2
Düsseldorf	17.2.2016	9	1
Esslingen	14.3.2016	3	0
Frankfurt	7. + 8.3.2016	14	3
Freiburg	16.3.2016	8	1
Köln	15. + 16.2.2016	13	5
Mainz	9.3.2016	9	1
München	24. + 25. + 29.2.2016	22	5
Stuttgart	14. + 17.3.2016	14	1
Tübingen	14. + 15.3.2016	8	1
Wiesbaden	9.3.2016	3	0
12 Städte	16 Messtage	126 Messpunkte	21 Fahrradmessungen

Tabelle 4.1: Übersicht über die vorgenommenen Messungen

Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die Städte, zugehörige Messtage sowie Anzahl der Messpunkte und Fahrradmessungen. Die erhobenen Daten stellen zuerst nur eine Momentaufnahme der Stickstoffdioxidbelastung dar, die stark von Faktoren wie der aktuellen Verkehrslage, Wind und Sonneneinstrahlung abhängen. Um daraus die Belastung des ganzen Jahres zu bestimmen, können Umrechnungen herangezogen werden, welche in Kapitel 4.3 beschrieben sind. Zum Beispiel werden damit extrapolierte Jahresmittelwerte bestimmt, die mit dem Jahresgrenzwert in Beziehung gesetzt werden können. Für die Messkampagne wurde ein erdgasbetriebenes Fahrzeug zum Transport verwendet.

## 4.1 Stationäre Messungen

Bei den Messungen wurde die zu untersuchende Luft durch einen PTFE-Schlauch zum Messgerät geleitet. Durch den Schlauch kann der Messort lokal einfach verändert werden. Stationäre Messungen wurden entweder mit einem Stativ durchgeführt, welches auf dem Boden oder dem Autodach aufgestellt wurde, oder mit dem Schlauch, der am Fahrradlenker befestigt war. Wenn das Stativ auf dem Boden steht, kann eine Messhöhe von etwa 1,7 m erreicht werden. Auf dem Autodach wird in der Regel eine Messhöhe von etwa 3 m erreicht. Am Fahrradlenker befestigt erreicht die Einsaughöhe etwa 1,45 m. Bei Umweltmessstationen wird die Luft in 1,5 bis 3,5 m Höhe eingesaugt. Ob jeweils die Messung auf dem Autodach oder die Messung mit dem Stativ auf dem Boden gewählt wurde, hing maßgeblich von der Nähe zum Verkehr und dem vorhandenen Platz ab: Bei großer Nähe zum Verkehr, beispielsweise wenn das Auto direkt neben einer Fahrspur geparkt stand, wurde das Stativ auf dem Autodach abgestellt. War mehr Platz und Abstand, beispielsweise durch einem breiteren Fußweg zwischen Messpunkt und Straße, wurde das Stativ auf dem Boden abgestellt. Eine Messung aus dem Auto mit Stativ ist in Bild 4.2 gezeigt. Bild 4.3 zeigt die Messung mit Stativ und dem Messgerät im Anhänger des Fahrrads. Bei der Auswahl der Messorte wurde darauf geachtet, Orte zu wählen, an denen sich Menschen oft aufhalten und dementsprechend eine größere Personenzahl real den gemessenen Konzentrationen ausgesetzt ist. Meist wurden als Messorte Straßen mit viel Verkehr gewählt, aber auch die Stickstoffdioxidbelastung in Nebenstraßen und Parks sind untersucht worden.

## 4.2 Messung der Schadstoffbelastung für Fahrradfahrer

Für die Fahrradmessungen wurde ein Fahrrad mit elektrischer Unterstützung sowie einem typischen Kinder-Fahrradanhänger verwendet. Das ICAD-Gerät passt mitsamt Stromversorgung problemlos in den Anhänger. Die Probenluft wurde mit einem am Lenker in Nasenhöhe befestigten Schlauch eingesaugt und entlang des Fahrradrahmens zum Anhänger und damit dem Messgerät geführt. Bild 4.5 zeigt das Messgerät im Anhänger, Bild 4.4 den Aufbau am Fahrrad. Bilder 4.6 und 4.7 zeigen den Aufbau in Verwendung.

Es wurde jeweils typische Fahrradstrecken in den verschiedenen Städten gewählt. War ein Radweg vorhanden, wurde dieser befahren. Wenn möglich, wurde die Messung zur Berufsverkehrszeit durchgeführt, wenn auch eine Vielzahl an Fahrradfahrern diese Fahrradstrecken benutzt.



Abbildung 4.1: Stationäre Messung mit dem Stativ. Das Messgerät befindet sich im Kofferraum des erdgasbetriebenen Fahrzeugs. Die Luft wird mit der Messleitung am oberen Stativende (grüner Pfeil) eingesaugt.



Abbildung 4.2: Stationäre Messung mit dem Stativ auf dem Autodach. Die Luft wird mit dem Schlauch am Stativ (roter Pfeil) auf ca. 3 m Höhe eingesaugt.



Abbildung 4.3: Stationäre Messung mit dem Stativ. Das Messgerät befindet sich im Anhänger des Fahrrads. Die Luft wird hier ebenfalls mit dem Schlauch am Stativ (roter Pfeil) eingesaugt.



Abbildung 4.4: Zur Messung verwendetes Fahrrad mit elektrischer Unterstützung. Der rote Pfeil zeigt an, wo die zu vermessende Luft am Lenker angesaugt wird (nahe der Nase des Fahrradfahrers). Sie wird dann über den weißen Schlauch entlang des Fahrradrahmens zum Messgerät im Anhänger geführt (grüner Pfeil). Der rote Kreis markiert die Kamera, welche beim Fahren regelmäßig Fotos aufzeichnete.



Abbildung 4.5: Messgerät im Anhänger. Mit Stromversorgung (grüner Pfeil) und GPS-Messgerät (roter Kreis).



Abbildung 4.6: Fahrradmessung in Köln.



Abbildung 4.7: Fahrradmessung in Köln.

### 4.3 Extrapolation zu Jahresmittelwerten

Die über den Messzeitraum an einem einzelnen Ort gemessenen Werte wurden gemittelt. Der so erhaltene Wert entspricht der tatsächlichen Belastung am Messort im untersuchten Zeitraum, welche aber von verschiedenen Faktoren wie Wetter, Tageszeit oder Verkehrsaufkommen abhängig ist. Ein hoher oder niedriger gemessener Wert alleine sagt daher noch nicht viel über die allgemeine Belastung am Messort aus.

Um die gemessenen Werte  $M_a$  miteinander vergleichen zu können, wurden sie auf einen Jahresmittelwert  $M_j$  extrapoliert, der auch mit dem offiziellen Jahresgrenzwert verglichen werden kann. Dabei wurden die aktuellen Werte einer passenden Umweltmessstation  $U_a$  in der Umgebung und der dazugehörige Jahresmittelwert  $U_j$  über

$$M_j = M_a \cdot \frac{U_j}{U_a} \quad (4.1)$$

verwendet, um den extrapolierten Jahresmittelwert zu erhalten. Hierzu wird eine Umweltmessstation als passend erachtet, wenn Faktoren wie Verkehrsaufkommen und Bebauung ähnlich zum Messort sind. In einigen Fällen wurden auch die Werte zweier Umweltmessstationen gemittelt, um den Messort besser abzubilden. Es wurden die Umweltstation-Jahresmittel des vergangenen Jahres (2015) als  $U_j$  verwendet. Die aktuellen Werte der Umweltmessstationen (zum gleichen Zeitpunkt wie die Messwerte unserer Untersuchung) wurden aus den Stundenmitteln interpoliert, die auf der Webseite des Bundesumweltamtes<sup>1</sup> erhältlich sind. Sie sind allerdings als vorläufige, ungeprüfte Werte gekennzeichnet. Diese Umrechnung korrigiert im Wesentlichen die Effekte, welche zeitlich die Stickstoffdioxidbelastung stark variieren lassen. So unterliegt die Umweltmessstation den gleichen Schwankungen von Verkehrsaufkommen durch Berufsverkehr, Änderung der Luftvermischung durch Änderungen in Windgeschwindigkeit und Richtung sowie durch Sonneneinstrahlung. Das heißt, die Schadstoffkonzentration variiert an nahe gelegenen Orten mit ähnlichen Charakteristika aufgrund der gleichen Ursachen, wodurch die Werte der Umweltmessstation zur Umrechnung zu Jahresmittelwerten herangezogen werden können.

Es muss betont werden, dass die so erhaltenen Jahresmittelwerte Abschätzungen sind, die sich aufgrund bisheriger Erfahrungen und Vergleichsmessungen um +/- 20% zum wahren Wert bewegen. Bessere Werte würden Langzeitmessungen oder zumindest wiederholte Messungen erfordern.

---

<sup>1</sup><https://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten>

## 5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden zuerst die Ergebnisse für jede einzelne der 12 Städte vorgestellt. Eine erste Übersicht gibt Tabelle 4.1 wieder. Zuerst wird jeweils eine Einordnung der Messtage bezüglich der  $\text{NO}_2$ -Belastung am Messtag im Vergleich zum Jahreswert gegeben. Damit kann eingeschätzt werden, ob eine gemessene hohe Belastung mit  $\text{NO}_2$  typisch für einen Standort ist oder am Messtag besonders hohe Belastungen vorlagen. Dies kann beispielsweise aufgrund von ungünstigem Wetter der Fall sein. Dann gibt es eine umfassende Darstellung der Ergebnisse der stationären Messungen. Es wird jeder Messort einzeln aufgelistet und mit einem Foto und den Messwerten dargestellt. Messorte wurden zusätzlich in verschiedene Kategorien eingeteilt:

- **Kategorie A:** Standort mit hohem Verkehrsaufkommen, zum Beispiel an einer Hauptverkehrskreuzung. Hier gibt es Durchgangsverkehr und oft auch Lastkraftwagen und Busse. Ein Beispiel ist in Abbildung 5.1 gezeigt.
- **Kategorie B:** Standort mit Hintergrund-Konzentration, beispielsweise Parks oder Fußgängerzonen. Hier gibt es keinen Verkehr. Ein Beispiel ist in Abbildung 5.2 gezeigt.
- **Kategorie C:** Standort teilweise mit Eigenschaften von Kategorie A und/oder B, beispielsweise etwas befahrene Nebenstraßen. Meist handelt es sich um Wohngebiete. Hier gibt es hauptsächlich Anwohnerverkehr. Ein Beispiel ist in Abbildung 5.3 zu finden.

Zusätzlich werden für jede Stadt, in der eine solche Messung durchgeführt wurde, die Ergebnisse für die Belastung für Fahrradfahrer vorgestellt. Anschließend findet sich eine Auflistung der vier Vergleichsmessungen, wobei in verschiedenen Städten direkt an einer Umweltmessstation gemessen wurde, was der Qualitätssicherung dient. Als letztes wird für jede Stadt eine große Tabelle mit allen vorgenommenen Messungen und ihren Ergebnissen angegeben. In dieser finden sich gegenüber den vorherigen stadtspezifischen Unterkapiteln auch noch weitere Informationen, beispielsweise welche Messstation zur Extrapolation auf Jahresmittelwerte herangezogen wurde und wie hoch die Standardabweichung des Mittelwertes der  $\text{NO}_2$ -Messung ist..

Im Gegensatz zu Feinstaub hat Niederschlag (Regen, Schnee etc.) erfahrungsgemäß geringen Einfluss auf die  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen. Der Vollständigkeit halber wird die Wittersituation dennoch an jedem Messort beschrieben.



Abbildung 5.1: Messort der Kategorie A.



Abbildung 5.2: Messort der Kategorie B.



Abbildung 5.3: Messort der Kategorie C.

## 5.1 Augsburg

Augsburg ist eine bayrische Universitätsstadt mit etwa 280.000 Einwohnern. Die Stadt ist mit vier Umweltmessstationen abgedeckt. Sie sind in Tabelle 5.1 mit ihren Jahresmittelwerten dargestellt. Es sind auch die Tagesmittel der zwei Messtage, 25. und 26.02.2016, angegeben. Wie ersichtlich wird, sind die Werte an den Messtagen gegenüber dem Jahresmittel leicht erhöht. Der Hauptmesstag, der 26.02., war nach Nebelauflösung ein sonniger Wintertag und wenig windig. Insgesamt wurde an 10 Orten stationär gemessen und eine Fahrradmessung vorgenommen. Ein Überblick über die Ergebnisse der stationären Messungen ist in Abbildung 5.4 gegeben.

In Augsburg waren hohe Stickstoffdioxidbelastungen vor allen entlang der Hauptverkehrsstraßen anzutreffen. Hier liegen meist die extrapolierten Jahresmittelwerte auch deutlich über dem Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der höchste Wert lag mit  $55,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am Kennedyplatz. Abseits der Hauptstraßen sinken die Belastungen deutlich auf Werte um die  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Damit wurden keine Auffälligkeiten im Vergleich zum Messnetz der Umweltmessstationen beobachtet; es wurden ähnlich hohe Werte gemessen.

Stationscode	DEBY007	DEBY110	DEBY006	DEBY099
Stationsname	Bourges-Platz	Karlstraße	Königsplatz	LFU
Stationsumgebung	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	vorstädtisches Gebiet
Art der Station	Hintergrund	Verkehr	Verkehr	Hintergrund
Jahresmittelwert 2015 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>28</b>	<b>49</b>	<b>30</b>	<b>19</b>
Tagesmittel 25.2. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	32,7	61,4	37,7	24,6
Tagesmittel 26.2. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	34,3	54,3	33,0	22,5

Tabelle 5.1: Messnetz für Augsburg.

### 5.1.1 Stationäre Messungen

#### 5.1.1.1 Bürgermeister-Ackermann-Straße



Datum	25.02.2016
Messzeit (MEZ)	17:39 - 18:11
Latitude	48,3705066667
Longitude	10,877735
Kategorie	C
Messhöhe	~ 2,4 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>65,07</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	27,55
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	109,49
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>47,71</b>

Parkplatz neben einer vielbefahrenen Straße im äußeren Bereich der Stadt, relativ offen. Zum Messzeitpunkt war der Hauptberufsverkehr schon vorbei. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

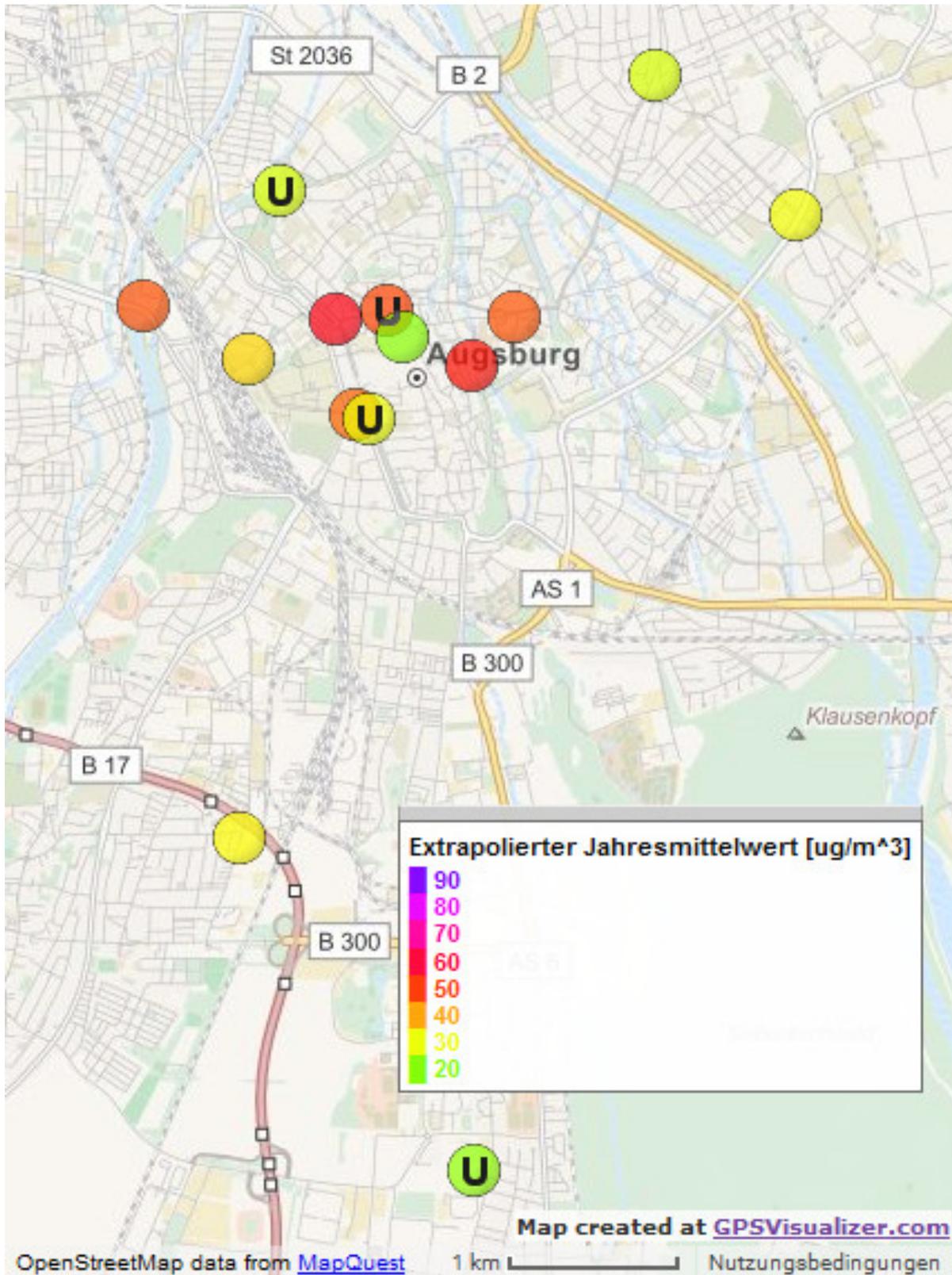


Abbildung 5.4: Karte der Messorte in Augsburg mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die mit U bezeichneten Marker zeigen die Umweltmessstationen mit den jeweiligen Jahresmittelwerten von 2015.

### 5.1.1.2 Königsplatz



Datum	26.02.2016
Messzeit (MEZ)	09:04 - 09:35
Latitude	48,3649424497
Longitude	10,8938932552
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>57,55</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	35,25
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	314,12
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>46,05</b>

Eine der größten Kreuzungen und Hauptverkehrsknotenpunkte der Stadt mit entsprechend viel Verkehr und Passanten. Haupt-Busterminal der Stadt. Gemessen wurde zur abklingenden morgendlichen Berufsverkehrszeit. Messung am Fahrrad.

### 5.1.1.3 Kennedyplatz



Datum	26.02.2016
Messzeit (MEZ)	09:44 - 10:16
Latitude	48,3697965193
Longitude	10,8924802869
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>58,76</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	21,46
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	168,97
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>55,90</b>

Eine große mehrspurige vielbefahrene Kreuzung im Stadtinneren, relativ offen. Zum Messzeitpunkt war die morgendliche Berufsverkehrszeit fast abgeklungen. Messung am Fahrrad.

#### 5.1.1.4 Oberer Graben



Datum	26.02.2016
Messzeit (MEZ)	10:41 - 11:12
Latitude	48,3674670286
Longitude	10,9028670061
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>50,55</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	15,00
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	116,65
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>53,65</b>

Teil des Straßenrings um die Altstadt mit entsprechend viel Verkehr und mehrstöckiger Bebauung. Im Messzeitraum lag aufgrund der Tageszeit ein reduziertes Verkehrsaufkommen vor. Messung am Fahrrad.

#### 5.1.1.5 Rathausplatz



Datum	26.02.2016
Messzeit (MEZ)	11:27 - 12:02
Latitude	48,3689242834
Longitude	10,8976075985
Kategorie	B
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>13,45</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	6,91
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	32,86
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>20,88</b>

Platz in der Mitte der Altstadt und Fußgängerzone, auf einem Hügel gelegen. Offen. Messung am Fahrrad.

### 5.1.1.6 Jacoberkirche



Datum	26.02.2016
Messzeit (MEZ)	12:59 - 14:27
Latitude	48,3699823037
Longitude	10,9061706389
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>35,84</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	12,35
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	119,48
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>47,48</b>

Kreuzung mit erhöhtem Verkehrsaufkommen nahe der Stadtmitte. Zum Messzeitpunkt war die Verkehrslage aufgrund der Tageszeit allerdings etwas ruhiger. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.1.1.7 Blücherstrasse/Amagasaki-Allee



Datum	26.02.2016
Messzeit (MEZ)	14:32 - 15:02
Latitude	48,3751483333
Longitude	10,9277483333
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>32,37</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	12,20
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	90,12
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>30,66</b>

Große Kreuzung zweier zweispuriger Straßen mit Abbiegespuren, viel Verkehr, relativ offen. Gemessen wurde zur ruhigeren Mittagszeit. Messung am Stativ.

### 5.1.1.8 Friesenstraße/Neuburger Straße



Datum	26.02.2016
Messzeit (MEZ)	15:09 - 15:45
Latitude	48,38236
Longitude	10,916925
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>23,93</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	10,85
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	94,76
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>28,00</b>

Hauptstraße etwas außerhalb, niedrige Bebauung zu den Seiten, zum Messzeitpunkt wenig Verkehr aufgrund der Tageszeit. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.1.1.9 Bergiusstraße



Datum	26.02.2016
Messzeit (MEZ)	16:19 - 16:50
Latitude	48,3431216667
Longitude	10,8849866667
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>30,22</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	13,16
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	112,73
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>31,77</b>

Zwischen Wohn- und Gewerbegebiet etwas außerhalb. Durch die Läden in der Umgebung und die Tageszeit viel Durchgangsverkehr. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.1.1.10 Hauptbahnhof



Datum	26.02.2016
Messzeit (MEZ)	17:03 - 17:38
Latitude	48,36775
Longitude	10,88568
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>45,84</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	21,22
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	109,14
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>35,38</b>

Messung nahe dem Hauptbahnhof, vielbefahrene Kreuzung mit höheren umgebenden Gebäuden. Die Messung fand statt, als der abendliche Berufsverkehr am abklingen war. Messung am Stativ.

### 5.1.2 Fahrradmessung

In Augsburg wurde am 26.02.2016 eine Messfahrt mit dem Fahrrad von 07:53 bis 09:00 Uhr zu einer typischen Berufspendlerzeit vorgenommen. Die Messung führte entlang von Hauptverkehrsstraßen in den Süden und zurück. Der Tag begann mit Frühnebel und entwickelte sich zum Ende der Fahrradmessungen zu einem sonnigen Wintertag. Die Fotos in Abbildung 5.5 wurden während der Messfahrt aufgenommen.

Die Karte in Bild 5.6 zeigt den Messverlauf der Belastung für Fahrradfahrer in Augsburg. Die Werte im Norden der Stadt zu Beginn der Messung lagen deutlich höher als später. Während der gesamten Fahrt treten immer wieder kurzzeitig Erhöhungen über  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf, die von fahrenden Kraftfahrzeugen und dem Abstand der Messung zum Verkehr abhängen. Besonders beim Warten an Ampeln zum Kreuzen des Verkehrs kann diese Situationen auftreten, wie beispielsweise ganz im Südwesten der Messung beim ersten Überqueren der B300 mit Werten von bis  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zu sehen ist. Der Mittelwert der Fahrradmessung liegt bei  $55,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Da, wie oben erwähnt, die generelle Belastung in der Stadt am Messtag etwas erhöht war, ist davon auszugehen, dass auch dieser Wert leicht höher als typisch liegt. Der Messwert ist jedoch vergleichbar hoch wie der zeitgleiche Wert von  $60,1$  bzw.  $42,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an den Verkehrs-Umweltmessstationen in Augsburg, obwohl der Radweg teilweise abseits von Hauptverkehrsstraßen liegt. Die hohe mittlere Konzentration und maximalen Werte von bis zu  $333 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zeigen jedoch, dass Radfahrer im Mittel und zeitweise sehr hohen Konzentrationen ausgesetzt sein können.



Abbildung 5.5: Fahrradmessung Augsburg

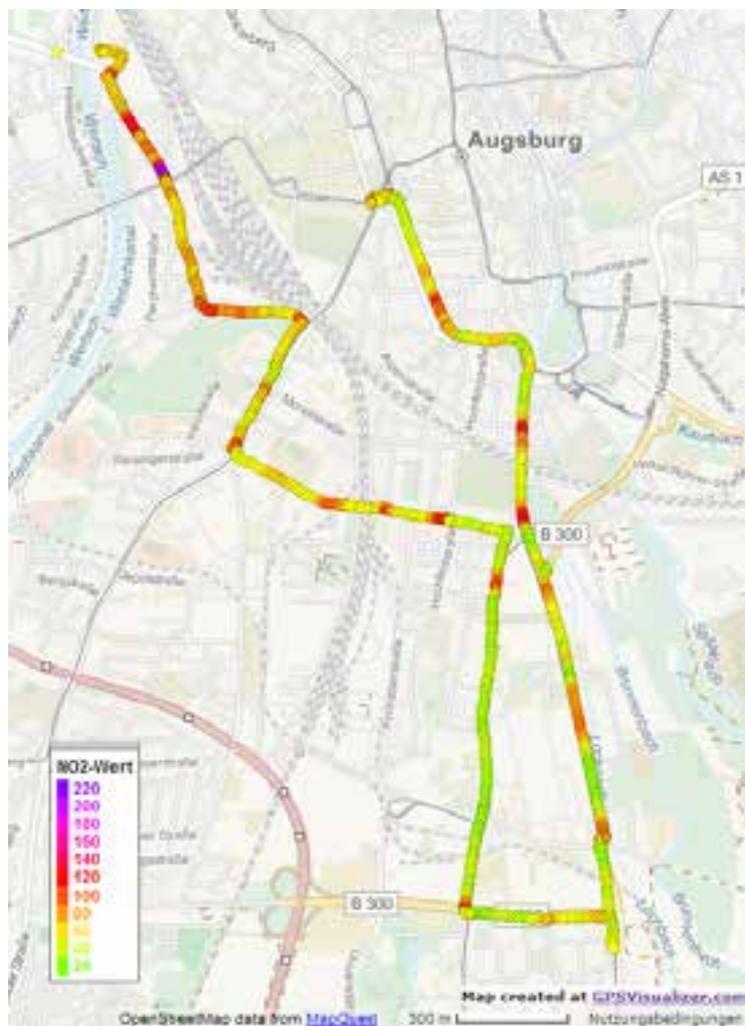


Abbildung 5.6: Fahrradmessung Augsburg. 26.2.2016, 07:53 - 09:00. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der NO<sub>2</sub>-Messdaten:  $55,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5.2 Dortmund

In Dortmund wurde hauptsächlich an zwei Messtagen gemessen, dem 18. und 19.02.2016. Ein Messpunkt wurde noch am Vortag, dem 17.02.2016, abends realisiert. In Dortmund gibt es drei Umweltmessstationen, die in Tabelle 5.2 genauer dargestellt sind. Wie aus den Tagesmittelwerten der Messtage hervorgeht, lieferten unsere Messungen erhöhte  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen gegenüber dem Jahresmittelwert.

In Dortmund wurden 12 Punktmessungen und 2 Fahrradmessungen vorgenommen. Die Karte in Abbildung 5.7 gibt einen Überblick über die stationären Messungen.

In Dortmund wurden sehr hohe  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen bestimmt. Die extrapolierten Jahresmittelwerte liegen fast immer deutlich über dem Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der höchste Wert lag mit  $72,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Ringstraße. Aber auch an anderen Straßen abseits der Hauptstraßen sind hohe Werte gemessen worden. Nur an wenigen Orten in ruhig gelegenen Straßen und am Stadtrand sind extrapolierte Jahresmittelwerte von deutlich unter  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bestimmt worden.

Dies zeigt auch, dass in Dortmund die Umweltmessstationen nicht die höchste Belastung abdecken. So liegt unser höchster extrapoliertes Jahresmittelwert mit  $72,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  um 49% oberhalb des Wertes der Umweltmessstation. Auch ist die städtische Hintergrundkonzentration nicht ausreichend bestimmt, da keine Umweltmessstation diese hohe Belastung hier erfasst. Dadurch ist die gesundheitliche Gefährdung für einen großen Teil der Bevölkerung unterschätzt. Insgesamt liegt in der Stadt eine sehr hohe Stickstoffdioxidbelastung vor, sowohl in der Nähe der Hauptverkehrsstraßen als auch entlang vieler kleinerer Straßen.

Stationscode	<b>DENW136</b>	<b>DENW101</b>	<b>DENW008</b>
Stationsname	Brackeler Straße	Steinstraße	Eving
Stationsumgebung	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet
Art der Station	Verkehr	Verkehr	Hintergrund
Jahresmittelwert 2015 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>49</b>	<b>39</b>	<b>27</b>
Tagesmittel 17.2. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	67,1	48,2	39,5
Tagesmittel 18.2. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	52,4	48,7	42,1
Tagesmittel 19.2. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	61,0	57,7	51,4

Tabelle 5.2: Messnetz für Dortmund.

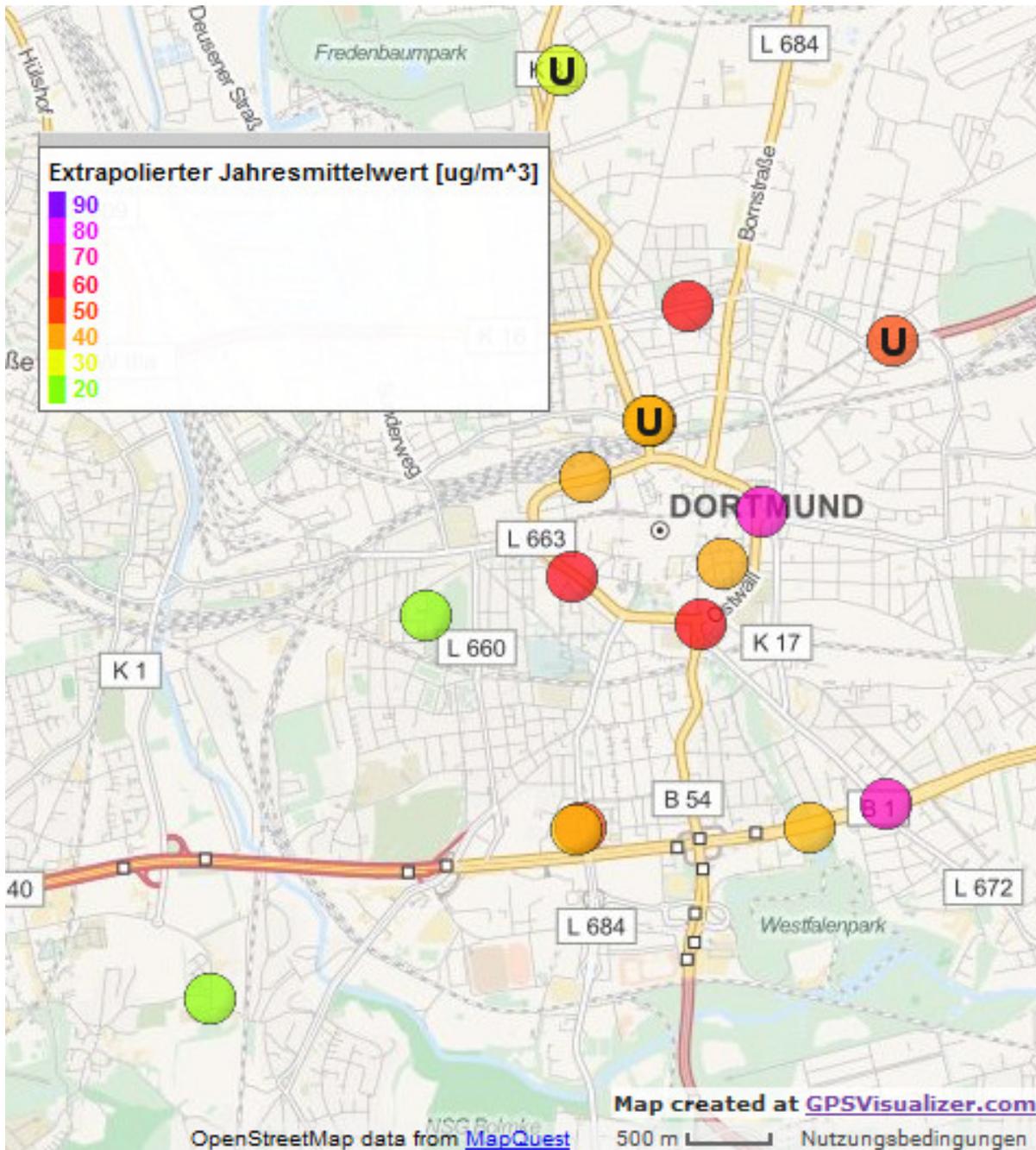


Abbildung 5.7: Karte der Messorte in Dortmund mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die mit U bezeichneten Marker zeigen die Umweltmessstationen mit den jeweiligen Jahresmittelwerten von 2015.

## 5.2.1 Stationäre Messungen

### 5.2.1.1 Hohe Straße



Datum	17.02.2016
Messzeit (MEZ)	17:45 - 18:17
Latitude	51,499525
Longitude	7,459005
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>72,16</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	58,69
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	136,58
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>48,68</b>

Messung neben einer vielbefahrenen mehrspurigen Straße auf dem Weg in einen Tunnel zu Zeiten des abklingenden abendlichen Berufsverkehrs. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.2.1.2 Ostwallstraße



Datum	18.02.2016
Messzeit (MEZ)	08:33 - 09:06
Latitude	51,50965
Longitude	7,46848333333
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>66,25</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	38,89
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	130,14
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>56,01</b>

Kreuzung am inneren Straßenring, mit sehr hohem Verkehr, gegen Ende der morgendlichen Berufsverkehrszeit. Messung mit Stativ.

### 5.2.1.3 Märkische Straße



Datum	18.02.2016
Messzeit (MEZ)	09:31 - 10:05
Latitude	51,500775
Longitude	7,48300333333
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>82,99</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	32,59
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	165,82
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>71,72</b>

Sehr große mehrspurige Straße, Standort einer U-Bahn-Station. Messung zur langsam abklingenden morgendlichen Hauptverkehrszeit. Messung am Fahrrad.

### 5.2.1.4 Brüderweg/Schwanenwall



Datum	18.02.2016
Messzeit (MEZ)	10:35 - 11:18
Latitude	51,5151733275
Longitude	7,47332868996
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>70,92</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	32,60
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	333,33
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>72,86</b>

Eine weitere Kreuzung an der Ringstraße. Viel Verkehr, mehrspurig, langsam abklingende morgendliche Hauptverkehrszeit. Messung mit Stativ.

### 5.2.1.5 Hauptbahnhof



Datum	18.02.2016
Messzeit (MEZ)	11:29 - 12:11
Latitude	51,51685
Longitude	7,45940833333
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>41,75</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	21,14
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	93,80
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>40,74</b>

Direkt vor dem Hauptbahnhof neben der Straße, viel Fußgängerverkehr, der ebendiese Straße kreuzt. Zwei Fahrspuren in eine Richtung. Einiges an Verkehr, jedoch bereits abgeklungener Hauptberufsverkehr. Messung mit Stativ.

### 5.2.1.6 Städtische Kliniken



Datum	18.02.2016
Messzeit (MEZ)	12:17 - 12:44
Latitude	51,5119766667
Longitude	7,45827666667
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>39,88</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	17,10
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	222,97
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>56,81</b>

Am zentralen mehrspurigen Straßenring um die Innenstadt gelegen, Standort der Städtischen Kliniken mit Patientendurchgang. Zum Messzeitpunkt wenig Verkehr aufgrund der Tageszeit. Messung mit Stativ.

### 5.2.1.7 Olpestraße



Datum	18.02.2016
Messzeit (MEZ)	12:56 - 13:41
Latitude	51,512585
Longitude	7,47022833333
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>37,46</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	21,65
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	210,75
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>40,96</b>

Nebenstraße im Wohngebiet umgeben von mehrstöckigen Wohnhäusern. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Es gab kaum Verkehr.

### 5.2.1.8 Schleswiger Straße/Nordmarkt/Mallinckrothstraße



Datum	18.02.2016
Messzeit (MEZ)	14:10 - 14:45
Latitude	51,5253449927
Longitude	7,46738509451
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>44,29</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	17,06
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	177,86
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>54,92</b>

Eng bebaute Straße mit Wohnhäusern und zweispuriger Verkehrsführung mit viel Verkehr. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Trotz der mittäglichen Tageszeit war hier das Verkehrsaufkommen sehr hoch.

### 5.2.1.9 Westpark



Datum	18.02.2016
Messzeit (MEZ)	15:06 - 15:37
Latitude	51,5100366667
Longitude	7,446885
Kategorie	B
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>20,48</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	14,67
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	76,20
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>21,68</b>

Nebenstraße im Wohngebiet mit sehr wenig Verkehr, neben einem Park und Spielplatz. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Es war aufgrund der Tageszeit und Lage fast kein Verkehr anzutreffen.

### 5.2.1.10 An der Palmweide / Emil-Figg-Straße



Datum	18.02.2016
Messzeit (MEZ)	15:48 - 16:24
Latitude	51,4910579064
Longitude	7,42983189175
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>19,49</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	14,95
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	50,51
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>16,74</b>

Kreuzung an Hauptstraße außerhalb des Hauptstadtgebiets, sehr offen, am Hang. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Die Messung fand noch vor der abendlichen Hauptberufsverkehrszeit statt, daher war das Verkehrsaufkommen während der Messung eher niedrig.

### 5.2.1.11 Ruhrallee



Datum	18.02.2016
Messzeit (MEZ)	16:36 - 17:07
Latitude	51,4995
Longitude	7,477125
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>56,38</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	27,18
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	227,13
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>38,18</b>

Vielspurige Schnellstraße, einer der Haupteinfallwege in die Stadt, neben Westfalenpark. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Messung zur abendlichen Berufsverkehrszeit, daher viel Verkehr.

### 5.2.1.12 Hohe Straße 139



Datum	18.02.2016
Messzeit (MEZ)	17:23 - 17:53
Latitude	51,4994466667
Longitude	7,45872166667
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>65,19</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	39,66
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	104,33
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>37,57</b>

Diesmal Messung in einer Seitenstraße zur größeren Straße, Wohngebiet. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Die Messung fand während der abendlichen Berufsverkehrszeit statt, zudem gab es viel Verkehr zum nahen Stadium wegen eines Fußballspiels. Dieser Verkehr bewegte sich aber hauptsächlich auf der angrenzenden größeren Straße und nicht in der Seitenstrasse, in der gemessen wurde.

## 5.2.2 Fahrradmessungen

In Dortmund wurden zwei Fahrradmessungen durchgeführt. Am ersten Messtag, dem 18.02., handelte es sich um eine kürzere Fahrt entlang mittelgroßer Straßen, deren Ergebnisse in der Karte von Grafik 5.8 dargestellt sind. Zur Messzeit, 09:20 bis 09:32, war es bedeckt, aber trocken und kühl. Im Mittel wurden dabei  $52,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> gemessen.

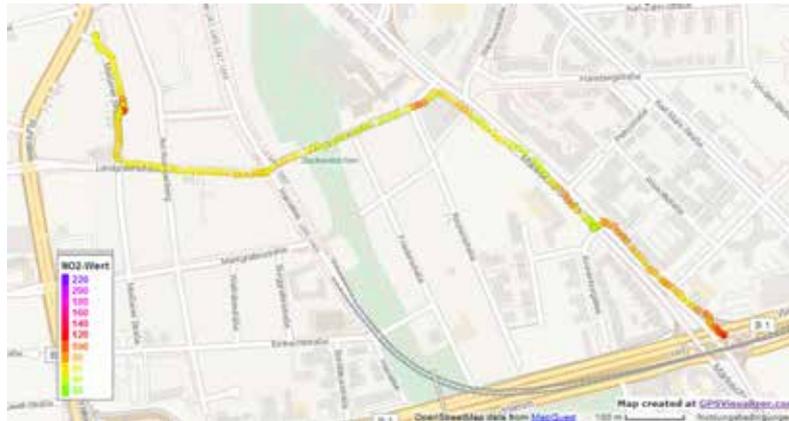


Abbildung 5.8: Fahrradmessung Dortmund 1. 18.2.2016, 09:20 - 09:32. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $52,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Die zweite längere Fahrradmessung wurde am zweiten Messtag, dem 19.02., zwischen 07:55 und 08:41 durchgeführt. Die Fotos in Abbildung 5.9 sind exemplarisch für die Strecke. Auch bei dieser Messung war es kühl und bedeckt. Die Messergebnisse sind in der Karte in Grafik 5.10 gezeigt. Die Strecke führte von Süden eine große Einfallstraße entlang zum - die Innenstadt umgebenden - zentralen mehrspurigen Straßenring, der einmal auf dem Radweg umfahren wurde. Dann wurde nach einem kurzen Abstecher in die Innenstadt nach Süden zum Ausgangspunkt zurückgefahren. Im Mittel wurden bei dieser Fahrt  $51,7 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$  gemessen. Dabei ist keine Stelle besonders auffällig, sondern es gibt Stellen erhöhter Belastung entlang der ganzen Strecke, was auf die jeweils fahrenden Kraftfahrzeuge zurückzuführen ist. Es ist auch bei der Bewertung zu bedenken, dass, wie oben diskutiert, die Messtage generell etwas größere  $\text{NO}_2$ -Messdaten aufwiesen. Es konnte hier gezeigt werden, dass auf dieser Fahrradrouten eine generell erhöhte Belastung für die Fahrradfahrer anzutreffen ist. Sie liegt sogar leicht über den zeitgleichen Werten der Umweltmessstation in der Innenstadt. Da die Belastung entlang kleinerer Straßen hoch ist, kann dieser kaum ausgewichen werden.



Abbildung 5.9: zu Fahrradmessung Dortmund 2

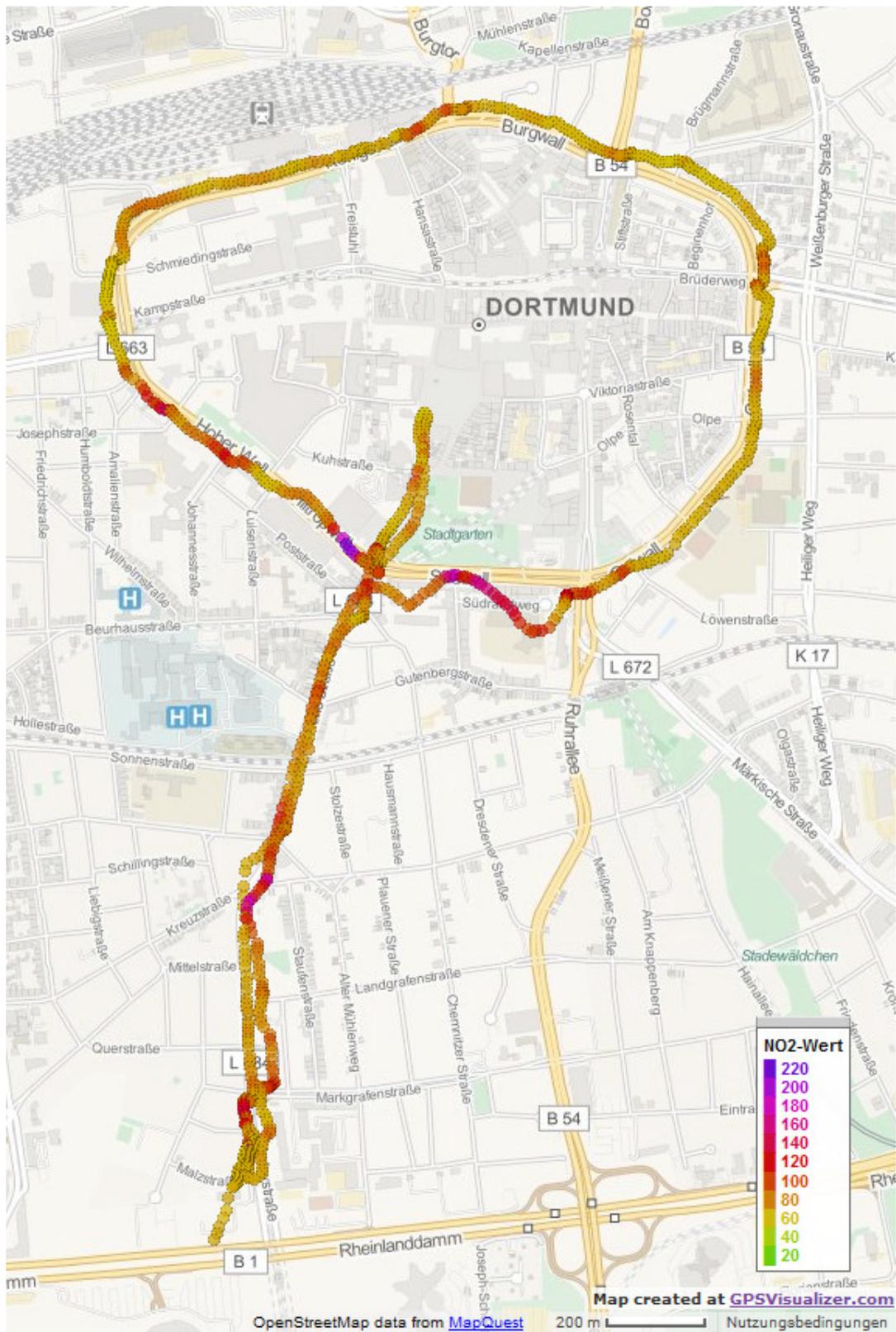


Abbildung 5.10: Fahrradmessung Dortmund 2 - Wallring. 19.2.2016, 07:55 - 08:41. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der NO<sub>2</sub>-Messdaten:  $51,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$

## 5.3 Düsseldorf

In Düsseldorf wurden an einem Messtag, dem 17.02.2016, an 9 Punkten gemessen und eine Fahrradmessung durchgeführt. Der Messtag war ein klarer windarmer Wintertag. In der Stadt befinden sich drei Umweltmessstationen, die in Tabelle 5.3 weiter erläutert werden. Die Tabelle gibt außerdem die Tagesmittel der von den Stationen gemessenen  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen am Messtag an. Daraus wird ersichtlich, dass am Messtag eine etwas erhöhte Belastung gegenüber dem Jahresmittel vorlag. Ein Überblick über die Messorte der stationären Messungen sowie die jeweiligen extrapolierten Jahresmittelwerte sind in Abbildung 5.11 angegeben.

Düsseldorf weist eine besonders hohe Stickstoffdioxidbelastung auf. Kurzzeitige Werte von über  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurden wiederholt gemessen. Die extrapolierten Jahresmittelwerte spiegeln die großflächige Belastung ebenfalls wider. So ist mit  $104,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  der Wert in der Corneliusstraße mit der höchste dieser Studie. Zwar mag der Messort eine Extremsituation auf einer Haltestellen-Verkehrinsel sein, doch sind die Passanten diesen Konzentrationen direkt ausgesetzt. Generell wurde festgestellt, dass die Belastung an den Hauptverkehrsstraßen sehr hoch ist, aber auch in kleineren Straßen liegt der extrapolierte Jahresmittelwert über  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Daraus lässt sich schlussfolgern, dass in Düsseldorf die Umweltmessstationen nicht die höchste Belastung abdecken. So ist z.B. die bestimmte Belastung an der Corneliusstraße mit  $104,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  um 77% und am Graf-Adolf-Platz mit  $86,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  um 46% erhöht. Zusätzlich ist die städtische Hintergrundkonzentration (also die Belastung abseits der Hauptverkehrsstraßen) nicht ausreichend bestimmt. Keine Umweltmessstation deckt hier die wahre Belastung in der Stadt ab, der ein Großteil der Bevölkerung ausgesetzt ist. Generell ist auf ein sehr hohes und großflächiges Gesundheitsrisiko in Düsseldorf zu schließen, die an den Hauptverkehrsstraßen noch einmal deutlich höher liegt.

Stationscode	<b>DENW082</b>	<b>DENW354</b>	<b>DENW071</b>
Stationsname	Düsseldorf Corneliusstraße	Düsseldorf Südring	Düsseldorf-Lörick
Stationsumgebung	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet
Art der Station	Verkehr	Verkehr	Hintergrund
Jahresmittelwert 2015 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>59</b>	<b>38</b>	<b>25</b>
Tagesmittel 17.2. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	64.0	-	39.7

Tabelle 5.3: Messnetz für Düsseldorf.

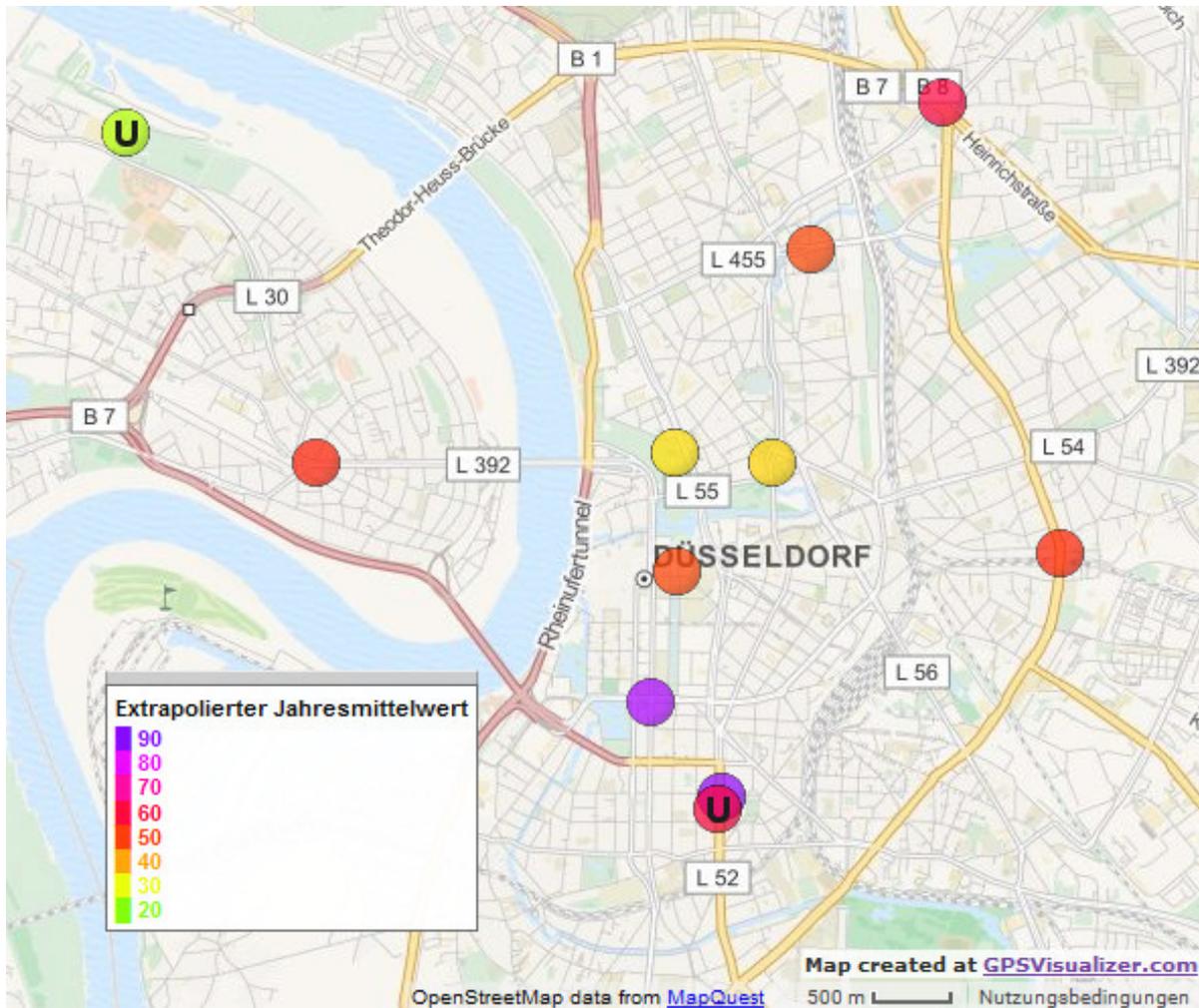


Abbildung 5.11: Karte der Messorte in Düsseldorf mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die mit U bezeichneten Marker zeigen die Umweltmessstationen mit den jeweiligen Jahresmittelwerten von 2015.

## 5.3.1 Stationäre Messungen

### 5.3.1.1 Corneliusstraße



Datum	17.02.2016
Messzeit (MEZ)	08:32 - 09:04
Latitude	51,2137414615
Longitude	6,78280620513
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>123,07</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	71,33
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	213,44
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>104,33</b>

Messung auf der Verkehrsinsel mit Straßenbahnhaltestelle, mit Stativ, zur abklingenden morgendlichen Berufsverkehrszeit. Zweispurige Verkehrsführung in beide Richtungen mit viel Verkehr, umgeben von mehrstöckigen Wohnhäusern, wodurch ein starker Straßenschluchtcharakter entsteht.

### 5.3.1.2 Graf-Adolf-Platz



Datum	17.02.2016
Messzeit (MEZ)	09:32 - 10:09
Latitude	51,2187951651
Longitude	6,7767755934
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>86,63</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	49,00
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	216,88
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>86,15</b>

Eine der Hauptkreuzungen der Stadt mit sehr viel Verkehr auf mehrspurigen Straßen. Auch viel Fußgängerverkehr. Messung zur abklingenden morgendlichen Berufsverkehrszeit, mit Stativ.

### 5.3.1.3 Kö



Datum	17.02.2016
Messzeit (MEZ)	10:17 - 10:49
Latitude	51,2257812737
Longitude	6,7790337184
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>52,42</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	31,88
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	141,86
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>49,24</b>

Messung am Riesenrad, mit Stativ. Neben Fußgängerzone, einiges an Verkehrsaufkommen, allerdings durch die Tageszeit bedingt zur Messzeit weniger.

### 5.3.1.4 Hofgarten-Kaiserstraße



Datum	17.02.2016
Messzeit (MEZ)	11:05 - 11:35
Latitude	51,2321935735
Longitude	6,77887560568
Kategorie	B
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>36,58</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	29,32
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	64,11
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>35,10</b>

Spielplatz im Park mit großer Straße am Parkrand. Mit Stativ gemessen.

### 5.3.1.5 Duisburger Straße



Datum	17.02.2016
Messzeit (MEZ)	12:30 - 13:15
Latitude	51,2315671765
Longitude	6,78708932913
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>36,89</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	29,52
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	70,50
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>35,72</b>

Zweispurige Straße mit generell viel Verkehr, Messung am Fahrrad. Zur Messzeit durch die ruhige Mittagszeit allerdings wenig Verkehr. Umgebende Wohnhäuser.

### 5.3.1.6 Luegplatz



Datum	17.02.2016
Messzeit (MEZ)	13:50 - 14:21
Latitude	51,2316233333
Longitude	6,74844333333
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>46,04</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	29,93
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	177,56
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>52,50</b>

Zweispurige Straßenkreuzung mit generell sehr viel Verkehr, aufgrund der Tageszeit allerdings nur mittelmäßig befahren. Messung mit Stativ auf Autodach.

### 5.3.1.7 Jülicher Straße/Schlossstraße



Datum	17.02.2016
Messzeit (MEZ)	14:33 - 15:07
Latitude	51,2429516667
Longitude	6,7904
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>48,68</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	31,33
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	216,66
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>48,96</b>

Große Kreuzung zweispuriger Straßen, Standort eines Krankenhauses, aufgrund der früh-nachmittäglichen Tageszeit nur mäßig viel Verkehr. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.3.1.8 Dorotheenstraße



Datum	17.02.2016
Messzeit (MEZ)	15:17 - 15:48
Latitude	51,2268219042
Longitude	6,81145341989
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>70,80</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	38,76
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	204,87
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>52,13</b>

Zweispurige stark befahrene Straße in beide Richtungen mit Verkehrsinsel für Straßenbahnhaltestelle, noch vor der einsetzenden abendlichen Hauptverkehrszeit, daher etwas ruhiger. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.3.1.9 Mörsenbroicher Ei



Datum	17.02.2016
Messzeit (MEZ)	16:02 - 16:34
Latitude	51,2508811957
Longitude	6,80150083841
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>88,30</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	43,68
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	175,75
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>60,68</b>

Sehr große Kreuzung mit sehr viel Verkehrsaufkommen. Relativ offen. Gemessen zur Zeit des beginnenden abendlichen Berufsverkehrs. Messung mit Stativ auf dem Auto-dach.

### 5.3.2 Fahrradmessung

In Düsseldorf wurde eine Fahrradmessung am 17.02. von 11:54 bis 12:23 Uhr durchgeführt. Zu dieser Zeit war der Berufsverkehr bereits deutlich abgeklungen und es war weniger Verkehr unterwegs. Aufgrund der geringeren Fahrzeugzahl und der Tageszeit mit hoher Sonneneinstrahlung ist mit geringeren Konzentrationen zu rechnen. Das Wetter zur Messzeit war sonnig und kühl. Die Messung wurde relativ gerade auf einer Nord-Südachse in beide Richtungen durchgeführt, dabei war die Straße die meiste Zeit zweispurig in beide Richtungen. Teilweise war ein Radweg getrennt von der Straße vorhanden. Die Bilder in Abbildung 5.12 zeigen exemplarisch die Messsituation. Die Ergebnisse sind auf der Karte in Grafik 5.13 gezeigt. Es wird deutlich, dass die Werte im Süden etwas höher liegen, was mit dem Vorhandensein eines getrennten Radweges im nördlichen Teil der Strecke in Verbindung stehen könnte. Im Mittel wurden  $56,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> gemessen, ein für die Verkehrslage und Tageszeit sehr hoher Wert. Es spiegelt die generell sehr hohen Werte in Düsseldorf wider, die zu Hauptverkehrszeiten noch deutlich steigen. Somit ist von einer sehr starken Belastung für Fahrradfahrer im Düsseldorfer Stadtbereich auszugehen.

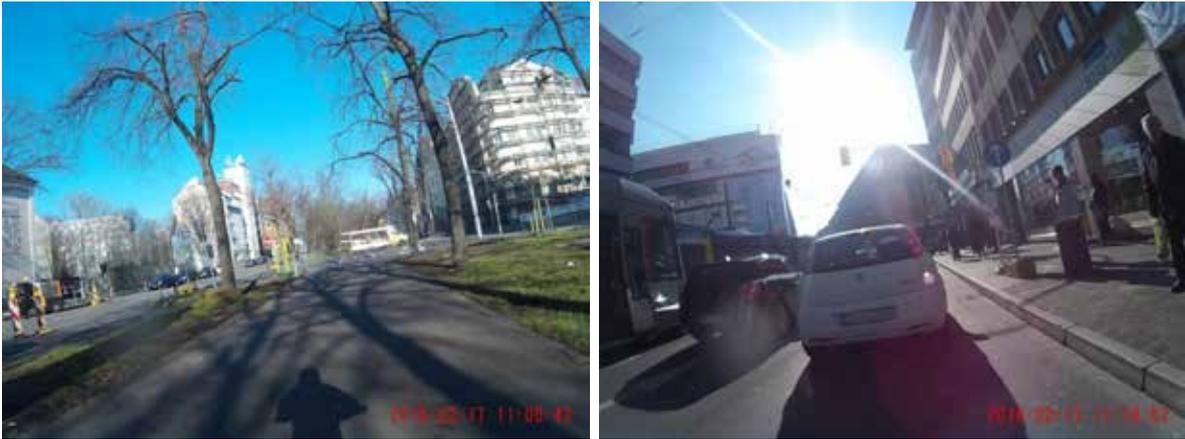


Abbildung 5.12: zu Fahrradmessung Düsseldorf



Abbildung 5.13: Fahrradmessung Düsseldorf. 17.2.2016, 11:54 - 12:23. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $56,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$

## 5.4 Esslingen

Esslingen liegt südlich von Stuttgart im Neckartal. Hier wurde an einem Messtag, dem 14.03.2016, an drei Punkten gemessen. Die Messungen fanden am frühen Nachmittag außerhalb des Berufsverkehrs statt. Der Tag war klar und etwas windig. Esslingen selbst hat keine Umweltmessstation. Daher wird zum Vergleich und zur Hochrechnung die vergleichbar gelegene Station Leonberg Grabenstraße verwendet. Tabelle 5.4 enthält nähere Informationen. Am Messtag gab diese Station im Tagesmittel etwas erhöhte Werte gegenüber dem Jahresmittelwert von 2015 an. Die gemessenen Konzentrationen waren in Esslingen im Vergleich zu anderen Städten gering. Dies liegt zum einen an der deutlich geringeren Größe der Stadt, als auch am geringen Verkehr, der flachen Bebauung und der geringen Hintergrundkonzentration. Es ist daher von einer mäßigen Belastung auszugehen.

Stationscode	<b>DEBW120</b>
Stationsname Stationsumgebung Art der Station	Leonberg Grabenstraße (S) städtisches Gebiet Verkehr
Jahresmittelwert 2015 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>47</b>
Tagesmittel 14.3. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	53,4

Tabelle 5.4: Messstation für Esslingen.

### 5.4.1 Stationäre Messungen

#### 5.4.1.1 Oberesslingen



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	14:41 - 15:11
Latitude	48,731133
Longitude	9,334008
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>16,25</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	4,32
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	84,29
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>15,80</b>

Hauptstraße des Ortes mit etwas Verkehr. Aufgrund der Tageszeit war kein Berufsverkehr anzutreffen und das Verkehrsaufkommen sowie die gemessenen Konzentrationen waren relativ gering. Relativ offen. Messung mit Stativ auf dem Boden.

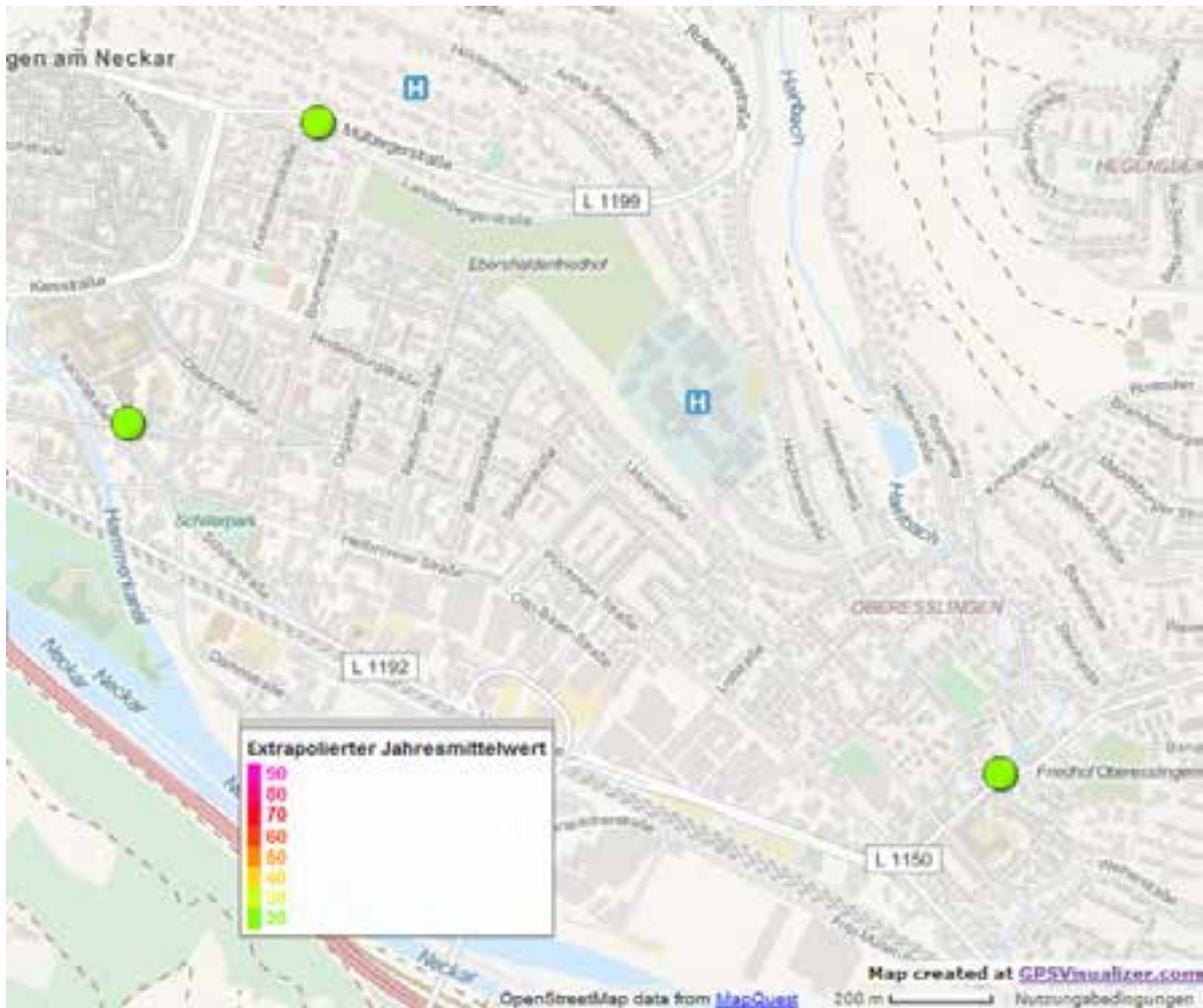


Abbildung 5.14: Karte der Messorte in Esslingen mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 5.4.1.2 Wielandstraße



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	15:21 - 15:55
Latitude	48,741980
Longitude	9,316920
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>24,31</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	4,93
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	704,71
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>21,33</b>

Viel befahrene steile Straße, von Wohnhäusern eingerahmt. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Trotz der Tageszeit mit eher ruhigerem Verkehr gab es hier ein mittel-hohes Verkehrsaufkommen sowie Busverkehr.

#### 5.4.1.3 Neckarstraße



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	16:05 - 16:36
Latitude	48,736965
Longitude	9,312154
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>23,38</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	6,92
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	149,61
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>17,82</b>

Eine der Hauptstraßen der Stadt, von mehrstöckigen Wohnhäusern eingerahmt. Messung mit dem Stativ auf dem Autodach neben einer Ampel. Es war aufgrund der Tageszeit wenig Verkehr vorhanden.

## 5.5 Frankfurt

In Frankfurt wurde an 14 Stellen stationär gemessen. Es wurden drei Fahrradmessungen durchgeführt. Dabei gab es zwei Messtage, den 7. und 8.03.2016. Der 7. März begann mit Regen, es war kühl. Später klarte es auf. Am 8. März schien fast durchgängig die Sonne bei einzelnen Wolken.

Tabelle 5.5 gibt die drei Umweltmessstationen von Frankfurt mit ihren Details an. Die Tagesmittel der NO<sub>2</sub>-Messungen der beiden Messtage sind ebenfalls angegeben. Daraus geht hervor, dass beide Messtage eine etwas größere Belastung als ein durchschnittlicher Tag aufwiesen. Zusätzlich ist auffällig, dass die beiden Hintergrund-Stationen deutlich erhöhte Werte zeigen. Abbildung 5.15 zeigt eine Karte, die einen Überblick über die Messorte der stationären Messungen und die zugehörigen extrapolierten Jahresmittelwerte gibt.

In Frankfurt wurde eine allgemein sehr hohe Belastung beobachtet. So lag der extrapolierte Jahresmittelwert für alle Messorte über dem Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Diese lagen jedoch abgesehen von einer Messung auf einer Haltestellenverkehrsinsel am Börneplatz mit  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zwischen  $40$  und  $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Es liegt also eine besonders weit verteilte hohe Belastung vor, wenn auch mit weniger extremen Maxima in der Nähe von Hauptverkehrsstraßen. Sogar auf dem Frankfurter Rathausplatz, dem Römerberg, lag der extrapolierte Jahresmittelwert über  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Das bedeutet, dass eine hohe Grundbelastung für einen großen Teil der Bevölkerung vorliegt. Insgesamt wurden für die Hauptverkehrsstraßen keine Auffälligkeiten im Vergleich zum Messnetz der Umweltmessstationen beobachtet, da ähnlich hohe Werte wie an den Umweltmessstationen bestimmt wurden. Jedoch erfassen die Umweltmessstationen die flächendeckende hohe Belastung im Stadtbereich auch abseits dieser Hauptverkehrsstraßen nicht. Dadurch wird das Gesundheitsrisiko hier vollständig unterschätzt.

Stationscode	<b>DEHE041</b>	<b>DEHE005</b>	<b>DEHE008</b>
Stationsname	Frankfurt-Friedb.Ldstr.	Frankfurt-Höchst	Frankfurt-Ost
Stationsumgebung	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet
Art der Station	Verkehr	Hintergrund	Hintergrund
Jahresmittelwert 2015 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>53</b>	<b>32</b>	<b>34</b>
Tagesmittel 7.3. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	58,2	47,0	40,8
Tagesmittel 8.3. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	65,5	59,9	51,5

Tabelle 5.5: Frankfurter Messnetz.

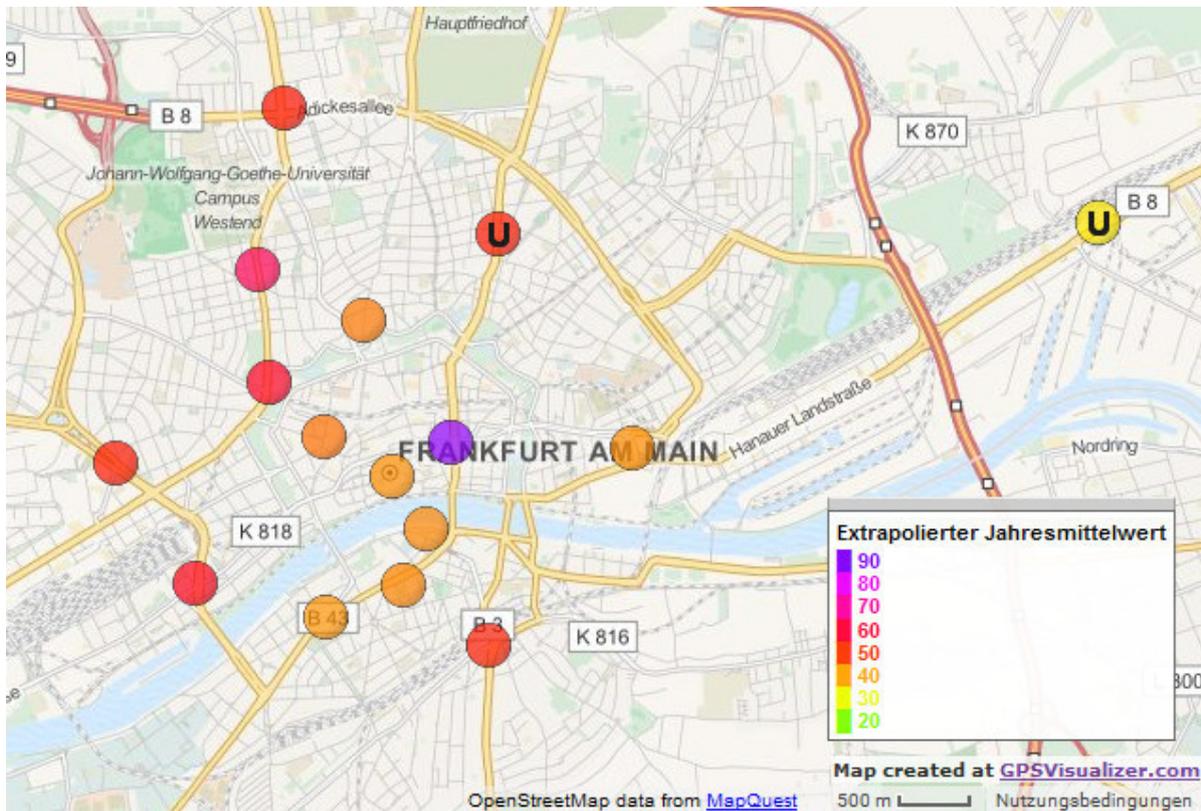


Abbildung 5.15: Karte der Messorte in Frankfurt mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die mit U bezeichneten Marker zeigen die Umweltmessstationen mit den jeweiligen Jahresmittelwerten von 2015, wobei die Station Frankfurt-Höchst außerhalb des von der Karte abgedeckten Bereichs liegt.

## 5.5.1 Stationäre Messungen

### 5.5.1.1 Baseler Straße



Datum	07.03.2016
Messzeit (MEZ)	08:10 - 08:41
Latitude	50,104207
Longitude	8,664494
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>90,33</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	63,59
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	457,98
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>57,39</b>

Eine der Hauptverkehrsadern der Stadt, mehrspurig und sehr viel Verkehr, noch während der morgendlichen Hauptverkehrszeit. Messung mit dem Stativ auf dem Dach.

### 5.5.1.2 Friedrich-Ebert-Anlage



Datum	07.03.2016
Messzeit (MEZ)	08:55 - 09:27
Latitude	50,111181
Longitude	8,657204
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>72,52</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	47,47
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	148,03
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>53,14</b>

Eine der großen Straßen der Stadt, mehrspurig in beide Richtungen, an einer Kreuzung auf einer parkähnlichen Verkehrsinsel zwischen den beiden Fahrtrichtungen gemessen, bei abklingender Berufsverkehrszeit. Messung mit Stativ.

### 5.5.1.3 Alte Oper



Datum	07.03.2016
Messzeit (MEZ)	09:41 - 10:12
Latitude	50,115969
Longitude	8,671150
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>69,21</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	43,24
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	285,42
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>58,25</b>

Zwei Spuren in beide Richtungen, viel Verkehr und viele Fußgänger, angrenzend hohe Büros und der Opernplatz, gemessen zur abklingenden Berufsverkehrszeit. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.5.1.4 Reuterweg 81



Datum	07.03.2016
Messzeit (MEZ)	10:18 - 10:50
Latitude	50,122509
Longitude	8,670080
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>70,81</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	43,00
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	150,71
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>62,95</b>

Größere Länge Straße eingerahmt von Wohnhäusern. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Durch die Tageszeit war das Verkehrsaufkommen im Verhältnis zur Straßengröße und stadtverkehrlichen Bedeutung nicht sehr hoch.

### 5.5.1.5 Eschersheimer Landstraße 181



Datum	07.03.2016
Messzeit (MEZ)	11:04 - 11:46
Latitude	50,131985
Longitude	8,672506
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>56,58</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	8,18
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	539,39
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>53,67</b>

Große Kreuzung mit generell sehr viel Verkehr, allerdings zu einer Zeit mit niedrigerem Verkehrsaufkommen gemessen. Hier befindet sich das neue Polizeipräsidium. Relativ offene Bebauung mit guter Belüftung, welche geringere Konzentrationen begünstigen sollte. Messung mit Stativ.

### 5.5.1.6 Oeder Weg



Datum	07.03.2016
Messzeit (MEZ)	11:55 - 13:08
Latitude	50,119609
Longitude	8,679720
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>55,92</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	24,95
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	164,30
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>44,01</b>

Nebenstraße mit etwas Verkehr und einigen Fußgängern, Messung mit Stativ auf Auto-  
dach. Trotz der Tageszeit mittleres Verkehrsaufkommen, vermutlich wegen der zentralen Lage, dem Supermarkt und einigen Restaurants.

### 5.5.1.7 Otto-Hahn-Platz



Datum	07.03.2016
Messzeit (MEZ)	13:50 - 14:23
Latitude	50,102185
Longitude	8,676209
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>49,58</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	25,61
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	157,38
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>41,57</b>

Kreuzung mit zwei Spuren in jede Richtung und einer Verkehrsinsel mit Straßenbahnhaltestelle dazwischen. Standort einer Schule und von Wohnhäusern. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Durch die Tageszeit etwas ruhiger, aber dennoch etwas Verkehr.

### 5.5.1.8 Mörfelder Landstraße / Darmstädter Landstraße



Datum	07.03.2016
Messzeit (MEZ)	14:32 - 15:04
Latitude	50,100555
Longitude	8,691108
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>67,57</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	22,78
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	130,84
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>52,59</b>

Etwas offenere Kreuzung zweier sehr großer Straßen mit viel Verkehr, allerdings am frühen Nachmittag und daher in einer ruhigeren Verkehrszeit. Messung mit Stativ auf

### 5.5.1.9 Stegstraße



Datum	07.03.2016
Messzeit (MEZ)	15:13 - 15:45
Latitude	50,104106
Longitude	8,683402
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>36,64</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	24,93
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	105,44
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>42,96</b>

Nebenstraße im Wohngebiet neben Park mit Spielplatz. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Durch die Lage und Messzeit fast kein Verkehr.

### 5.5.1.10 Schaumainkai



Datum	07.03.2016
Messzeit (MEZ)	16:03 - 16:36
Latitude	50,107349
Longitude	8,685450
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>65,03</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	35,88
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	161,62
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>42,75</b>

Jeweils einspurige Straße neben dem Main, dadurch auf einer Seite offen, auf der anderen Seite eine Kirche und Wohnhäuser. Messung mit dem Stativ, zur beginnenden Berufsverkehrszeit, daher Stau in eine Richtung vor einer ein paar hundert Meter entfernten Ampel bis zum Messort (s. Bild).

### 5.5.1.11 Hanauer Landstraße/Ostendstraße



Datum	07.03.2016
Messzeit (MEZ)	16:53 - 17:25
Latitude	50,112098
Longitude	8,704132
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>51,69</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	25,13
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	203,57
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>42,28</b>

Viel Verkehr, mehrspurig in beide Richtungen, von hohen Häusern eingerahmt. Messung mit Stativ auf dem Autodach, zur abendlichen Feierabendverkehrszeit.

### 5.5.1.12 Goetheplatz



Datum	08.03.2016
Messzeit (MEZ)	14:28 - 15:47
Latitude	50,112708
Longitude	8,676067
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>58,65</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	38,20
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	103,62
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>44,84</b>

Mehrspurige Einbahnstraße mit generell viel Verkehr, umgeben von hohen Bürogebäuden. Viel Fußgängerverkehr. Messung noch vor der abendlichen Berufsverkehrszeit, am Fahrrad.

### 5.5.1.13 Römer



Datum	08.03.2016
Messzeit (MEZ)	16:04 - 16:18
Latitude	50,110401
Longitude	8,682362
Kategorie	B
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>62,29</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	50,33
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	71,72
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>42,09</b>

Fußgängerzone, ursprüngliche Altstadt mit Rathaus, viele Menschen. Messung am Fahrrad.

### 5.5.1.14 Börneplatz



Datum	08.03.2016
Messzeit (MEZ)	16:31 - 17:02
Latitude	50,112415
Longitude	8,687645
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>108,51</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	63,28
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	403,02
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>90,05</b>

Verkehrinsel, auf der Fahrgäste auf die Straßenbahn warten. Mehrspurige Straße, viel Verkehr und auf die Bahn wartende Menschen. Die Messung fand am Fahrrad statt, zur abendlichen Berufsverkehrszeit.

## 5.5.2 Fahrradmessungen

In Frankfurt wurden drei Fahrradmessungen durchgeführt, alle am zweiten Messtag, dem 08.03.2016. Zu den Messzeiten war das Wetter anfangs feucht und kalt, morgens noch mehr als gegen Mittag. Später schien die Sonne.

Die erste Strecke führte vom Main zum Hessischen Rundfunk im Norden und wurde zwischen 08:06 und 08:42 während des Berufsverkehrs abgefahren. Sie ist in Grafik 5.16 mit den Messergebnissen gezeigt. Dabei wurde weitgehend den Hauptverkehrsrouten gefolgt. Getrennte Radwege gab es auf dieser Strecke nicht. Wie man sehen kann gibt es relativ gleichmäßig über die Strecke verteilt Maxima in der Belastung, wobei im Süden noch etwas mehr  $\text{NO}_2$  gemessen wurde. Der gemessene  $\text{NO}_2$ -Mittelwert liegt bei  $72,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die zweite Messstrecke führte von der Oper zur Umweltmessstation in der Friedberger Landstraße. Die Fotos von Abbildung 5.17 zeigen exemplarisch die Messumgebung. Die Messung fand von 10:05 bis 10:36 Uhr statt. Grafik 5.18 zeigt die Karte mit der Messstrecke und den Ergebnissen. Es wurde wieder den Hauptverkehrsstraßen gefolgt. Auch hier schwankt die Belastung stark räumlich. Der gemessene Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Konzentration liegt bei  $63,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die geringeren Konzentrationen sind dem bereits abklingenden Berufsverkehr zuzuschreiben. Die Fotos in Grafik 5.19 zeigen Beispiele der dritten Messstrecke, welche von der Umweltmessstation in der Friedberger Landstraße zum Hauptbahnhof führte. Zur Messzeit von 12:09 bis 12:48 Uhr war es bereits merklich aufgeklart. Grafik 5.20 zeigt eine Karte mit der Messstrecke und den gemessenen  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen. Hier liegen erheblich weniger Maxima in den gemessenen Konzentrationen vor, dafür gibt es zwei Stellen mit noch höherer Konzentration als zuvor, an der Neuen Mainzer Straße und vor dem Hauptbahnhof selbst. Die generell niedrigeren Werte sind wohl auf den geringeren Verkehr zur Messzeit und den  $\text{NO}_2$ -Tagesgang zurückzuführen. Im Mittelwert wurde bei der dritten Messung allerdings ein weiterhin hoher Wert von  $62,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bestimmt.

Wie eingangs schon diskutiert war die Hintergrundkonzentration von  $\text{NO}_2$  am 08.03. auffallend hoch, was bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden muss. Dennoch ist eine generell sehr hohen Belastung für Radfahrer in Frankfurt bestimmt worden. Das hohe Verkehrsaufkommen, geringer Abstand der Radwege zur Straße und enge Straßen verursachen konstant sehr hohe Konzentrationen, denen die Radfahrer ausgesetzt sind. Im Mittel wird ihre Gesundheit sogar durch noch höhere Konzentrationen gefährdet, als an den Umweltmessstationen an Hauptverkehrsstraßen gemessen wurde. Da die Stickstoffdioxidwerte in Frankfurt auch in den Nebenstraßen sehr hoch ist, kann der Radfahrer diesen nicht ausweichen. Ursache für diese besonders hohen Belastungen ist auch in den oft unzureichenden Fahrradwegen zu suchen. So musste oft direkt auf der Straße hinter anderen Fahrzeugen gefahren werden.

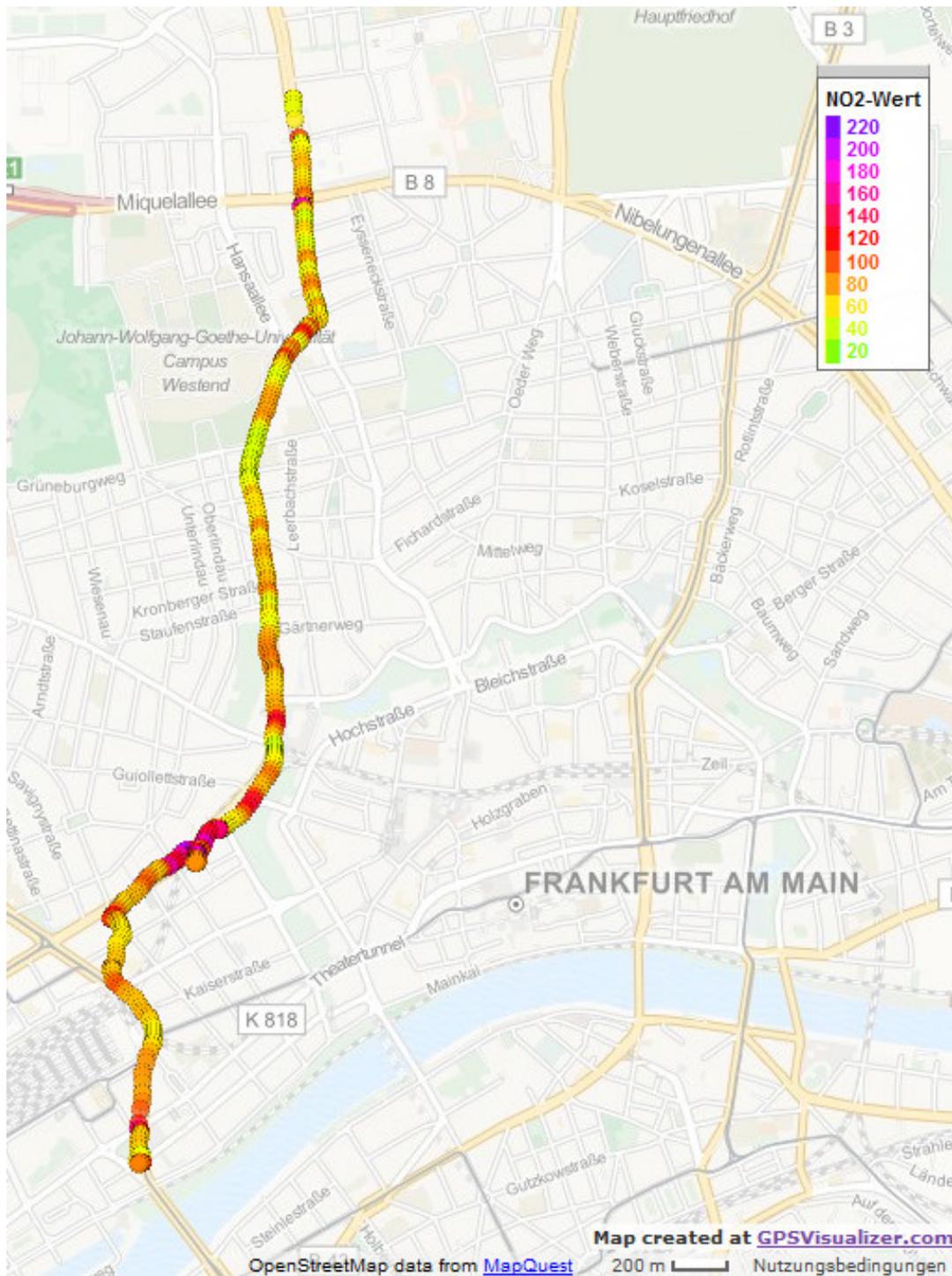


Abbildung 5.16: Fahrradmessung Frankfurt 1. Fahrt von der Innenstadt am Main zum Hessischen Rundfunk. 8.3.2016, 08:06 - 08:42. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der NO<sub>2</sub>-Messdaten:  $72,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Abbildung 5.17: Fahrradmessung 2 - Frankfurt

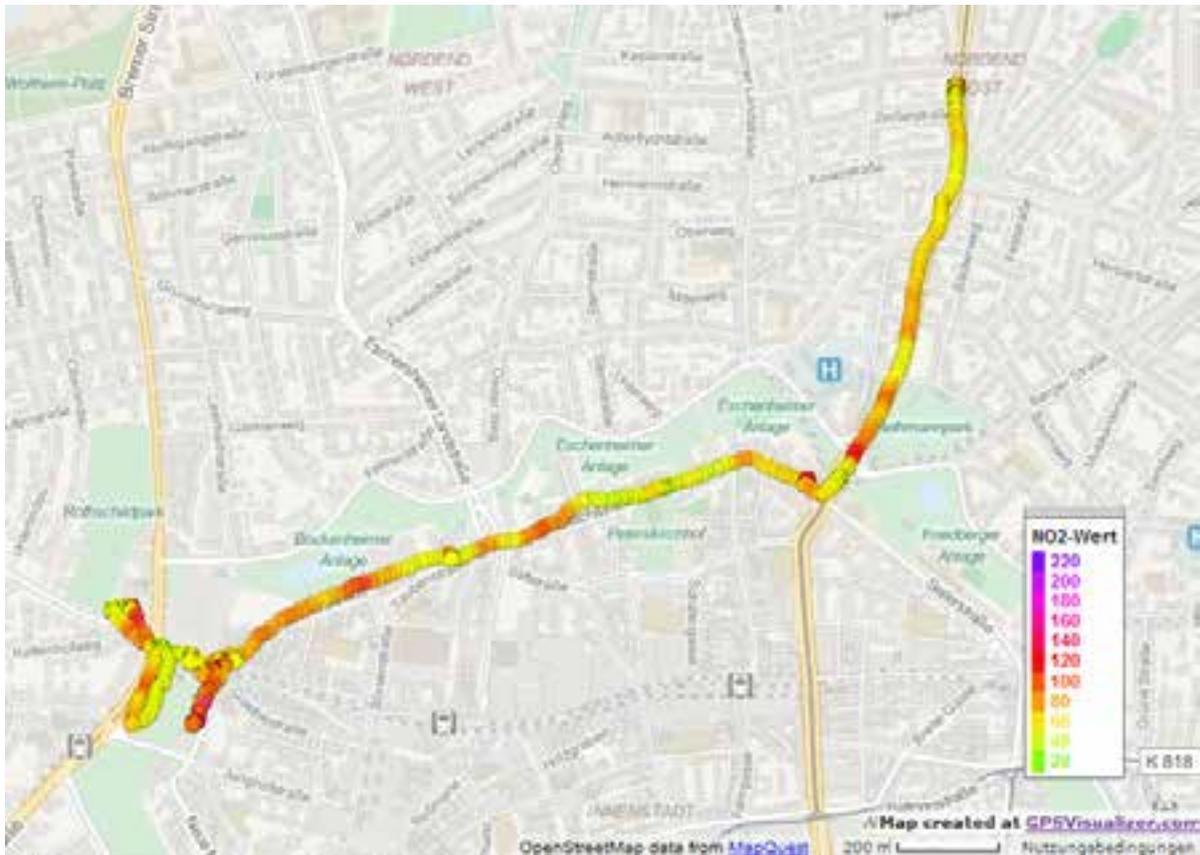


Abbildung 5.18: Fahrradmessung Frankfurt 2. Fahrt von der Oper zur Friedberger Landstraße. 8.3., 10:05 - 10:36. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $63,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Abbildung 5.19: Fahrradmessung 3 - Frankfurt

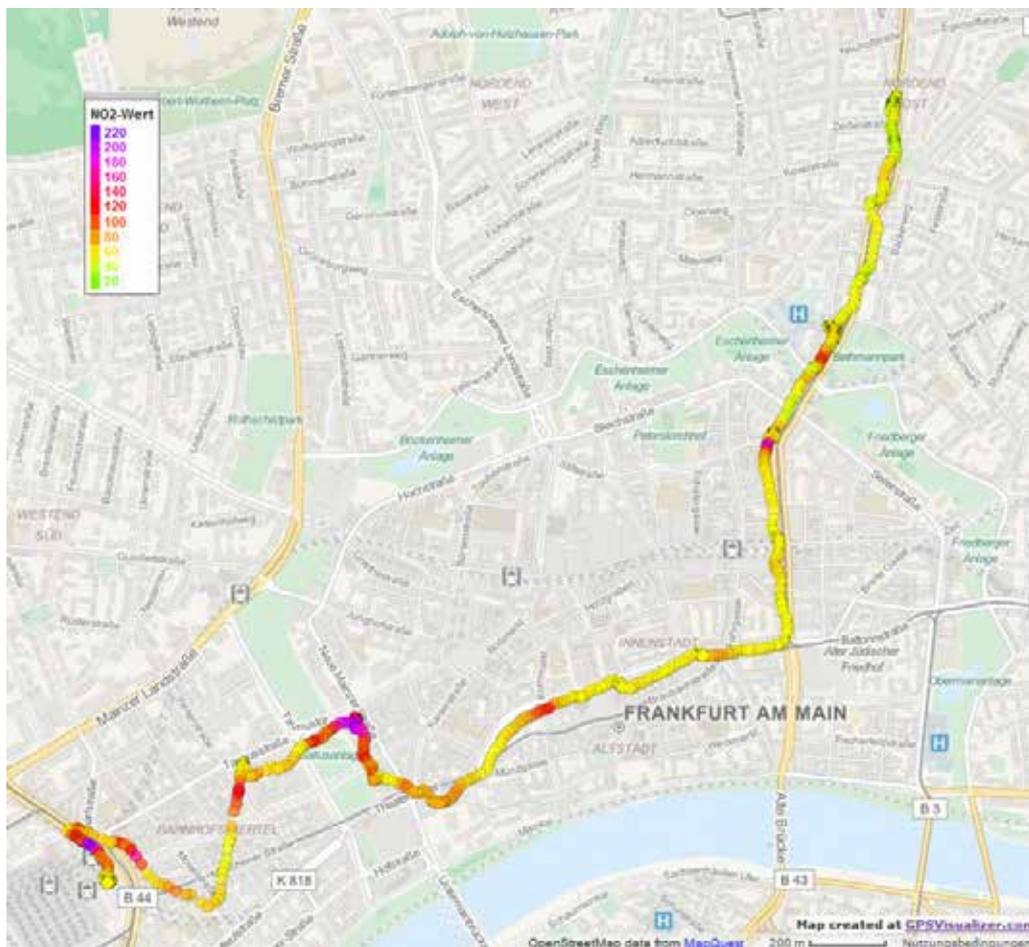


Abbildung 5.20: Fahrradmessung Frankfurt 3. Fahrt vom der Friedberger Landstraße zum Hauptbahnhof. 8.3., 12:09 - 12:48. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $62,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

## 5.6 Freiburg

In Freiburg wurden an einem Messtag, dem 16.03.2016, acht stationäre Messungen und zwei Fahrradmessungen durchgeführt. Der Messtag zeigte sich kalt und windig; im Laufe des Tages klarte es etwas auf. Freiburg hat zwei Umweltmessstationen, die in Tabelle 5.6 mit ihren Details aufgeführt sind. Die ebenfalls angegebenen Mittel der NO<sub>2</sub>-Messwerte am Messtag deuten an, dass dieser ein Tag mit geringerer NO<sub>2</sub>-Belastung im Vergleich zum Jahresmittel war. Ursache ist vor allem die erhöhte Windgeschwindigkeit, die für eine schnelle Vermischung mit wenig belasteter Hintergrundluft sorgt. Durch die Umrechnung zu extrapolierten Jahresmittelwerten wird dieser Effekt korrigiert. Die Karte in Abbildung 5.21 gibt einen Überblick über die stationären Messungen und die jeweiligen extrapolierten Jahresmittelwerte.

Messorte in direkter und indirekter Nähe zur stark befahrenen B31 zeigen in Freiburg besonders hohe NO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf, im extrapolierten Jahresmittel bis fast 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Davon sind auch Fußgänger, die sich in der Nähe der B31 aufhalten, betroffen (siehe Messung an der Dreisam). Somit ist in diesem Bereich von einer sehr hohen Belastung auszugehen. Die bestimmten Werte sind vergleichbar mit dem, was die Umweltmessstation in der Schwarzwaldstraße abbildet. Daher wird der Bereich der höchsten Belastung gut durch die Umweltmessstationen abgedeckt. An anderen Hauptverkehrsstraßen liegen die Werte zwar noch hoch, sind jedoch bereits unterhalb des Grenzwertes. Abseits der Hauptverkehrsstraßen fällt die Konzentration deutlich schnell ab, wie mit einer Konzentration um die 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  am Bertoldsbrunnen (Fußgängerzone) bestimmt wurde.

Stationscode	<b>DEBW084</b>	<b>DEBW122</b>
Stationsname	Freiburg	Freiburg Schwarzwaldstraße (V)
Stationsumgebung	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet
Art der Station	Hintergrund	Verkehr
Jahresmittelwert 2015 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>19</b>	<b>56</b>
Tagesmittel 16.3. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	14.0	41.0

Tabelle 5.6: Freiburger Messnetz.

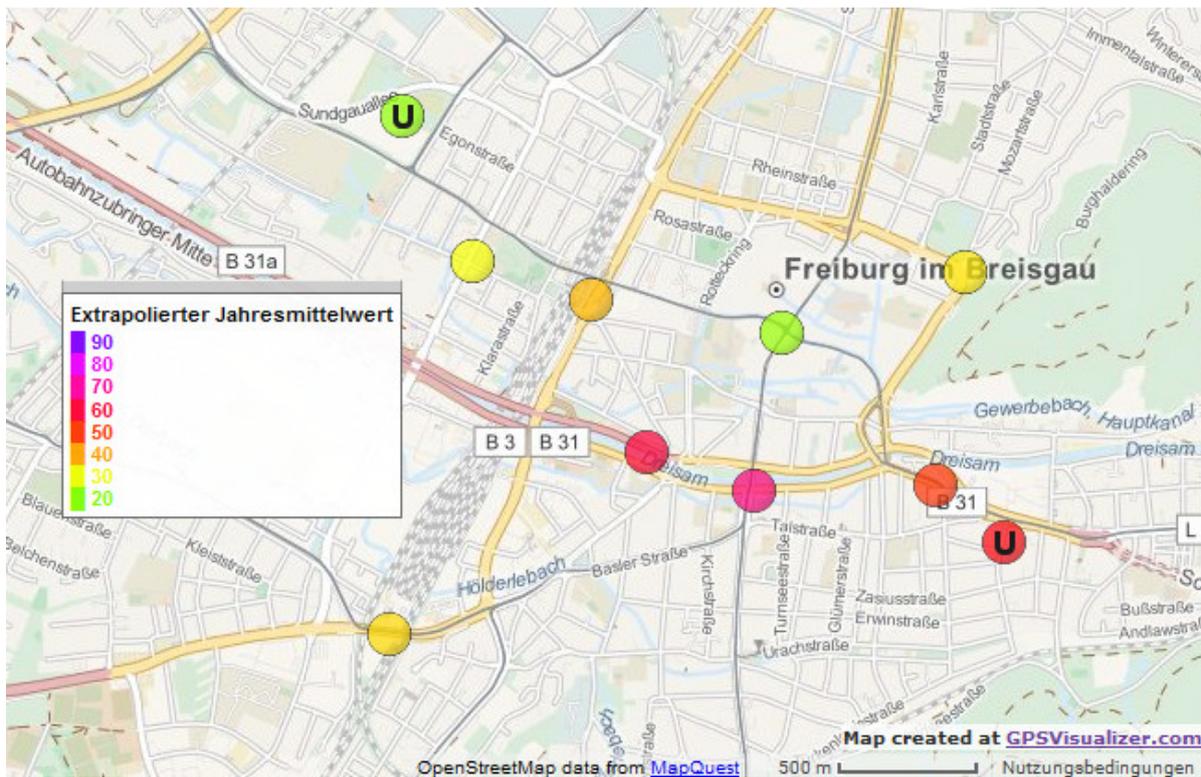


Abbildung 5.21: Karte der Messorte in Freiburg mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die mit U bezeichneten Marker zeigen die Umweltmessstationen mit den jeweiligen Jahresmittelwerten von 2015.

## 5.6.1 Stationäre Messungen

### 5.6.1.1 Baseler Straße



Datum	16.03.2016
Messzeit (MEZ)	08:19 - 08:49
Latitude	47,985336
Longitude	7,831463
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>31,63</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	10,92
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	94,09
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>35,02</b>

Vielbefahrene in jede Richtung zweispurige Straße, mit Erhebungen und Wohnhäusern auf beiden Seiten. Es wurde mit dem Stativ auf dem Autodach gemessen, zur morgendlichen Berufsverkehrszeit.

### 5.6.1.2 Blaue Brücke



Datum	16.03.2016
Messzeit (MEZ)	10:15 - 10:45
Latitude	47,995763
Longitude	7,840826
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>27,40</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	9,12
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	76,57
Kategorie	C
Messhöhe	~ 1,45 m
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>38,13</b>

Die Messstelle liegt auf der Fußgängerbrücke, welche eine stark befahrene mehrspurige Straße überspannt. Es wurde am Fahrrad gemessen.

### 5.6.1.3 Dreisam



Datum	16.03.2016
Messzeit (MEZ)	10:54 - 11:24
Latitude	47,991028
Longitude	7,843377
Kategorie	C
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>39,31</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	18,47
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	80,32
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>60,18</b>

Der Fluss Dreisam wird eingerahmt von jeweils in eine Richtung laufenden Verkehr. Trotz der Tageszeit war die Straße stark befahren, was ihren Charakter als Durchgangsstraße unterstreicht - sie ist der schnellste Weg durch die Stadt, eine Umgehungsstraße gibt es nicht. Die Messung wurde unterhalb der Straße neben dem Fluss auf dem Spazierweg gemacht. Dabei wurde das Stativ verwendet.

### 5.6.1.4 Johanneskirche



Datum	16.03.2016
Messzeit (MEZ)	11:35 - 12:05
Latitude	47,989809
Longitude	7,848338
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>47,50</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	14,77
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	114,90
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>65,96</b>

Messstelle ist an der großen Durchgangsstraße entlang der Dreisam, zwei Spuren in eine Richtung, viele Lastwagen und Fußgänger. Wie im vorherigen Punkt schon beschrieben, lag zum Messzeitraum trotz der generell ruhigeren Mittagszeit ein hohes Verkehrsaufkommen mit vielen LKW vor. Messung mit Stativ.

### 5.6.1.5 Bertoldsbrunnen



Datum	16.03.2016
Messzeit (MEZ)	12:16 - 12:42
Latitude	47,994738
Longitude	7,849652
Kategorie	B
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>12,14</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	6,94
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	24,34
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>20,97</b>

Fußgängerzone in der Stadtmitte. Nur Straßenbahnen und Fußgänger, Läden und Wohnhäuser. Messung mit Stativ.

### 5.6.1.6 Eschholzstraße



Datum	16.03.2016
Messzeit (MEZ)	13:03 - 13:35
Latitude	47,996997
Longitude	7,835311
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>25,95</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	9,18
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	76,27
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>30,96</b>

Vielbefahrene Straße mit je einer Spur pro Richtung, eingerahmt von mehrstöckige Stadthäusern. Es wurde in der ruhigeren Mittagszeit gemessen. Standort einer Schule. Messung mit Stativ.

### 5.6.1.7 Schlossberggring



Datum	16.03.2016
Messzeit (MEZ)	14:00 - 14:30
Latitude	47,996629
Longitude	7,858182
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>37,63</b>
NO <sub>2_min</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	8,80
NO <sub>2_max</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	144,05
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>34,02</b>

Mehrspuriger vielbefahrener Straßenring um die Altstadt, relativ offen. Die Messung fand zur ruhigeren Mittagszeit statt. Messung mit Stativ.

### 5.6.1.8 Schwarzwaldstraße



Datum	16.03.2016
Messzeit (MEZ)	14:47 - 15:21
Latitude	47,989986
Longitude	7,856729
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>58,94</b>
NO <sub>2_min</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	16,20
NO <sub>2_max</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	158,27
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>50,54</b>

Vielbefahrene enge Häuserschlucht, viele Lastwagen. Trotz der eigentlich ruhigeren Nachmittagszeit gab es ein hohes Verkehrsaufkommen. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

## 5.6.2 Fahrradmessungen

In Freiburg konnten am 16.03.2016 zwei Fahrradmessungen durchgeführt werden. Die erste Messfahrt führte von der Johanneskirche zur Blauen Brücke und fand von 09:48 bis 10:15 Uhr statt, nach der morgendlichen Berufsverkehrszeit. Während der Messfahrt war es windig und aufgelockert-bewölkt. Abbildungen 5.22 zeigt während der Messfahrt aufgenommene Fotos. Da für einen großen Teil der Messstrecke keine GPS-Daten aufgenommen werden konnten, wurden fast keine Messdaten in der Karte in Abbildung 5.24 eingetragen. Als Ersatz zeigt das Diagramm in Abbildung 5.23 den zeitlichen Verlauf der gemessenen Konzentrationen. Kurz nach 09:10 sind drei Messpunkte über  $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$

der Übersichtlichkeit halber abgeschnitten worden, die während der Überquerung der Bismarckallee gemessen wurden. Im ersten Teil bis etwa 09:50 wurde der Basler Straße zur Dreisam gefolgt. Danach, bis etwa 09:52, wurde dem Verlauf der Dreisam unten am Fluss nach Osten gefolgt. Ab 09:52 wurde der Fluss überquert und der Straße nach Norden gefolgt. Um 09:54 wurde das Schwabentor passiert und der Weg entlang des Schlossbergring nach Norden gewählt. Ab 09:58 wurde dann der Friedrichstraße gefolgt, in welcher eine Baustelle die Fahrbahn einengte und den Verkehr reduzierte. Ab 10:06 wurde entlang der Bismarckallee nach Süden bis zur Blauen Brücke gefahren. Im Mittel wurden bei dieser Messfahrt  $35,5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$  gemessen.

Die zweite Messfahrt wurde von 12:04 bis 12:14 Uhr zur ruhigeren Mittagszeit durchgeführt und führte von der Dreisam zum Bertoldsbrunnen. Der zweite Teil der Strecke verlief dabei in einer verkehrsberuhigten Zone, welche dementsprechend verkehrsarm ist. Zur Messzeit war es weiterhin windig bei geschlossener Bewölkung. In Abbildung 5.22 sind während der Messfahrt aufgenommene Fotos gezeigt. Die Karte in Abbildung 5.26 zeigt die gemessenen Stickstoffdioxid-Konzentrationen räumlich dargestellt. Der Mittelwert der gemessenen Stickstoffdioxid-Konzentrationen liegt bei  $28,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Hier wird die niedrige Hintergrundkonzentration am Messtag in verkehrsarmen Bereichen deutlich. Erhöhte Werte sind an den großen Straßen anzutreffen. Daher kann leider nicht der Schluss gezogen werden, dass die Stickstoffdioxid-Belastung für Radfahrer in Freiburg generell niedrig ist, da auch ein großer Teil der Radwege entlang ebendieser großen Straßen führt und dort eine örtlich hohe Belastung vorliegt. Es zeigt sich aber auch, dass ein geschicktes Verlegen der Radwege zu einer deutlichen Reduzierung des Gesundheitsrisikos führen kann.



Abbildung 5.22: zu Fahrradmessung 1 - Freiburg

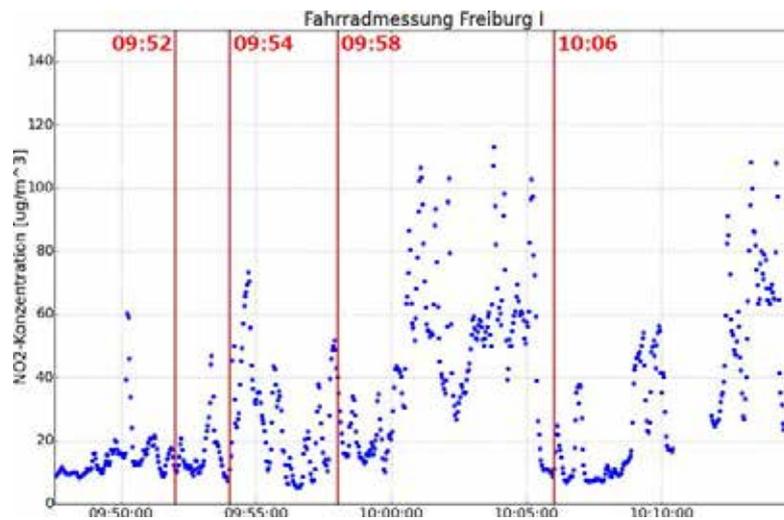


Abbildung 5.23: Fahrradmessung Freiburg 1. 16.3.2016, 09:48 - 10:15. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $35,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die mit roten Linien markierten Zeitpunkte dienen der Zuordnung der Beschreibung im Text.

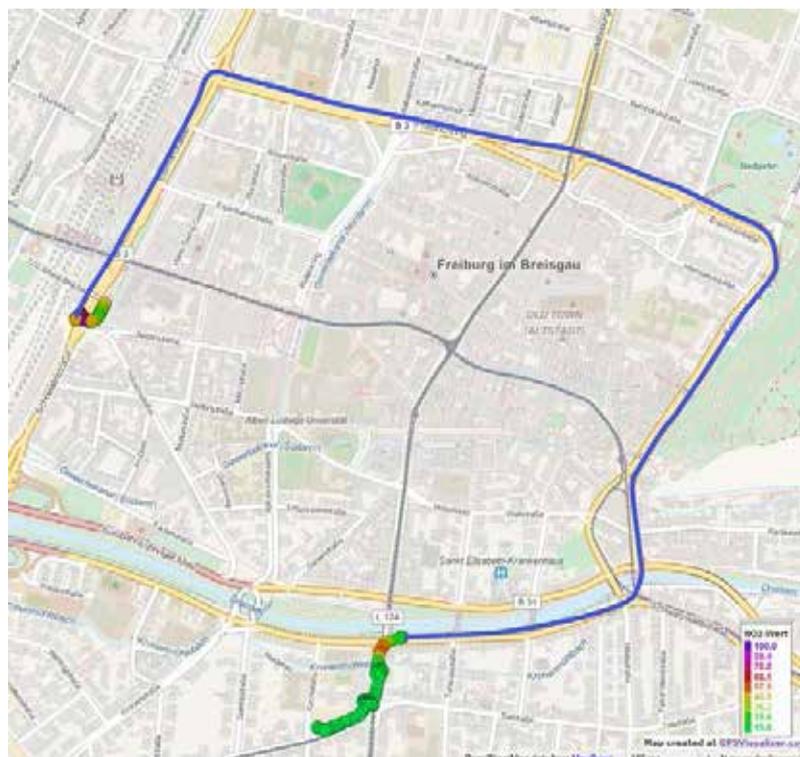


Abbildung 5.24: Fahrradmessung Freiburg 1. 16.3.2016, 09:48 - 10:15. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $35,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aufgrund eines kurzzeitigen Ausfalls des GPS ist für einen großen Teil der Messtrecke keine Position verfügbar. Dieser Bereich wurde durch eine blaue Linie ergänzt. Die Messwerte sind jedoch in Abbildung ?? gezeigt.

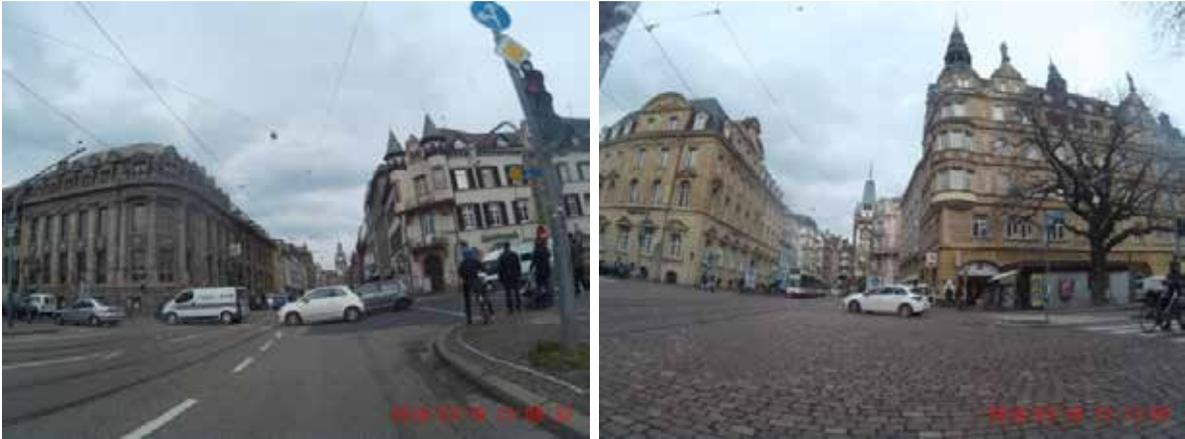


Abbildung 5.25: zu Fahrradmessung 2 - Freiburg

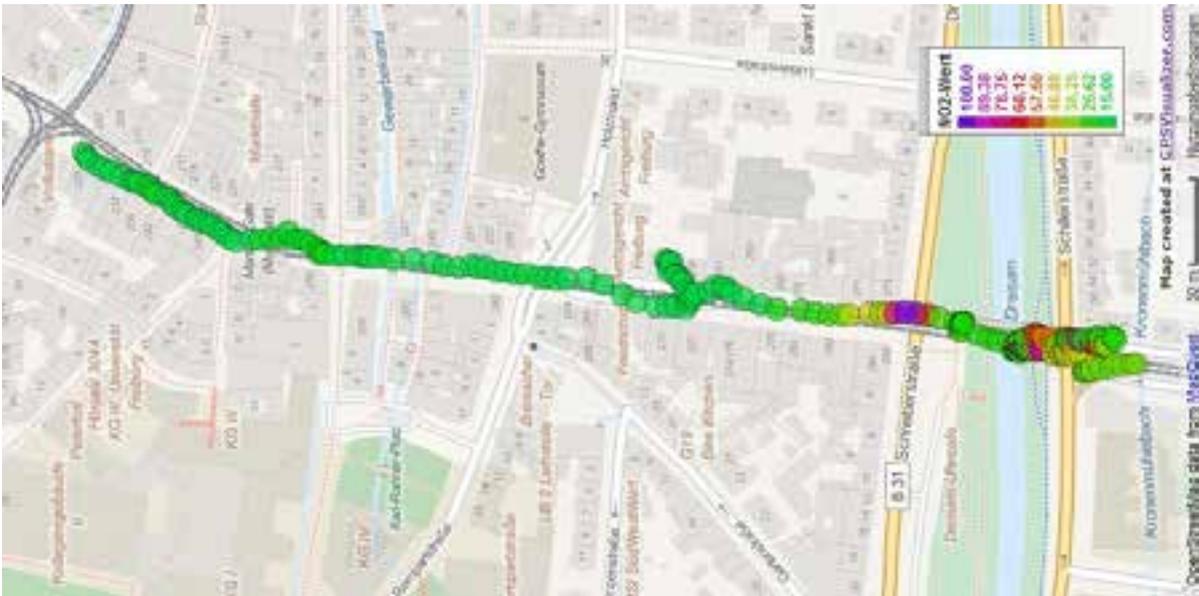


Abbildung 5.26: Fahrradmessung Freiburg 2. 16.3.2016, 12:04 - 12:14. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $28,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5.7 Köln

In Köln wurde an 13 Punkten gemessen. Es wurden 6 Fahrradmessungen durchgeführt. Messtage waren der 15. und 16.02.2016. Der 15.02. begann feucht, kalt und mit Regen, der gegen Nachmittag nachließ. Der 16.02. war ein sonniger und kalter Wintertag.

Tabelle 5.7 zeigt die vier Umweltmesstationen von Köln mit ihren Details. Dort finden sich auch die Tagesmittel der NO<sub>2</sub>-Messwerte an den Messtagen. Die Tagesmittel des zweiten Messtags sind deutlich höher als die des ersten. Während die Tagesmittel der Verkehrsstationen niedriger bzw. gleich dem Jahresmittelwert sind, sind die Werte für die Hintergrundstationen höher und im Fall des zweiten Messtages sogar deutlich erhöht.

Die Karte in Abbildung 5.27 gibt eine Übersicht über die Messorte der in Köln vorgenommenen stationären Messungen sowie die jeweiligen extrapolierten Jahresmittelwerte. Köln zeigt besonders großflächige Stickstoffdioxid-Schadstoffbelastungen. Selbst in den Nebenstraßen wurden sehr hohe Werte bestimmt. Auch zeigen einige Orte höhere Werte, als die Umweltmessstationen bisher erfassen, das heißt in Köln decken die Umweltmessstationen nicht die höchste Belastung ab. Die Umweltmessstation Hohenheimer Straße zeigt für die Stadt vergleichbar geringe Werte. Viele Orte in der Innenstadt sind viel stärker belastet. Dementsprechend ist auch die städtische Hintergrundkonzentration nicht ausreichend bestimmt, was dazu führt, dass oft die Belastung für einen großen Teil der Bevölkerung unterschätzt wird. Nur in Gebieten mit großen Parkanlagen bzw. großen freien Flächen sinken die Konzentrationen signifikant.

Stationscode	<b>DENW211</b>	<b>DENW212</b>	<b>DENW053</b>	<b>DENW059</b>
Stationsname	Köln Clevischer Ring 3	Köln Turiner Straße	Köln-Chorweiler	Köln-Rodenkirchen
Stationsumgebung	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	vorstädtisches Gebiet
Art der Station	Verkehr	Verkehr	Hintergrund	Hintergrund
Jahresmittelwert 2015 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>66</b>	<b>46</b>	<b>25</b>	<b>31</b>
Tagesmittel 15.2. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	57.9	42.9	28.6	39.0
Tagesmittel 16.2. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	67.3	45.0	39.7	47.5

Tabelle 5.7: Kölner Messnetz.

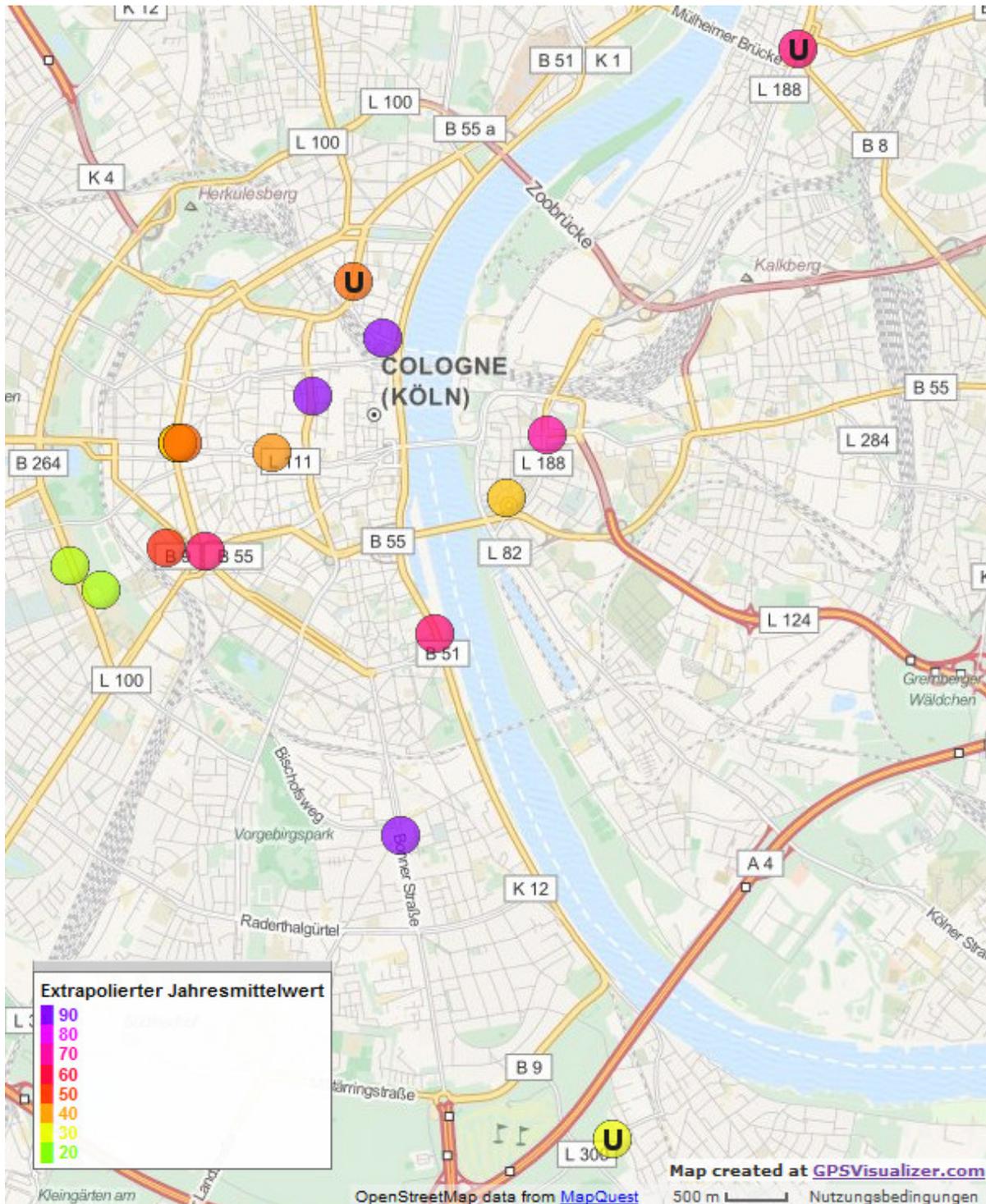


Abbildung 5.27: Karte der Messorte in Köln mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die mit U bezeichneten Marker zeigen die Umweltmessstationen mit den jeweiligen Jahresmittelwerten von 2015, wobei die Station Köln-Chorweiler außerhalb des von der Karte abgedeckten Bereichs liegt.

## 5.7.1 Stationäre Messungen

### 5.7.1.1 Bresslauer Platz



Datum	15.02.2016
Messzeit (MEZ)	08:25 - 09:15
Latitude	50,9435332847
Longitude	6,96087755155
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>103,53</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	54,68
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	1229,68
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>93,57</b>

In jede Richtung einspurige Straße mit viel Verkehr und regelmäßig vorbeifahrenden Bussen etwas am Hang gelegen, direkt hinter dem Hauptbahnhof. Messung mit Stativ auf dem Autodach, zur morgendlichen Berufsverkehrszeit.

### 5.7.1.2 Tunisstraße



Datum	15.02.2016
Messzeit (MEZ)	09:27 - 10:04
Latitude	50,9395881233
Longitude	6,95349450881
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>122,46</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	63,88
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	466,45
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>93,64</b>

Mehrspurige Straße umgeben von hohen Bürogebäuden und Läden, mit Fußgängerverkehr. Messung mit Stativ. Im Messzeitraum war die morgendliche Berufsverkehrszeit schon abgeklungen.

### 5.7.1.3 Neumarkt



Datum	15.02.2016
Messzeit (MEZ)	10:15 - 10:56
Latitude	50,9358533333
Longitude	6,94921333333
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>58,66</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	41,88
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	118,70
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>41,96</b>

Mehrspurige Straße um einen größeren Platz mit Bäumen, Radwege, viel Verkehr und Busse, höhere Gebäude außen, aber in der Mitte offener. Messung mit Stativ. Die Messung fand im Zeitraum nach dem morgendlichen Hauptverkehr statt.

### 5.7.1.4 Rudolfplatz I



Datum	15.02.2016
Messzeit (MEZ)	11:16 - 11:47
Latitude	50,9364233333
Longitude	6,93968
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>54,12</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	40,48
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	123,96
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>48,15</b>

Drei Fahrspuren in eine Richtung und viel Verkehr. Höhere Bebauung in der Umgebung, kleinerer Platz vor der Hahnentorburg. Es wurde an der Nordseite gemessen, zu einer ruhigeren Tageszeit. Messung mit Stativ.

### 5.7.1.5 Barbarossaplatz



Datum	15.02.2016
Messzeit (MEZ)	12:13 - 13:24
Latitude	50,929185
Longitude	6,94223
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>56,94</b>
NO <sub>2_min</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	37,53
NO <sub>2_max</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	266,20
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>62,41</b>

In jede Richtung mehrspurige Straße, zwischen zwei großen Kreuzungen, umgeben von mehrstöckigen Gebäuden, Fahrradfahrer und Fußgänger. Die Messung fand in der ruhigeren Mittagszeit statt, mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.7.1.6 Universität - Park



Datum	15.02.2016
Messzeit (MEZ)	13:35 - 14:02
Latitude	50,9266283333
Longitude	6,931245
Kategorie	C
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>29,01</b>
NO <sub>2_min</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	22,89
NO <sub>2_max</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	52,26
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>24,25</b>

Ruhige Nebenstraße mit einem großen Park auf einer Seite und mehrstöckigen Gebäuden auf der anderen. Aufgrund von Tageszeit und Lage fast kein Verkehr. Es wurde am Fahrrad gemessen.

### 5.7.1.7 Bayenstraße



Datum	15.02.2016
Messzeit (MEZ)	17:43 - 18:12
Latitude	50,9237216667
Longitude	6,96632833333
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>65,90</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	28,54
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	149,57
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>63,17</b>

Vielbefahrene mehrspurige Straße, etwas offener. Messung vor einer Ampel, gegenüber des Bayenturms, zur abklingenden Berufsverkehrszeit. Es wurde mit dem Stativ auf dem Autodach gemessen.

### 5.7.1.8 Brühler Straße / Bonner Straße



Datum	15.02.2016
Messzeit (MEZ)	18:22 - 18:51
Latitude	50,91014
Longitude	6,962835
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>106,80</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	54,59
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	416,91
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>96,40</b>

In beide Richtungen mehrspurige Straße mit viel Verkehr, etwas offener, vor großer Kreuzung, schon nach der abendlichen Berufsverkehrszeit. Mit Stativ auf Autodach gemessen.

### 5.7.1.9 Universität



Datum	16.02.2016
Messzeit (MEZ)	12:11 - 12:23
Latitude	50,9282423753
Longitude	6,92791839569
Kategorie	B
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>23,11</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	17,11
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	36,64
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>23,76</b>

Fußgängerbereich auf Platz vor der Mensa, Übertunnelung einer vielbefahrenen Straße. Viele Fußgänger. Am Fahrrad gemessen.

### 5.7.1.10 Zülpicher Straße



Datum	16.02.2016
Messzeit (MEZ)	13:27 - 14:10
Latitude	50,929428005
Longitude	6,93799941659
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>35,70</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	18,80
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	107,06
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>52,10</b>

Straße mit je einer Fahrspur in jede Richtung. Enge Bebauung mit höheren Wohnhäusern (Straßenschluchtcharakter). Viel Verkehr, allerdings zur ruhigeren Mittagszeit gemessen. Messung am Fahrrad.

### 5.7.1.11 Rudolfplatz II



Datum	16.02.2016
Messzeit (MEZ)	15:31 - 16:02
Latitude	50,9365083805
Longitude	6,9393098009
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>46,41</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	17,12
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	139,43
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>52,11</b>

Drei Fahrspuren in eine Richtung und viel Verkehr. Höhere Bebauung in der Umgebung, kleinerer Platz vor der Hahnentorburg. Messung am Fahrrad, zur beginnenden abendlichen Berufsverkehrszeit.

### 5.7.1.12 Sportplatz Deutz



Datum	16.02.2016
Messzeit (MEZ)	17:15 - 17:22
Latitude	50,9328383333
Longitude	6,97390666667
Kategorie	C
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>41,63</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	35,70
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	70,52
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>37,31</b>

Sportplatz neben einer großen Straße mit schnellfließendem Verkehr, offen, zur abendlichen Berufsverkehrszeit. Kurze Messzeit, Messung am Fahrrad.

### 5.7.1.13 Gotenring / Deutzkultur-Straße



Datum	16.02.2016
Messzeit (MEZ)	17:28 - 18:02
Latitude	50,9370534631
Longitude	6,97819652746
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>81,12</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	39,56
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	228,24
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>69,33</b>

Große Kreuzung zweier mehrspuriger Straßen mit viel Verkehr und Straßenbahnen, Fahrradfahrer. Umgeben von mehrstöckigen Gebäuden. Messung zur abklingenden abendlichen Berufsverkehrszeit, am Fahrrad.

## 5.7.2 Fahrradmessungen

In Köln wurden insgesamt fünf Fahrradmessungen an zwei Messtagen durchgeführt. Größtenteils konnte dabei auf Radwegen und Radfahrstreifen gefahren werden.

Die erste Messung fand zwischen 14:44 und 15:36 Uhr am ersten Messtag statt, dem 15.02.2016. Sie begann nahe der Universität, führte bis zum Rhein und über einen Bogen wieder zurück. Zur Messzeit war es bedeckt und kalt, regnete aber nicht. Die Fotos in Grafik 5.28 wurden während der Fahrt aufgenommen. Grafik 5.29 zeigt kartografisch die direkten Ergebnisse der Messfahrt. Über längere Strecken der Messfahrt zeigen sich dabei eher niedrige Konzentrationen, die Belastung liegt aber an großen Straßen und Kreuzungen deutlich höher. Im Mittel lag die gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentration bei 47,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die im Mittel hohen, aber nicht extremen Werte zeigen jedoch nicht die Konzentrationen, denen Radfahrer zeitweise immer wieder ausgesetzt sind. So traten vorübergehend Belastungen von bis zu 130,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  auf. Streckenweise lag die Belastung bei ca. 65,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , z.B. auf der Teilstrecke entlang des Salierring/Hohenstaufenring, oder 68,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  entlang der Cäcilienstraße. Nur in den Bereichen Kämmergasse/Bachemstraße sowie an der Universität und im Park wurden lokal geringere Konzentrationen beobachtet. Die Nähe der Radwege zum Straßenverkehr verursacht in Köln eine besonders hohe Belastung der Radfahrer. Eine bessere Fahrradwegeplanung würde hier bereits eine deutliche Verbesserung bringen.

Am zweiten Messtag, dem 16.02.2016, gab es vier Fahrradmessungen. Die erste davon fand von 08:06 bis 08:21 Uhr statt. Sie führte entlang der Cecilienstrasse über den Barbarossaplatz zum Hauptbahnhof. Grafik 5.30 zeigt Fotos, die während der Messung aufgenommen wurden. Die gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind in der Karte in Grafik 5.31 gezeigt. Im Mittelwert wurde eine Konzentration von 56,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> gemessen. (Neumarkt-Hbf)

Die dritte Messfahrt wurde von 09:02 bis 09:14 Uhr durchgeführt. Sie führte entlang stark befahrener Straßen von Ost nach West und dann nach Süden. Die Fotos in Abbildung 5.32 wurden während der Fahrt aufgenommen. Die gemessenen Werte sind in der Karte in Grafik 5.33 dargestellt. Im Mittel wurden  $60,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{NO}_2$  gemessen.

Die insgesamt vierte Messfahrt wurde von 11:55 bis 12:12 Uhr durchgeführt und folgte den Hauptverkehrsrouten zur Universität. In Grafik 5.34 sind Fotos gezeigt, die während der Messfahrt aufgenommen worden sind. Die Karte in Grafik 5.35 gibt die Ergebnisse der Messung wieder. Es wird ersichtlich, dass die Hintergrund-Belastung relativ niedrig ist, es aber immer wieder Orte/Zeiten hoher  $\text{NO}_2$ -Werte gibt. Der Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messungen beträgt  $48,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Die fünfte und letzte Messfahrt fand von 16:52 bis 17:15 Uhr statt. Der Fahrtweg führte über den Rhein nach Deutz. Auch hier wurde wieder hauptsächlich Hauptverkehrsrouten gefolgt. Grafik 5.36 zeigt Fotos, die bei der Messfahrt entstanden. Die gemessenen  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen sind auf der Karte in Grafik 5.37 gezeigt. Hier sind, vermutlich auch durch den einsetzenden Feierabendverkehr, über Teile der Strecke konstanter höhere Werte zu verzeichnen. Im Mittel wurden  $67,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{NO}_2$  gemessen.



Abbildung 5.28: Fahrradmessung - Köln 1

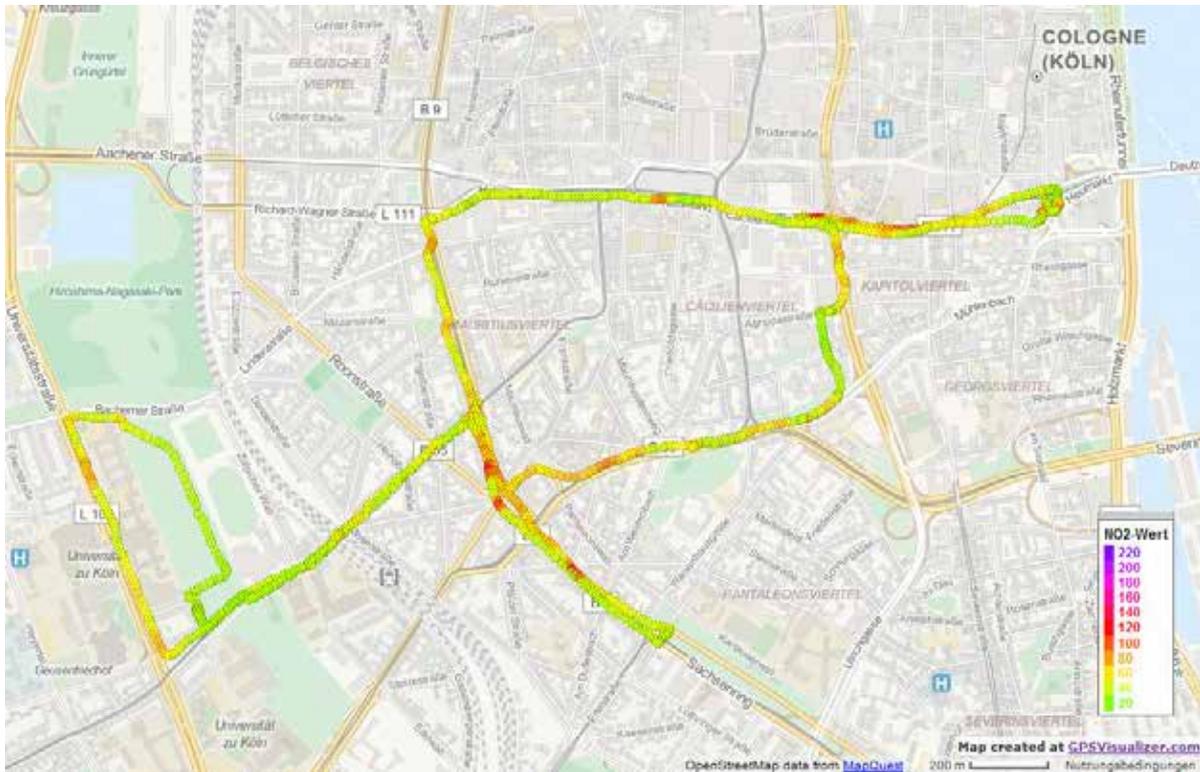


Abbildung 5.29: Fahrradmessung Köln 1. 15.2., 14:44 - 15:36. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $47,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Abbildung 5.30: Fahrradmessung - Köln 2

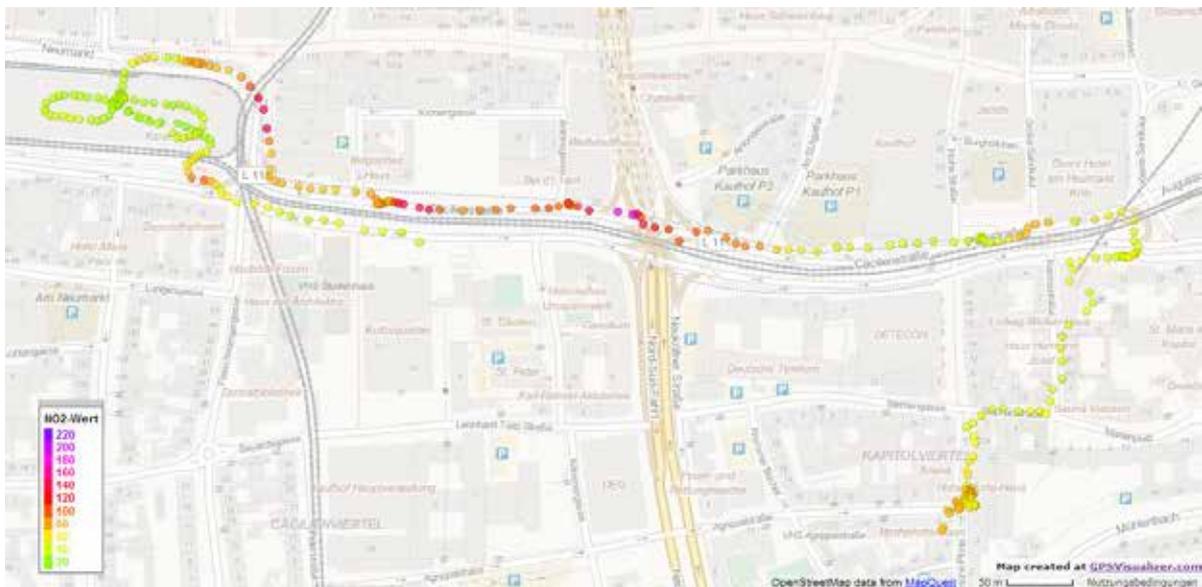


Abbildung 5.31: Fahrradmessung Köln 2. 16.2., 08:06 - 08:21. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $56,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Abbildung 5.32: Fahrradmessung - Köln 3

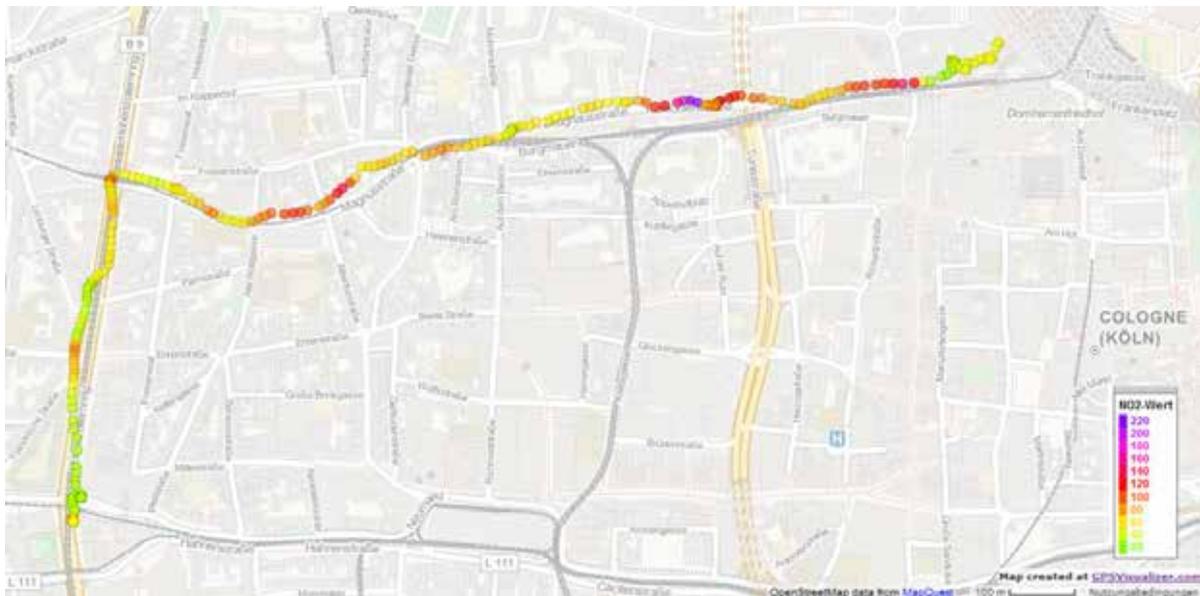


Abbildung 5.33: Fahrradmessung Köln 3. 16.2., 09:02 - 09:14. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $60,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Abbildung 5.34: Fahrradmessung - Köln 4



Abbildung 5.35: Fahrradmessung Köln 4. 16.2., 11:55 - 12:12. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $48,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Abbildung 5.36: Fahrradmessung - Köln 5

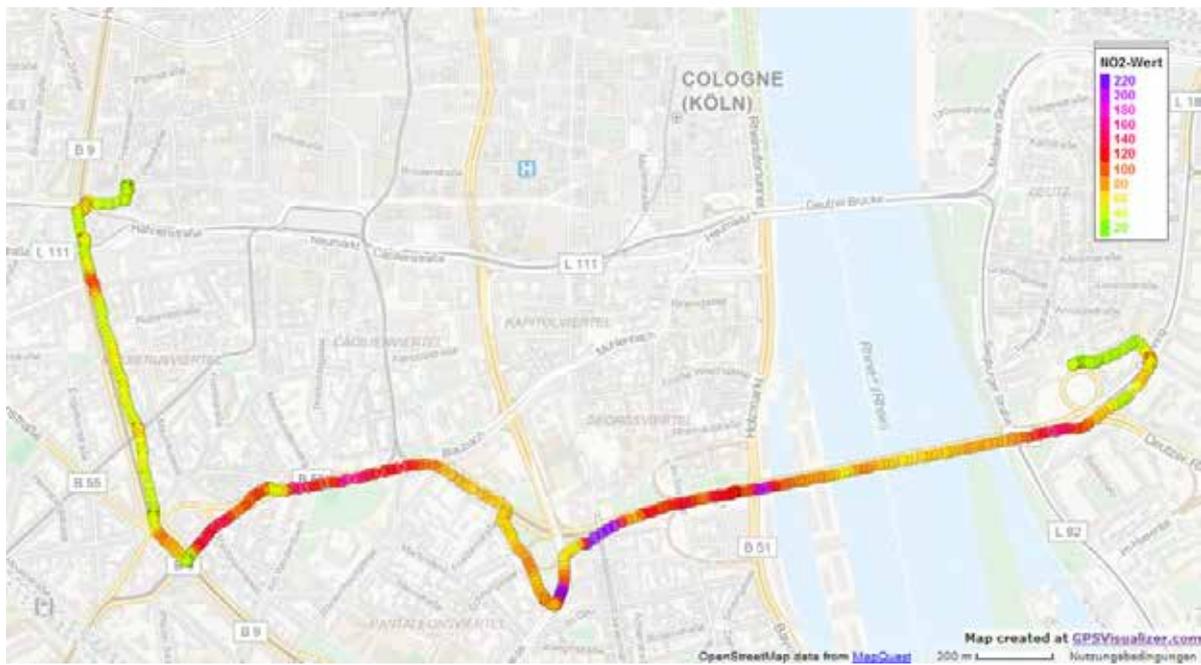


Abbildung 5.37: Fahrradmessung Köln 5. 16.2., 16:52 - 17:15. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $67,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5.8 Mainz

In Mainz konnten Messungen an 9 Orten sowie eine Fahrradmessung am 09.03.2016 durchgeführt werden. Der Tag war vergleichsweise warm und sonnig.

Mainz hat vier Umweltmessstationen, die mit ihren Details in Tabelle 5.8 wiedergegeben sind. Die ebenfalls angegebenen NO<sub>2</sub>-Tagesmittelwerte der Stationen zeigen über die Stadt verteilt ein uneinheitliches Bild der Belastung am Messtag: Während im Stadtteil Mainz-Mombach, an der Rheinallee und an der Zitadelle die Werte etwas erhöht sind, zeigt sich die Situation in der Parcusstraße gegenüber dem Jahreswert typisch.

Abbildung 5.38 enthält eine Karte mit einem Überblick über die in Mainz durchgeführten stationären Messungen und ihre Ergebnisse. Dabei sind schon die extrapolierten Jahresmittelwerte gezeigt.

In Mainz wurde eine starke Variation im Stadtgebiet gefunden. Mehrere Messorte zeigen sehr hohe NO<sub>2</sub>-Werte. Die Umweltmessstation Rheinallee stellt mit ihren hohen Werten für Mainz keine Ausnahme dar; an anderen Orten wurden noch höhere extrapolierte Jahresmittelwerte bestimmt. Diese lagen beispielsweise bei 96,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Ecke Brühler Straße/Bonner Straße und damit bis zu 59 % über denen der am stärksten belasteten Umweltmessstation Rheinallee. Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen bei starkem Straßenschluchtcharakter (Große Bleiche) zeigen die höchsten Werte, da hier die Emissionen besonders stark aufstauen. Insgesamt sind in Mainz aber keine Auffälligkeiten im Vergleich zum Messnetz der Umweltmessstationen beobachtet worden.

Stationscode	<b>DERP007</b>	<b>DERP010</b>	<b>DERP011</b>	<b>DERP009</b>
Stationsname	Mainz-Mombach	Mainz-Parcusstraße	Mainz-Rheinallee	Mainz-Zitadelle
Stationsumgebung	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet
Art der Station	Hintergrund	Verkehr	Verkehr	Hintergrund
Jahresmittelwert 2015 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>23</b>	<b>57</b>	<b>40</b>	<b>39</b>
Tagesmittel 9.3. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	34,6	56,6	60,7	46,0

Tabelle 5.8: Mainzer Messnetz.

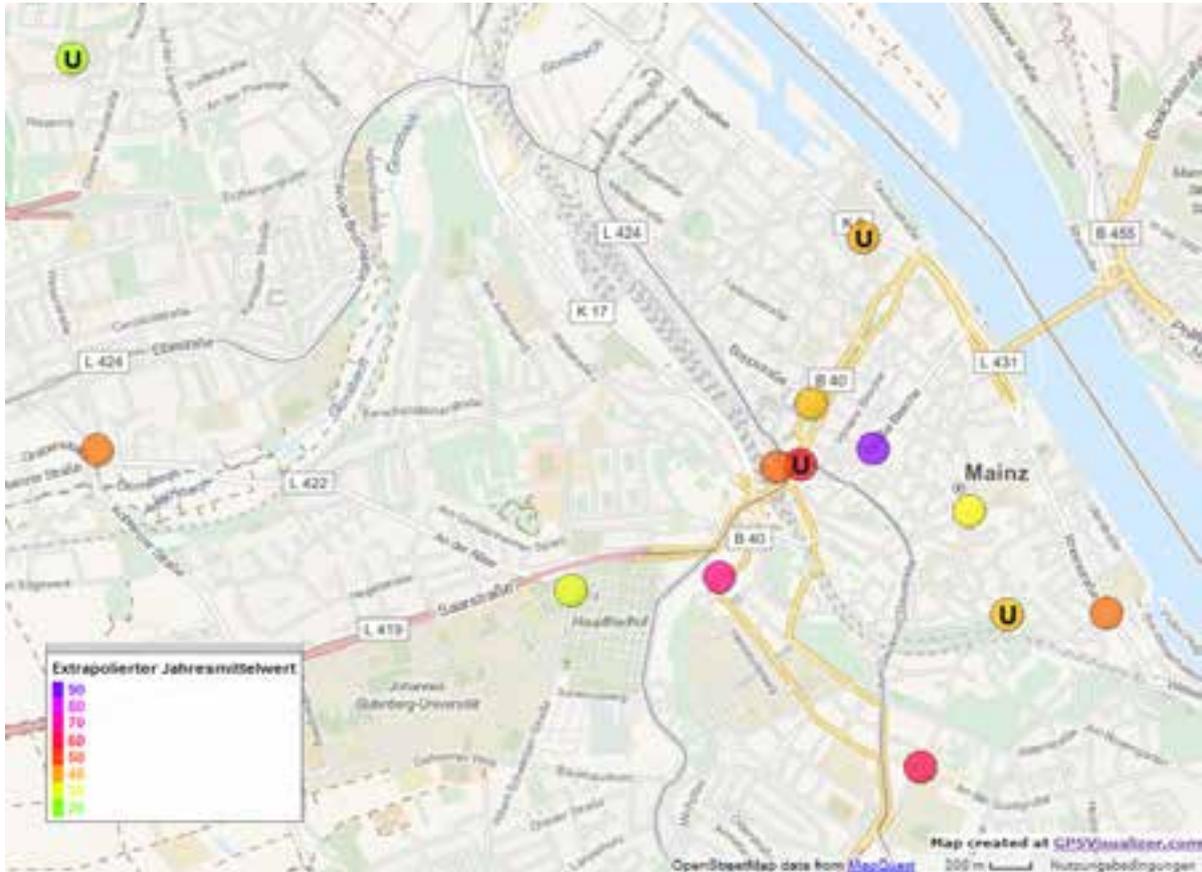


Abbildung 5.38: Karte der Messorte in Mainz mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die mit U bezeichneten Marker zeigen die Umweltmessstationen mit den jeweiligen Jahresmittelwerten von 2015.

## 5.8.1 Stationäre Messungen

### 5.8.1.1 Bahnhofsplatz



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	12:18 - 12:58
Latitude	50,000830
Longitude	8,259847
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>41,71</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	20,40
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	170,87
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>48,26</b>

Parkplatz neben dem Hauptbahnhof, Straße daneben geht leicht aufwärts und hat Busverkehr und etwas Autoverkehr. Messung mit Stativ auf dem Autodach, zur ruhigeren Mittagszeit.

### 5.8.1.2 Große Bleiche



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	13:08 - 13:51
Latitude	50,001547
Longitude	8,265729
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>85,67</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	20,06
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	646,12
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>90,80</b>

Eine der wichtigeren Straßen in der Innenstadt, jeweils eine Fahrspur in jede Richtung, umgeben von mehrstöckigen Wohnhäusern. Messung mit Stativ auf dem Autodach, zur ruhigeren Mittagszeit.

### 5.8.1.3 Rheinstraße



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	14:04 - 14:34
Latitude	49,995062
Longitude	8,280058
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>41,69</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	12,80
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	102,15
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>46,90</b>

Eine vielbefahrene Straße mit jeweils zwei Spuren in jede Richtung in Rheinnähe, Messung vor einer Ampel. Viele Bürogebäude. Am Messtag spürbarer Wind an Stellen, die offen in Richtung Rhein sind. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Trotz der Tageszeit (früher Nachmittag) hohes Verkehrsaufkommen, inklusive LKW-Verkehr.

### 5.8.1.4 Gutenbergplatz



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	14:43 - 15:13
Latitude	49,999087
Longitude	8,271668
Kategorie	B
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>26,51</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	13,39
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	503,46
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>32,09</b>

Fußgängerzone, nur Busverkehr. Offener Platz mit Fußgängern. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.8.1.5 Kaiserstraße 13



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	15:23 - 15:53
Latitude	50,003385
Longitude	8,261992
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>36,33</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	14,59
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	152,38
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>39,17</b>

Stark befahrene Straße mit zwei bis drei Fahrspuren in jede Richtung. Park mit Spielplatz zwischen den Fahrtrichtungen, außen hohe Wohngebäude. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Aufgrund der Tageszeit geringeres Verkehrsaufkommen.

### 5.8.1.6 Am Linsenberg



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	16:07 - 16:39
Latitude	49,996465
Longitude	8,256342
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>64,08</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	21,67
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	261,26
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>66,94</b>

Gewundene steile Straße den Berg hinauf, jeweils eine Spur in jede Richtung, umgeben von niedrigeren Wohnhäusern. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Durch die Ampelkreuzung am Fuß des Hügels moderierte periodische Gruppen von Verkehr, beginnende abendliche Berufsverkehrszeit.

### 5.8.1.7 Freiligrathstraße 12



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	16:49 - 17:19
Latitude	49,988907
Longitude	8,268702
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>59,84</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	21,41
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	567,32
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>59,56</b>

Stark befahrene große Straße umgeben von verschiedenen hohen Wohnhäusern. Standort eines Dialysezentrums. Messung mit Stativ auf dem Autodach, zur abendlichen Berufsverkehrszeit.

### 5.8.1.8 Albert-Schweitzer-Straße



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	17:35 - 18:06
Latitude	49,995952
Longitude	8,247197
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>49,46</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	26,27
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	128,78
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>44,86</b>

Messung vor dem Campus der Universität, Bushaltestelle, relativ offen. Zum Messzeitpunkt Baustelle auf der Straße mit Ampel, allerdings ohne schwere Baufahrzeuge. Messung mit Stativ auf dem Autodach, zur abklingenden abendlichen Berufsverkehrszeit.

### 5.8.1.9 Weserstraße



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	18:18 - 19:10
Latitude	50,001523
Longitude	8,218079
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>49.46</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	26.27
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	49.46
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>44.86</b>

Etwas außerhalb, eine der Hauptrouten zur Autobahn, dementsprechend gut befahren, obwohl der Messzeitraum schon nach der abendlichen Hauptverkehrszeit lag. Einspurig in jede Richtung. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.8.2 Fahrradmessung

Es wurde eine Messfahrt am 09.03.2016 von 08:04 bis 09:17 mit dem Fahrrad in Mainz durchgeführt. Der Messtag war sonnig und für die Jahreszeit relativ warm. Die Messstrecke beginnt im Süden und folgt den großen Einfallstraßen entlang der getrennten Radwege in die Innenstadt, dann folgt eine Rheinüberquerung. Karte 5.39 zeigt die Strecke zusammen mit den gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Der Mittelwert der gemessenen Konzentrationen liegt bei 53,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dafür, dass es sich um einen Tag mit niedrigen bis mittleren Konzentrationen (im Vergleich zum Jahresmittel) handelt, sind die Werte relativ hoch. Obwohl die Fahrradstrecke nicht nur entlang von Hauptverkehrsstraßen verlief, liegt der Mittelwert ähnlich hoch wie an den Verkehrsmessstationen. Dies zeigt, dass die hohen Stickstoffdioxidwerte nicht nur lokal an diesen Verkehrsmessstationen auftreten, sondern im ganzen Stadtgebiet vor allem auch Radfahrer betroffen sind. Aus der Verteilung der Konzentrationen in Karte 5.39 ist auch erkennbar, dass dies vor allem auf die Fahrradwege in der Innenstadt zutrifft.

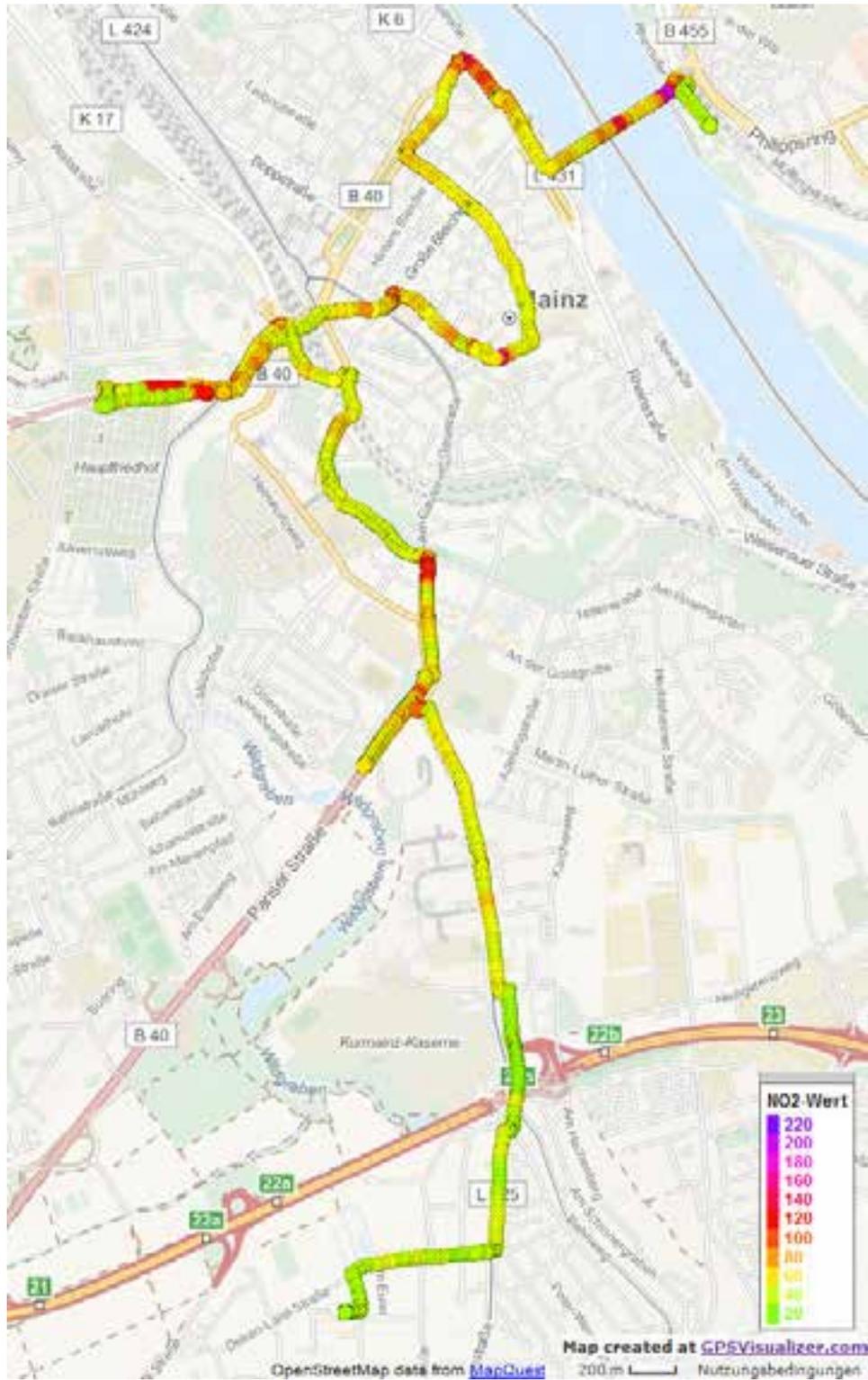


Abbildung 5.39: Fahrradmessung Mainz. 9.3., 08:04 - 09:17. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der NO<sub>2</sub>-Messdaten:  $53,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5.9 München

In München wurde an drei Tagen an 22 Punkten gemessen. Es wurden fünf Fahrradmessungen durchgeführt. Messtage waren der 24. und 25. sowie der 29.02.2016. Dabei war es am ersten Tag morgens regnerisch, später aufgelockert und sonnig. Der zweite Messtag begann trocken, allerdings folgte dann ab spätem Vormittag starker Schneefall. Das Wetter am letzten Messtag verlief ähnlich: Anfangs trocken, dann zunehmender Regen und am Ende Schneefall.

München hat fünf Umweltmessstationen, deren Details in Tabelle 5.9 angegeben sind. Anhand der ebenfalls aufgeführten Tagesmittelwerte lässt sich sehen, dass die NO<sub>2</sub>-Belastung an den Messtagen relativ typisch war und dem Jahresdurchschnitt entspricht. Die Hintergrundstationen haben dabei am zweiten der drei Messtage etwas erhöhte Werte gemessen. Die Karte in Abbildung 5.40 gibt einen Überblick über die stationären Messungen und die gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen.

In München wurden an den Hauptverkehrsstraßen oft sehr hohe NO<sub>2</sub>-Konzentrationen (ähnlich wie Umweltmessstation Landshuter Allee) gemessen. Dies zeigt, dass die hohen Werte dieser Messstation kein Einzelfall sind. Die Konzentrationen fallen jedoch deutlich abseits dieser Hauptverkehrsstraßen und belegen damit die deutlich geringere Belastung im städtischen Hintergrund in München. Dies ist vergleichsweise erfreulich und stimmt gut mit den Werten vergleichbarer Messstationen überein. Gezeigt werden kann damit auch, dass die hohen Werte an den Hauptverkehrsstraßen vor allem durch den lokalen Verkehr verursacht werden. Insgesamt sind in München daher keine Auffälligkeiten im Vergleich zum Messnetz der Umweltmessstationen beobachtet worden.

Stationscode	<b>DEBY189</b>	<b>DEBY089</b>	<b>DEBY115</b>	DEBY039	<b>DEBY037</b>
Stationsname	Allach	Johanneskirchen	Landshuter Allee	Lothstraße	Stachus
Stationsumgebung	vorstädtisches Gebiet	vorstädtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet
Art der Station	Hintergrund	Hintergrund	Verkehr	Hintergrund	Verkehr
Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>26</b>	<b>23</b>	<b>84</b>	<b>33</b>	<b>64</b>
Tagesmittel 24.2. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	26,7	24,0	81,7	35,5	62,8
Tagesmittel 25.2. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	36,0	29,3	85,3	43,1	68,2
Tagesmittel 29.2. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	26,8	26,9	72,4	34,6	57,3

Tabelle 5.9: Münchner Messnetz - Werte für 2015. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

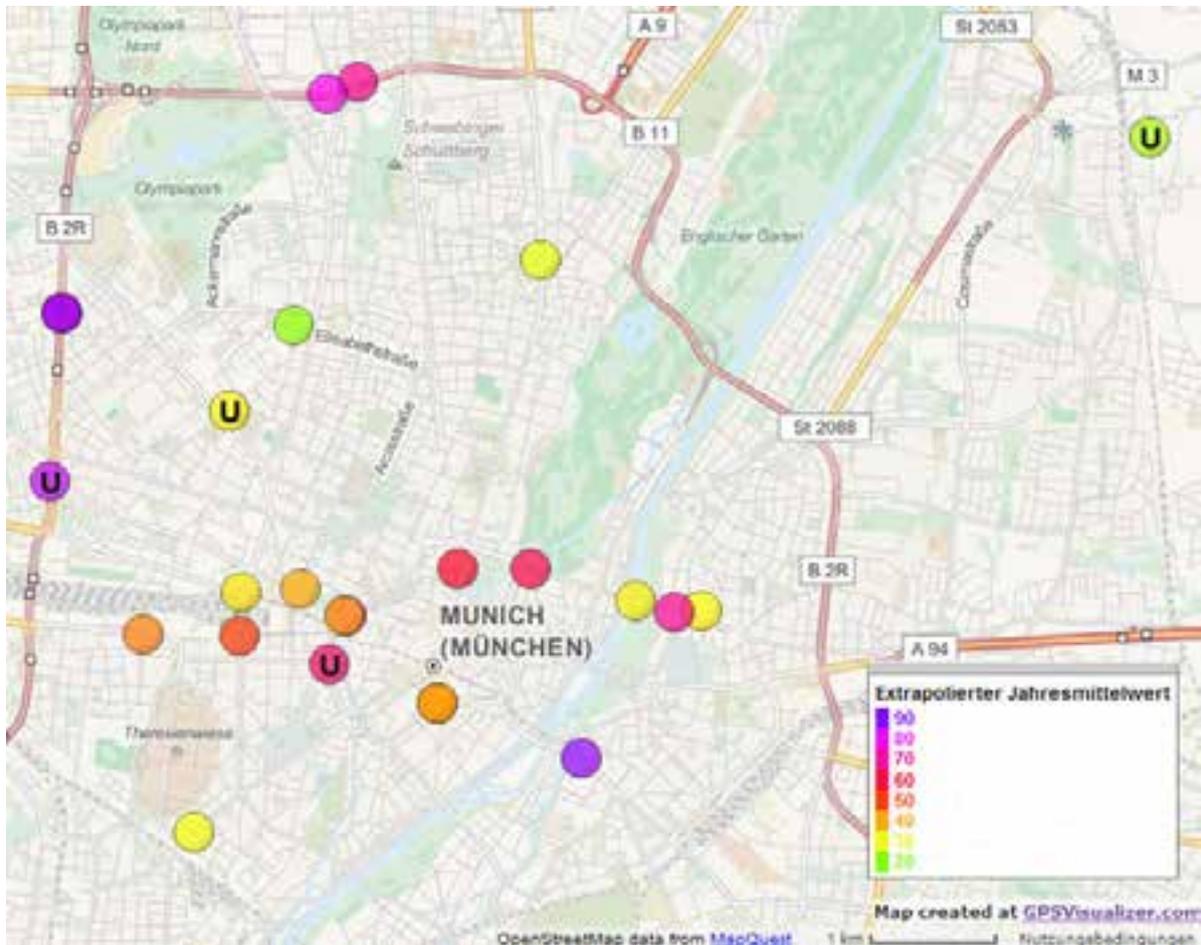


Abbildung 5.40: Karte der Messorte in München mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die mit U bezeichneten Marker zeigen die Umweltmessstationen mit den jeweiligen Jahresmittelwerten von 2015, wobei die Station München-Allach außerhalb des von der Karte abgedeckten Bereichs liegt.

## 5.9.1 Stationäre Messungen

### 5.9.1.1 Stachus



Datum	24.02.2016
Messzeit (MEZ)	09:54 - 10:24
Latitude	48,1405819221
Longitude	11,5664138422
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>53,05</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	27,82
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	172,46
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>38,50</b>

Große Hauptverkehrskreuzung mit mehreren Fahrspuren in jede Richtung, relativ offen, viele Fußgänger. Messung mit Stativ, zur abklingenden morgendlichen Berufsverkehrszeit.

### 5.9.1.2 Hauptbahnhof



Datum	24.02.2016
Messzeit (MEZ)	10:33 - 11:07
Latitude	48,1421886757
Longitude	11,555916188
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>47,88</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	16,98
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	122,94
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>34,18</b>

In jede Richtung mehrspurige Straße mit generell viel Verkehr, Straßenbahnen, gegenüber einem kurzen Tunnel unter Bahngleisen entlang, relativ offen. Messung mit Stativ. Zur Messzeit aufgrund der Tageszeit reduzierte Verkehrsmenge.

### 5.9.1.3 Schleßheimer Straße/Petuelring



Datum	24.02.2016
Messzeit (MEZ)	11:24 - 11:56
Latitude	48,1769560964
Longitude	11,5678138615
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>78,10</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	28,53
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	151,64
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>68,31</b>

Sehr große Kreuzung mit generell viel Verkehr, auch viele LKW, sehr offen, Messung an Ampel, mit Stativ. Gemessen zur ruhigeren Mittagszeit.

### 5.9.1.4 Leopoldstraße/Ungererstraße



Datum	24.02.2016
Messzeit (MEZ)	12:24 - 12:56
Latitude	48,1647996993
Longitude	11,5862475393
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>21,20</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	7,49
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	149,11
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>30,14</b>

Hauptverkehrsstraße mit mehreren Spuren in beide Fahrrichtungen, umgeben von höheren Wohnhäusern. An der Messstelle durch kleinen Park etwas offener. Messung mit Stativ auf Autodach, zur ruhigeren Mittagszeit.

### 5.9.1.5 Gasteig



Datum	24.02.2016
Messzeit (MEZ)	13:16 - 13:46
Latitude	48,1308000253
Longitude	11,5904369705
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>82,22</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	16,31
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	375,95
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>96,31</b>

Relativ steile Straße mit zwei Spuren und Radstreifen in jede Fahrriichtung. Von höheren Gebäuden umgeben. Messung mit Stativ auf Autodach. Trotz ruhigerer Mittagszeit mittleres Verkehrsaufkommen.

### 5.9.1.6 Schwere-Reiter-Straße/Winzererstraße



Datum	24.02.2016
Messzeit (MEZ)	14:14 - 14:44
Latitude	48,1604066957
Longitude	11,5611377293
Kategorie	B
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>16,34</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	6,65
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	68,72
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>21,86</b>

Park und Spielplatz, relativ offen, auf drei Seiten von kleineren Nebenstraßen und auf einer Seite von einer größeren Straße eingerahmt. Messung mit Stativ.

### 5.9.1.7 Karlsplatz



Datum	25.02.2016
Messzeit (MEZ)	08:11 - 08:50
Latitude	48,1405966506
Longitude	11,5665397913
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>91,50</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	50,34
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	248,97
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>70,91</b>

Eine der Hauptkreuzungen der Stadt mit mehrspurigem Verkehr in großen Mengen, relativ offen durch die große durch die Straßen eingenommene Fläche. Bild von Google Maps, der Messort ist mit einem roten Punkt markiert. Gemessen zur abklingenden morgendlichen Berufsverkehrszeit.

### 5.9.1.8 Bayerstraße/Paul-Heyes-Straße



Datum	25.02.2016
Messzeit (MEZ)	09:27 - 10:04
Latitude	48,1391290033
Longitude	11,55572975
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>71,57</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	35,90
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	156,53
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>50,16</b>

Kreuzung in Hauptbahnhofs-Nähe, mehrspurige Verkehrsführung. Hohe Gebäude, nicht sehr offen. Messung am Fahrrad, nach dem Abklingen des morgendlichen Berufsverkehrs.

### 5.9.1.9 Haus der Kunst



Datum	25.02.2016
Messzeit (MEZ)	10:27 - 10:47
Latitude	48,1437577244
Longitude	11,5852808914
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>93,06</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	27,91
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	145,54
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>61,49</b>

Mehrspurige Hauptverkehrsstraße, von der ein Teil hier in einen Tunnel unter der Oberfläche verschwindet. Relativ offen, Fahrradfahrer und Fußgänger. Messung am Fahrrad, gemessen zur relativ verkehrsarmen späten Vormittagszeit.

### 5.9.1.10 Friedensengel



Datum	25.02.2016
Messzeit (MEZ)	11:13 - 11:39
Latitude	48,1415682738
Longitude	11,5959640881
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>47,75</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	20,84
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	156,97
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>32,95</b>

Platz zwischen den beiden jeweils zweispurigen Fahrrichtungen um den Friedensengel herum, am Fluss auf der einen Seite und am Hang mit Wald auf der anderen, daher halboffen. An den Seiten gehen die Straßen relativ steil den Berg hoch bzw hinunter. Messung am Fahrrad, zur ruhigeren Mittagszeit.

### 5.9.1.11 Prinzregentenstraße



Datum	25.02.2016
Messzeit (MEZ)	11:44 - 12:06
Latitude	48,1408327605
Longitude	11,5999294588
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>97,35</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	34,23
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	236,87
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>68,66</b>

In jede Richtung zweispurige große Straße, teilweise von mehrstöckigen Wohnhäusern eingerahmt. Bild von Google Maps, der Messort ist mit einem roten Punkt markiert. Das Wetter auf dem Bild entspricht leider nicht der Messsituation, am Messtag fiel viel Schnee. Messung am Fahrrad, zur ruhigeren Mittagszeit.

### 5.9.1.12 Schumannstraße



Datum	25.02.2016
Messzeit (MEZ)	12:31 - 13:57
Latitude	48,1409001623
Longitude	11,602507701
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>43,80</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	22,75
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	349,05
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>32,32</b>

Ruhigere Nebenstraße, mit relativ enger Straßenschlucht und Fußgängerverkehr. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Wenig Verkehr aufgrund der Lage und Tageszeit.

### 5.9.1.13 Odeonsplatz



Datum	25.02.2016
Messzeit (MEZ)	14:09 - 14:52
Latitude	48,1437983333
Longitude	11,577865
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>63,66</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	25,31
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	195,28
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>57,55</b>

Halboffener Platz in der Stadtmitte, mit je zweispuriger Straße und halbhoheren repräsentativen Gebäuden. Messung mit Stativ. Zur generell verkehrsärmeren Nachmittagszeit gemessen.

### 5.9.1.14 Lindwurmstraße/Schmellerstraße



Datum	25.02.2016
Messzeit (MEZ)	15:09 - 15:40
Latitude	48,1257137752
Longitude	11,5511548952
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>44,26</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	17,11
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	80,73
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>30,58</b>

Nebenstraße zu einer der Hauptausfallstraßen der Stadt, ruhig. Umgeben von mehrstöckigen Wohnhäusern. Messung mit Stativ auf dem Autodach, zum einsetzenden abendlichen Berufsverkehr.

### 5.9.1.15 Landshuter Allee



Datum	25.02.2016
Messzeit (MEZ)	16:04 - 16:36
Latitude	48,1761329283
Longitude	11,564645921
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>115,58</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	35,89
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	221,81
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>77,13</b>

Eine der größten Schnellstraßen der Stadt, mit schnell fließendem Verkehr (falls gerade kein Stau ist), zur Hauptberufsverkehrszeit gemessen. An der Messstelle an einer Seite von einem Lärmschutzzaun begrenzt, auf der anderen Seite Bürogebäude und ein Fußweg. Messung mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.9.1.16 Viktualienmarkt



Datum	29.02.2016
Messzeit (MEZ)	08:39 - 09:09
Latitude	48,1346456234
Longitude	11,575767003
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>47,66</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	39,26
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	74,08
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>40,56</b>

Kleinere Straße mit dennoch relativ viel Verkehr durch die Lage bedingt, am Viktualienmarkt, ein offenerer Platz, umgeben von mittelhohen Gebäuden. Viele Fußgänger. Messung mit Stativ auf dem Autodach, während des abklingenden morgendlichen Berufsverkehrs.

### 5.9.1.17 Viktualienmarkt am Fahrrad



Datum	29.02.2016
Messzeit (MEZ)	09:15 - 09:50
Latitude	48,1346387389
Longitude	11,5757744059
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>52,61</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	28,97
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	231,73
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>42,61</b>

Kleinere Straße am Viktualienmarkt, lagebedingt jedoch mit relativ viel Verkehr, ein offenerer Platz, umgeben von mittelhohen Gebäuden. Viele Fußgänger. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Vgl. auch 5.9.1.17.

### 5.9.1.18 Elisenstraße



Datum	29.02.2016
Messzeit (MEZ)	10:25 - 11:02
Latitude	48,1423610027
Longitude	11,5618690127
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>45,55</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	33,22
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	95,92
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>39,33</b>

Offenerer mittelgroßer Platz an einer größeren Straße, an den anderen Seiten kleinere Straßen. Standort einer Schule. Bild von Google Maps, der Messort ist mit einem roten Punkt markiert. Das Wetter auf dem Bild entspricht leider nicht der Messsituation, am Messtag fiel viel Schnee. Messung am Fahrrad, zur späten Vormittagszeit und dementsprechend geringerem Verkehrsaufkommen.

### 5.9.1.19 Landshuterallee - unter Brücke I



Datum	29.02.2016
Messzeit (MEZ)	12:57 - 13:22
Latitude	48,1612272699
Longitude	11,5377513027
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>87,73</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	48,53
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	133,07
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>69,75</b>

Eine der größten Schnellstraßen der Stadt, mit schnell fließendem Verkehr (falls gerade kein Stau ist). Messung unter einer Fußgängerbrücke, am Fahrrad, nahe dem Pfeiler mit verhältnismäßig großem Abstand zum Verkehr. Gemessen zur generell ruhigeren Mittagszeit, was aus der Verkehrssituation aber nicht ersichtlich war. Vgl auch 5.9.1.20 und 5.9.1.21.

### 5.9.1.20 Landshuterallee - auf Brücke



Datum	29.02.2016
Messzeit (MEZ)	13:30 - 13:44
Latitude	48,1611036287
Longitude	11,5376052646
Kategorie	C
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>42,44</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	31,23
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	83,19
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>33,85</b>

Eine der größten Schnellstraßen der Stadt, mit schnell fließendem Verkehr (falls gerade kein Stau ist). Messung in der Mitte der Fußgängerbrücke über die Straße, am Fahrrad. Vgl auch 5.9.1.19 und 5.9.1.21.

### 5.9.1.21 Landshuterallee - unter Brücke II



Datum	29.02.2016
Messzeit (MEZ)	13:48 - 14:15
Latitude	48,1611245941
Longitude	11,5376881208
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>108,70</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	48,75
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	195,38
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>88,73</b>

Eine der größten Schnellstraßen der Stadt, mit schnell fließendem Verkehr (falls gerade kein Stau ist). Messung unter einer Fußgängerbrücke in Straßennähe, am Fahrrad. Vgl auch 5.9.1.19 und 5.9.1.20.

### 5.9.1.22 Holzapfelstraße



Datum	29.02.2016
Messzeit (MEZ)	14:59 - 16:20
Latitude	48,1392506659
Longitude	11,5459334476
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>51,74</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	38,76
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	65,29
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>45,46</b>

Seitenstraße zu einer Hauptverkehrsstraße mit viel Verkehr, hier nur geringes Transportaufkommen. Hohe dicht stehende Wohnhäuser. Das Stativ ist auf dem Bild schon abgebaut, befand sich aber auf dem Autodach. Anfangs ruhigere Verkehrssituation, später einsetzender Berufsverkehr.

## 5.9.2 Fahrradmessungen

In München gab es fünf Fahrradmessungen an drei Messtagen.

Am ersten Messtag, dem 24.02.2016, wurde von 17:47 bis 19:39 eine längere Messfahrt im Innenstadtbereich durchgeführt. Während der Messfahrt war es kalt, aber trocken. Die Fotos in Abbildung 5.41 wurden während der Fahrt aufgenommen. Die Karte in Abbildung 5.42 zeigt die Messstrecke und die jeweils gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Es wird deutlich, dass die Belastung während der ganzen Strecke gleichmäßig hoch war. Im Mittel wurde eine Konzentration von 108,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> gemessen.

Am zweiten Messtag, dem 25.02.2016, gab es drei Messfahrten, jeweils zum Ortswechsel. Die erste davon fand von 8:00 bis 08:11 Uhr statt und führte von der Kreuzung Lindwurmstraße/Schmellerstraße zum Karlsplatz. Während der Fahrt schneite es stark, was auch auf den Fotos in Abbildung 5.44 ersichtlich ist, die während der Fahrt aufgenommen wurden. Die Karte in Abbildung 5.43 zeigt eine Übersicht der Messstrecke und den jeweils gemessenen NO<sub>2</sub>-Werten. Auch hier zeigt sich eine relativ gleichmäßig hohe Belastung. Der Mittelwert der Messwerte ist 98,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Die zweite Messfahrt des zweiten Messtags wurde von 09:18 bis 09:25 durchgeführt. Sie führte vom Stachus zur Bayerstraße. Inzwischen hatte sich der Schnee der vorherigen Messung in Schneeregen verwandelt und auf dem Boden lag Schneematsch, wie auf den Fotos in Abbildung 5.45 gut zu sehen ist. Die Übersichtskarte ist in Abbildung 5.46 gezeigt. In diesem Fall ist die Belastung weniger gleichmäßig: In der ersten Fahrthälfte ist die Konzentration vergleichsweise niedrig bis auf eine größere Spitze am Hauptbahnhof, im letzten Drittel liegen die Werte höher. Im Mittel wurde eine Konzentration von 72,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> gemessen.

Die dritte und letzte Messfahrt des zweiten Messtages fand von 10:49 bis 11:09 Uhr statt und führte vom Haus der Kunst zum Friedensengel. Der Schneeregen war an dieser Stelle wieder in Schneefall übergegangen und es war insgesamt relativ nass. Die Messstrecke und die zur Fahrtzeit gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind in Abbildung 5.47 gezeigt. Auch hier schwankte die Belastung stärker. Im Mittel wurde eine Konzentration von 87,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> gemessen, obwohl der Berufsverkehr bereits abgeklungen war.

Die insgesamt fünfte Messfahrt fand am 29.02.2016 von 12:23 bis 12:42 Uhr statt und führte vom Alten Botanischen Garten zu einer Fußgängerbrücke über die Landshuter Allee. Der Messtag begann trocken; gegen Mittag begann es zu regnen und am Abend stark zu schneien. Zur Messzeit regnete es schon in mittlerer Stärke. Die Karte in Abbildung 5.48 zeigt die Messstrecke und die gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Während im ersten Teil der Fahrt die Belastung relativ gleichmäßig schwankt, ist sie im letzten Teil entlang der Landshuter Allee deutlich erhöht. Im Mittel beträgt die gemessene NO<sub>2</sub>-Konzentration 76,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Insgesamt zeigen die Fahrradmessungen eine sehr hohe Belastung für Radfahrer in München. Die Stadt hat zwar ein sehr gut ausgebautes vorbildliches Fahrradwegenetz, jedoch sind viele Fahrradwege direkt an bzw. auf der Hauptverkehrsstraße. Damit sind Radfahrer den hohen Verkehrsemissionen direkt ausgesetzt. Es ergeben sich für mehrere Strecken eine sogar höhere Belastung für die Radfahrer als sie im Mittel an den Hauptverkehrsstraßen von den Messstationen erfasst wird. Regelmäßig wurden Konzentrationen über 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bestimmt. Damit weist München eine sehr hohe gesundheitsgefährdende Belastung für Radfahrer auf.

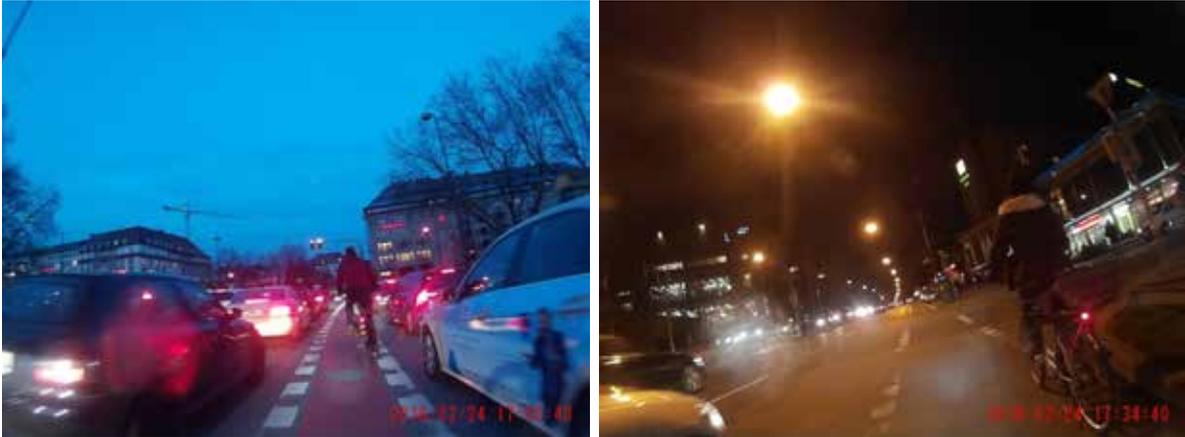


Abbildung 5.41: Fahrradmessung - München 1

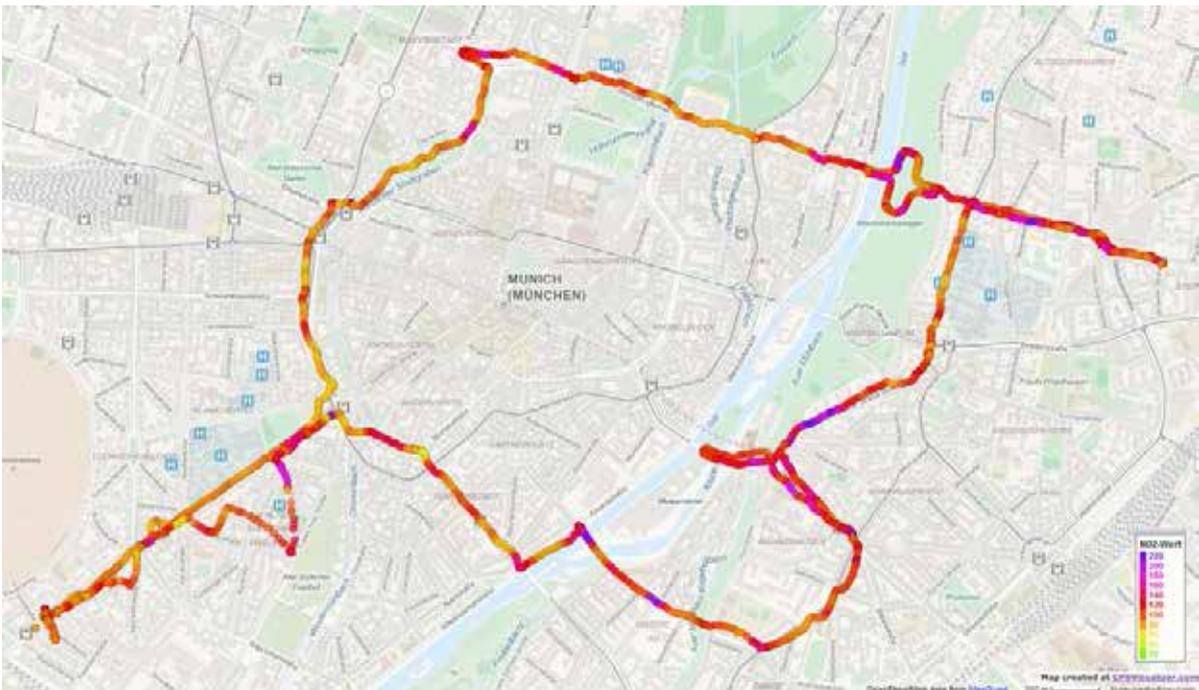


Abbildung 5.42: Fahrradmessung München 1, Innenstadtmessung. 24.2., 17:47 - 19:39. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $108,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

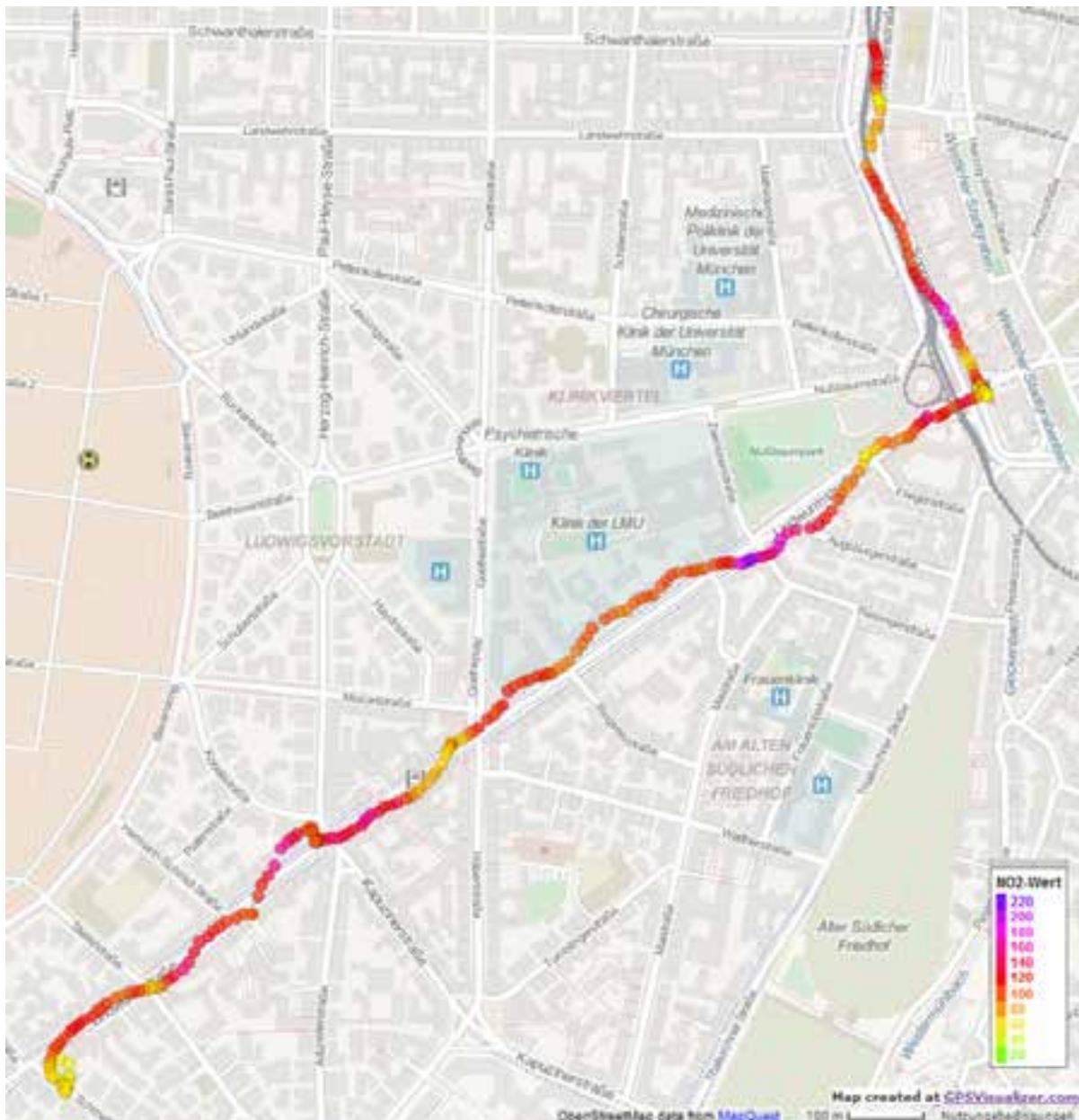


Abbildung 5.43: Fahrradmessung München 2. Fahrt zum Karlsplatz. 25.2.2016, 08:00 - 08:11. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $98,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Abbildung 5.44: Fahrradmessung - München 2



Abbildung 5.45: Fahrradmessung - München 3

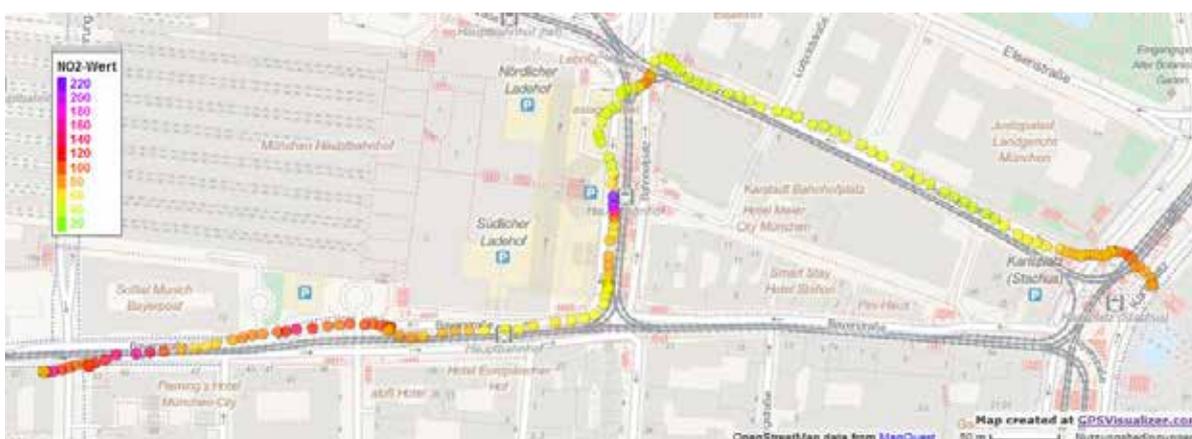


Abbildung 5.46: Fahrradmessung München 3. Fahrt zur Bayerstraße. 25.2.2016, 09:18 - 09:25. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $72,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

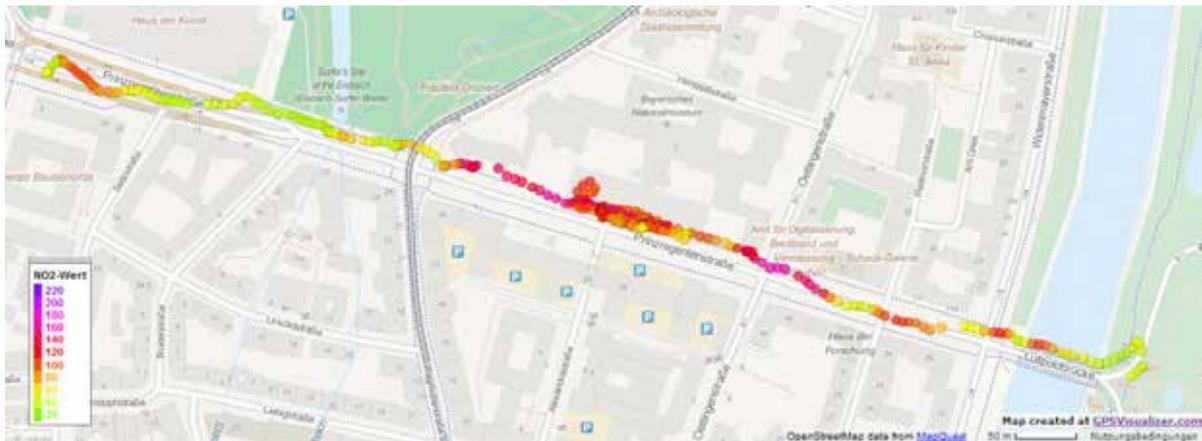


Abbildung 5.47: Fahrradmessung München 4. Fahrt zum Friedensengel. 25.2.2016, 10:49 - 11:09. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $87,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

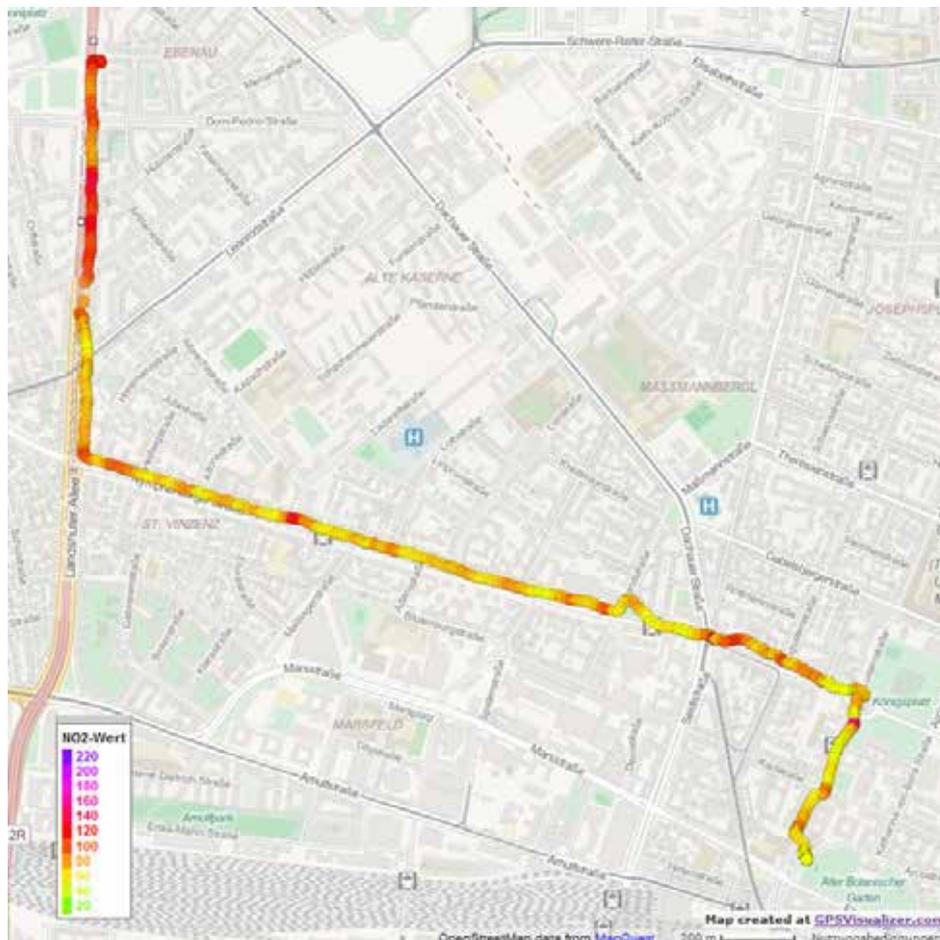


Abbildung 5.48: Fahrradmessung München 5. Fahrt zur Landshuter Allee. 29.2.2016, 12:23 - 12:42. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $76,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5.10 Stuttgart

Stuttgart wurde an zwei Messtagen abgedeckt, 14. und 17.03.2016. Insgesamt wurde dabei an 13 stationären Orten gemessen und eine Fahrradmessung durchgeführt. An beiden Messtagen war es sonnig und relativ warm. Am 14.03. war es zudem etwas windig.

In Stuttgart gibt es vier Umweltmessstationen. Detailliertere Informationen sind in Tabelle 5.10 gezeigt. Es wurden die Tagesmittelwerte der Stationen für die Messtage berechnet. Im Vergleich mit dem ebenfalls angegebenen Jahresmittel zeigt sich, dass die Werte im Wesentlichen ähnlich zu den Jahresmittelwerten waren.

Jedoch wird deutlich, dass die NO<sub>2</sub>-Belastung etwas etwas untypisch sind, da zwei der Verkehrsstationen im Tagesmittel erhöhte Werte gegenüber dem Jahresmittelwert aufweisen, eine aber klar darunter liegt. Am zweiten Messtag war die Belastung gegenüber dem ersten insbesondere im Hintergrund etwas höher. Hauptursache ist wahrscheinlich die Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit für die Messstation Arnulf-Klett-Platz zwischen Hauptverkehrsstraße und Fußgängerzone.

Die Karte in Abbildung 5.49 zeigt einen Überblick über die in Stuttgart durchgeführten stationären Messungen. Ebenfalls dargestellt sind die Ergebnisse in Form der extrapolierten Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen.

Insgesamt zeigt sich, dass die Stickstoffdioxidbelastung in Stuttgart zwar hoch ist, aber die Orte an den Umweltmessstationen die absolut höchste Belastung in Stuttgart darstellen. Die extrapolierten Jahresmittelwerte liegen trotzdem flächendeckend (fast überall) über 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Somit ist auch abseits der Hauptverkehrsstraßen von einer sehr bedenklich hohen Gesundheitsbelastung auszugehen. Darüber hinaus ist die städtische Hintergrundkonzentration in Stuttgart nicht ausreichend bestimmt. Daher wird oft das Risiko für einen großen Teil der Bevölkerung unterschätzt.

Stationscode	DEBW118	DEBW013	DEBW116	DEBW099
Stationsname	Am Neckartor (S)	Bad Cannstatt	Hohenheimer Straße (S)	Arnulf-Klett-Platz
Stationsumgebung	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet
Art der Station	Verkehr	Hintergrund	Verkehr	Verkehr
Jahresmittelwert 2015 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>87</b>	<b>32</b>	<b>77</b>	<b>61</b>
Tagesmittel 14.3. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	96,6	23,8	98,3	37,3
Tagesmittel 17.3. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	99,0	38,3	99,2	55,4

Tabelle 5.10: Stuttgarter Messnetz.

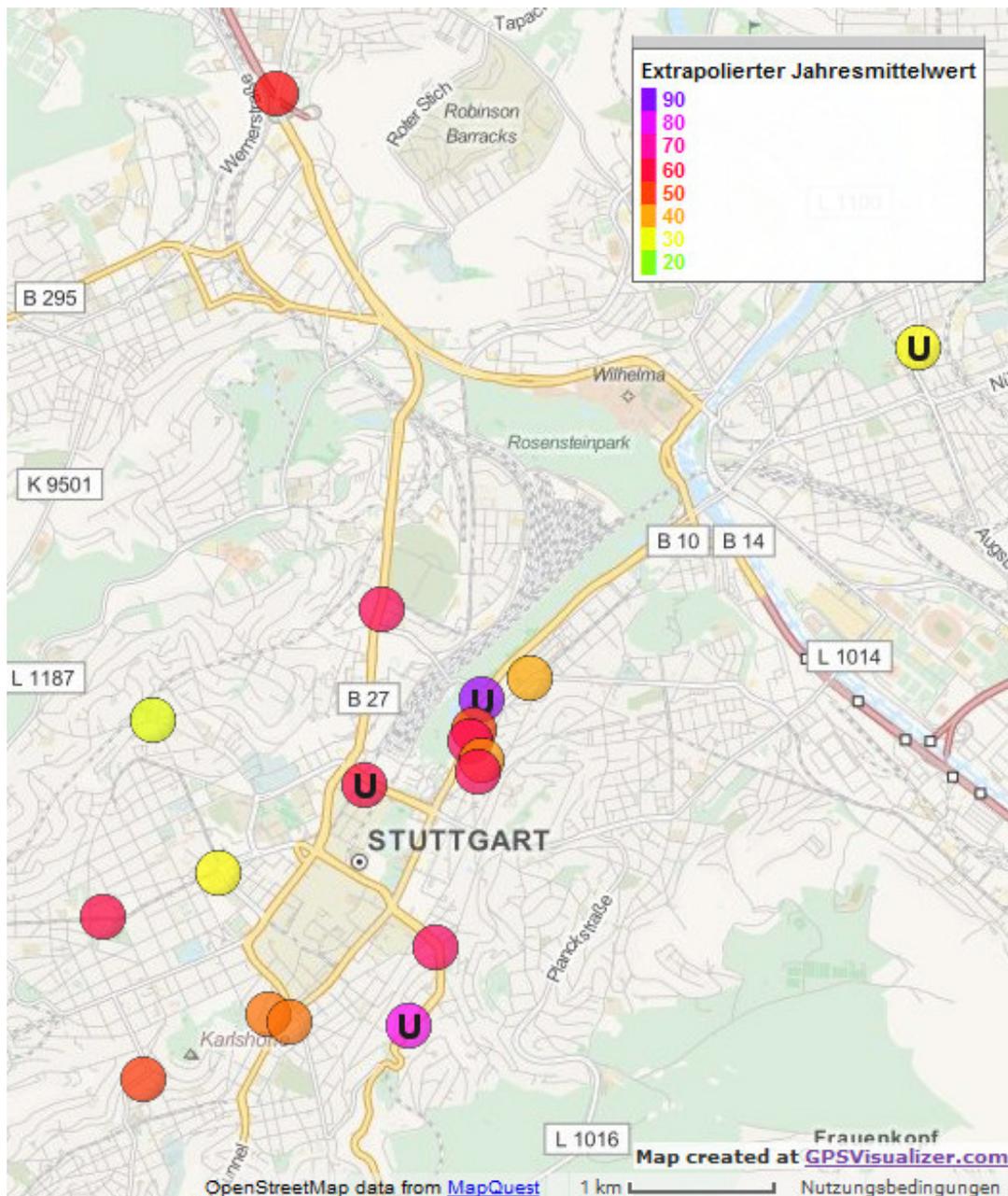


Abbildung 5.49: Karte der Messorte in Stuttgart mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu g/m^3$ . Die mit U bezeichneten Marker zeigen die Umweltmessstationen mit den jeweiligen Jahresmittelwerten von 2015.

## 5.10.1 Stationäre Messungen

### 5.10.1.1 Ludwigsburger Straße



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	08:05 - 08:36
Latitude	48,823891
Longitude	9,1725256824
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>73,12</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	13,31
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	503,02
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>54,94</b>

Vielbefahrene Straße mit zwei Spuren in jeder Richtung, Messung bevor die Straße unter einer Brücke und zwischen dazugehörigen Böschungen verläuft. Messung mit Stativ zur Berufsverkehrszeit.

### 5.10.1.2 Heilbronner Straße



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	08:56 - 09:29
Latitude	48,793368
Longitude	9,182037
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>73,12</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	13,67
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	239,01
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>61,23</b>

Eine der Haupteinfallsstraßen, mehrspuriger Verkehr in beide Richtungen, Straße geht bergauf, Messung bei einer Bushaltestelle, mehrstöckige Wohnhäuser rahmen die Straße. Messung mit Stativ zur abklingenden Berufsverkehrszeit.

### 5.10.1.3 Urbanstraße



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	09:48 - 10:08
Latitude	48,784445
Longitude	9,190860
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>18,36</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	11,12
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	41,17
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>41,76</b>

Nebenstraße im Wohngebiet, etwas am Hang gelegen, von Gebäuden umgeben, zu einer ruhigeren Tageszeit gemessen, mit Stativ auf dem Autodach.

### 5.10.1.4 Kernerstraße



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	10:13 - 10:43
Latitude	48,785564
Longitude	9,189902
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>64,74</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	14,57
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	185,59
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>63,36</b>

Eine der Hauptaussfallstraßen, geht zum Tunnel, viel Verkehr, auch Lastwagen, mehrspurig. Messung mit Stativ. Trotz an sich ruhigerer Tageszeit sehr viel Durchgangsverkehr.

### 5.10.1.5 Neckarstraße 149



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	10:52 - 11:23
Latitude	48,789387
Longitude	9,195266
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>21,20</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	9,52
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	116,94
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>40,94</b>

Große Straße, Straßenbahnhaltestelle, Gymnasium. Messung mit Stativ, zur ruhigeren Zeit um Mittag herum, daher reduziertes Verkehrsaufkommen.

### 5.10.1.6 Bebelstraße/Schwabstraße



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	11:32 - 12:03
Latitude	48,775169
Longitude	9,157022
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>28,54</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	9,86
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	104,03
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>59,47</b>

Größere Straße in der Stadt mit zwei Spuren in jeder Richtung und Straßenbahnschienen dazwischen. Standort einer Schule. Messung mit Stativ auf dem Autodach, zur ruhigeren Mittagszeit.

### 5.10.1.7 Herdweg



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	12:14 - 12:48
Latitude	48,786824
Longitude	9,161496
Kategorie	C
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>13,91</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	5,88
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	123,85
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>28,69</b>

In jede Richtung einspurige Straße am Hang, umgeben von niedrigen Gebäuden. Standort einer Schule. Messung mit Stativ auf dem Autodach, zur verkehrsrärmeren Mittagszeit.

### 5.10.1.8 Berliner Platz



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	12:58 - 13:28
Latitude	48,777826
Longitude	9,167436
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>37,84</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	11,42
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	104,50
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>32,00</b>

Eine der Hauptkreuzungen der Stadt, mit mehrspurigen Straßen in alle Richtungen, Straßenbahnhaltestelle, offener Platz, viele Fußgänger. Messung mit Stativ, zur ruhigeren Mittagszeit.

### 5.10.1.9 Charlottenplatz



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	13:42 - 14:13
Latitude	48,768963
Longitude	9,173727
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>55,48</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	6,07
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	164,08
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>44,96</b>

Eine der Hauptkreuzungen der Stadt, mit Straßenunterführung vor der Kreuzung. Messung vor Ampel mit Stativ auf dem Autodach, zur ruhigeren Mittagszeit.

### 5.10.1.10 Neckartorbahnhof



Datum	17.03.2016
Messzeit (MEZ)	09:07 - 09:27
Latitude	48,786292
Longitude	9,190164
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>60,01</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	22,52
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	159,88
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>49,60</b>

Sehr große mehrspurige sehr stark befahrene Straße, U-Bahn-Haltestelle. Messung mit Stativ, während der abklingenden morgendlichen Berufsverkehrszeit.

### 5.10.1.11 Landhausstraße



Datum	17.03.2016
Messzeit (MEZ)	10:10 - 10:45
Latitude	48,783777
Longitude	9,190509
Kategorie	C
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>45,71</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	31,83
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	96,46
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>61,27</b>

Straße im Wohngebiet, vor offenem Platz, davor mehrstöckige Wohnhäuser. Messung mit Stativ. Aufgrund der Lage und Tageszeit wenig Verkehr.

### 5.10.1.12 Hohenheimer Straße/Olgaeck



Datum	17.03.2016
Messzeit (MEZ)	11:08 - 11:37
Latitude	48,773397
Longitude	9,286827
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>57,24</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	20,08
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	209,37
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>62,09</b>

Viel befahrene Straße mit zwei Spuren in jede Richtung, am Hang. Bebaut mit höheren Häusern. Messung mit Stativ, zur ruhigeren Vormittagszeit.

### 5.10.1.13 Tübinger Straße 38



Datum	17.03.2016
Messzeit (MEZ)	12:13 - 12:37
Latitude	48,769484
Longitude	9,171908
Kategorie	C
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>29,09</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	19,71
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	45,38
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>44,96</b>

Ruhigere Seitenstraße, Standort eines Gymnasiums. Messung mit Stativ. Aufgrund der Lage und Tageszeit der Messung sehr wenig Verkehr.

### 5.10.1.14 Schickhardtstraße 30



Datum	17.03.2016
Messzeit (MEZ)	12:56 - 13:23
Latitude	48,765630
Longitude	9,160681
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>41,79</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	18,73
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	476,97
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>50,46</b>

Am Hang, Straße in jede Richtung einspurig, ausreichend Verkehr. Standort einer Schule; aufgrund der Tageszeit viele Schüler als Fußgänger und Passagiere der Busse. Messung mit Stativ.

## 5.10.2 Fahrradmessung

In Stuttgart wurde eine Fahrradmessung am 17.03.2016 von 08:25 bis 09:03 Uhr durchgeführt. Am Messtag war das Wetter klar und sonnig. Die Messstrecke führte von Bad Cannstatt im Nordosten zum Neckartorbahnhof im Südwesten. Sie folgte dabei zunächst einer großen Straße, nach Überquerung des Neckars wurde der Radweg durch einen Park geleitet und dann wieder auf eine große Straße. Die Fotos in Grafik 5.50 wurden während der Messung aufgenommen. Die Strecke ist mit den gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf der Karte in Grafik 5.51 gezeigt. Aus den Messwerten werden die Unterschiede



Abbildung 5.50: Fahrradmessung - Stuttgart

zwischen den Teilen auf der Straße und im Park sehr deutlich. Der Mittelwert der gemessenen Konzentrationen liegt bei  $69,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wobei dies die Messungen im Park mit einschließt - der Teil der Straßen liegt also noch einmal deutlich höher. Insgesamt ist zusammenzufassen, dass bei dem schlecht ausgebauten Fahrradwegesystem in Stuttgart die genutzte Fahrradstrecke vorwiegend auf der Straße führt, wo die Werte sehr hoch sind. Somit ist eine grundsätzlich sehr hohe Belastung von Fahrradfahrern in Stuttgart festzustellen.



Abbildung 5.51: Fahrradmessung Stuttgart. 17.3.2016, 08:25 - 09:03. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten:  $69,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5.11 Tübingen

In Tübingen wurde insgesamt an 8 Messpunkten stationär gemessen, davon an einem Messtag, dem 15.03.2016, an 7 Punkten. Eine stationäre Messung fand zudem am Vortag, dem 14.03., statt. Zusätzlich gab es eine Fahrradmessung.

Die Stadt hat zwei Umweltmessstationen. Die Tabelle 5.11 gibt weitere Informationen dazu an. Es sind auch die Tagesmittelwerte der von den Stationen gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen für die Messtage berechnet worden. Anhand dieser lässt sich erkennen, dass zwar am 14.03. die Belastung im Vergleich zu den ebenfalls angegebenen Jahresmittelwerten typisch ist, am 15.03. aber deutlich erhöht. Dies wird bei der Umrechnung zu extrapolierten Jahresmittelwerten korrigiert.

5.52 zeigt eine Karte mit den extrapolierten Jahresmittelwerten an den jeweiligen Orten der stationären Messungen.

Tübingen zeigt daher nur lokal sehr hohe Stickstoffdioxidkonzentrationen entlang der zentralen Hauptverkehrsstraßen auf, wie auch von den Umweltmessstationen erfasst. Ansonsten ist eine erfreulich mäßige Belastung anzutreffen. Somit kann in Tübingen vor allem durch Handeln an den betroffenen Straßenabschnitten die Stickstoffdioxidbelastung reduziert werden. Es wurden damit keine Auffälligkeiten im Vergleich zum Messnetz der Umweltmessstationen beobachtet.

Stationscode	<b>DEBW107</b>	<b>DEBW136</b>
Stationsname	Tübingen	Tübingen Mühlstraße (S)
Stationsumgebung	vorstädtisches Gebiet	städtisches Gebiet
Art der Station	Hintergrund	Verkehr
Jahresmittelwert 2015 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>22</b>	<b>50</b>
Tagesmittel 14.3. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	25,5	49,5
Tagesmittel 15.3. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	44,2	67,3

Tabelle 5.11: Tübinger Messnetz.

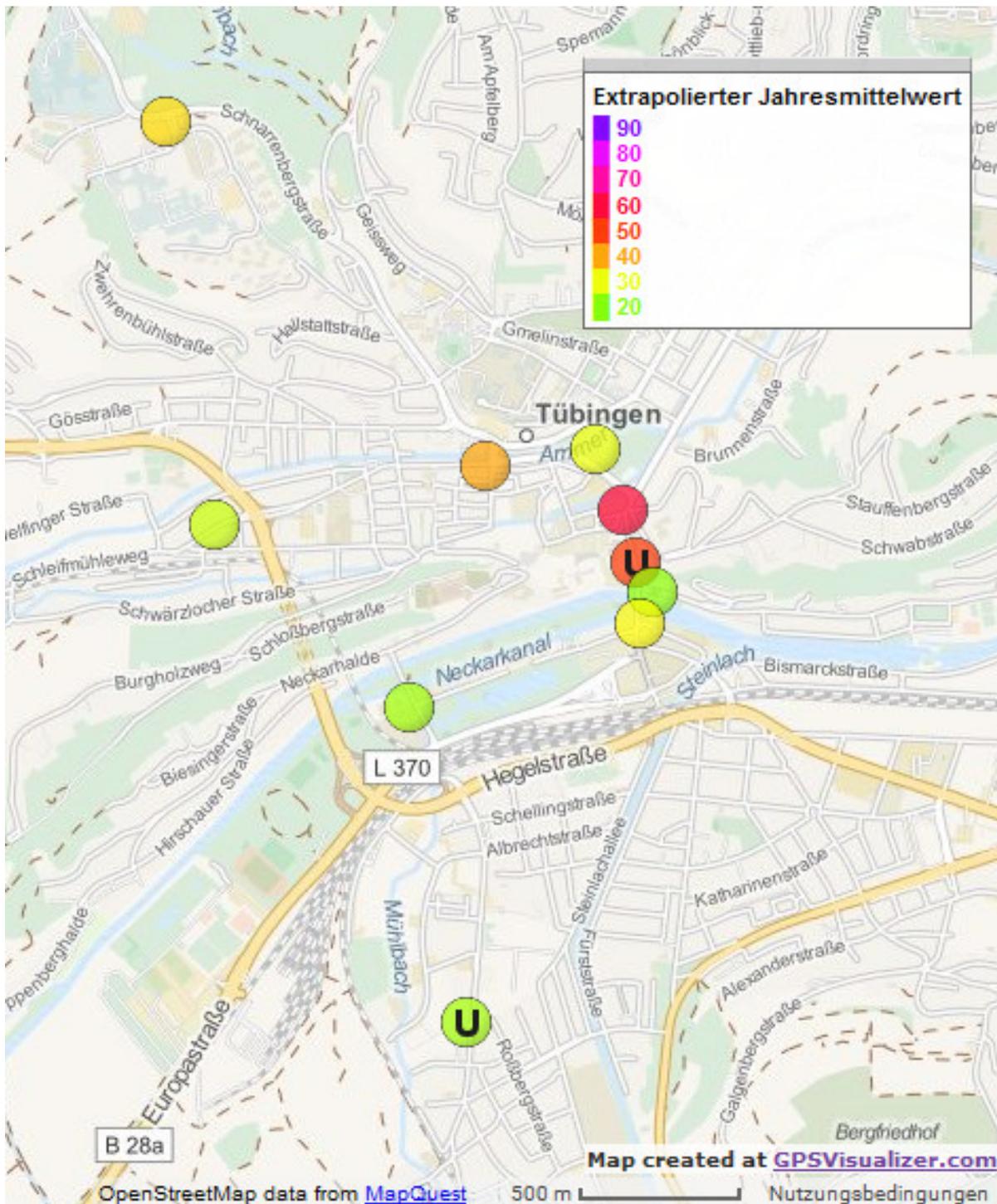


Abbildung 5.52: Karte der Messorte in Tübingen mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die mit U bezeichneten Marker zeigen die Umweltmessstationen mit den jeweiligen Jahresmittelwerten von 2015.

## 5.11.1 Stationäre Messungen

### 5.11.1.1 Westbahnhofstraße



Datum	14.03.2016
Messzeit (MEZ)	17:50 - 18:19
Latitude	48,521200
Longitude	9,040868
Kategorie	C
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>34,67</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	21,05
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	88,50
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>25,74</b>

Nebenstraße im Wohngebiet, relativ offen. Messung mit Stativ, nach der schon abgeklungenen Hauptberufsverkehrszeit.

### 5.11.1.2 Universitätsklinikum



Datum	15.03.2016
Messzeit (MEZ)	09:12 - 09:40
Latitude	48,532130
Longitude	9,038950
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>57,88</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	37,50
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	108,50
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>35,34</b>

Stark befahrene Straße, sehr offen, Standort einer großen Klinik. Messung mit Stativ, zur abklingenden morgendlichen Hauptberufsverkehrszeit.

### 5.11.1.3 Am Lustnauer Tor



Datum	15.03.2016
Messzeit (MEZ)	10:06 - 10:50
Latitude	48,521584
Longitude	9,057451
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>85,81</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	41,89
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	510,45
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>59,23</b>

Dicht bebaut, Hauptverkehrsstraße, eine der zentralen Kreuzungen der Stadt. Messung am Fahrrad. Im Messzeitraum war der Berufsverkehr schon abgeebbt.

### 5.11.1.4 Alter Botanischer Garten



Datum	15.03.2016
Messzeit (MEZ)	10:58 - 11:24
Latitude	48,523241
Longitude	9,056333
Kategorie	B
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>47,41</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	43,76
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	52,28
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>30,08</b>

Park neben einer der Hauptverkehrsstraßen der Stadt, mit Spielplatz. Messung mit Stativ.

### 5.11.1.5 Kelternstraße / Schmiedtorstraße



Datum	15.03.2016
Messzeit (MEZ)	11:37 - 11:58
Latitude	48,522775
Longitude	9,051887
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>63,75</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	43,23
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	203,03
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>40,05</b>

Viel befahrene Straße mit einer Spur in jede Richtung. Standort von Wohnhäusern. Messung mit Stativ, zur ruhigeren Mittagszeit.

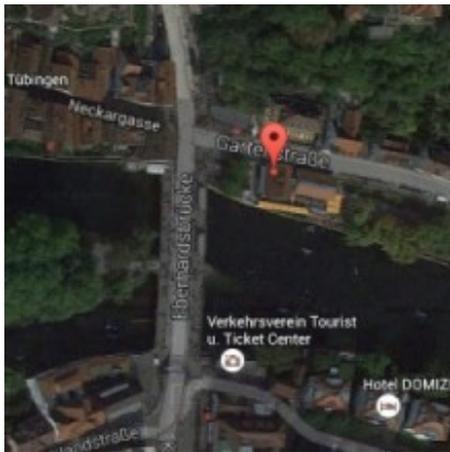
### 5.11.1.6 Uhlandstraße



Datum	15.03.2016
Messzeit (MEZ)	12:31 - 12:58
Latitude	48,516257
Longitude	9,048790
Kategorie	B
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>46,87</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	33,64
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	101,89
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>23,15</b>

Standort mehrerer Schulen, relativ offen. Messung mit Stativ. Durch Schulzeitende und abholende Eltern trotz der generell verkehrsärmeren Mittagszeit durchaus etwas Verkehr für den Standort.

### 5.11.1.7 Innenhof



Datum	15.03.2016
Messzeit (MEZ)	13:43 - 14:20
Latitude	48,519390
Longitude	9,058625
Kategorie	B
Messhöhe	~ 1,45 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>30,35</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	24,27
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	37,24
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>15,90</b>

Im Hinterhof, an eine der Hauptverkehrsstraßen angrenzend. Messung am Fahrrad. Bild über Google Maps.

### 5.11.1.8 Neckarbrücke



Datum	15.03.2016
Messzeit (MEZ)	14:39 - 15:06
Latitude	48,518520
Longitude	9,058112
Kategorie	A
Messhöhe	~ 1,7 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>58,61</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	46,46
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	114,72
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>32,03</b>

Eine der Hauptverkehrsstraßen, viel Fußgängerverkehr und Läden, relativ offen. Messung mit Stativ, zur verkehrsärmeren Nachmittagszeit.

### 5.11.2 Fahrradmessung

In Tübingen wurde eine Fahrradmessung am 15.03.2016 von 08:16 bis 09:00 Uhr durchgeführt. Die Fotos in Abbildung 5.53 zeigen typische Situation während der Fahrt. Zur Messzeit war es kalt und bedeckt. Die Messstrecke und die gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind in der Karte in Grafik 5.54 aufgezeichnet. Besonders auffällig ist das Maximum in der Konzentration am Lustnauer Tor. Während der Fahrt war dort ein kleiner Lastwagen länger vor dem Fahrrad, sowie mehrere Busse daneben; ein Zusammenhang ist stark zu vermuten. Daher sollen die dadurch höheren Mittelwerte mit Vorsicht betrachtet werden. Generell war am 15.03. in Tübingen die Belastung hoch, was sich auch in den Messwerten der Fahrradmessung niederschlägt. Im Mittel lag die NO<sub>2</sub>-Konzentration bei

71,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Durch die untypisch hohe Belastung am Messtag und den lokalen Einfluss von Lastwagen und Bussen ergibt sich eine unerwartet hohe Belastung, die keinen typischen Wert darstellt. Jedoch verursacht die Nähe der Fahrradwege zum Straßenverkehr eine generell bedenkliche Belastung der Fahrradfahrer.



Abbildung 5.53: Fahrradmessung - Tübingen

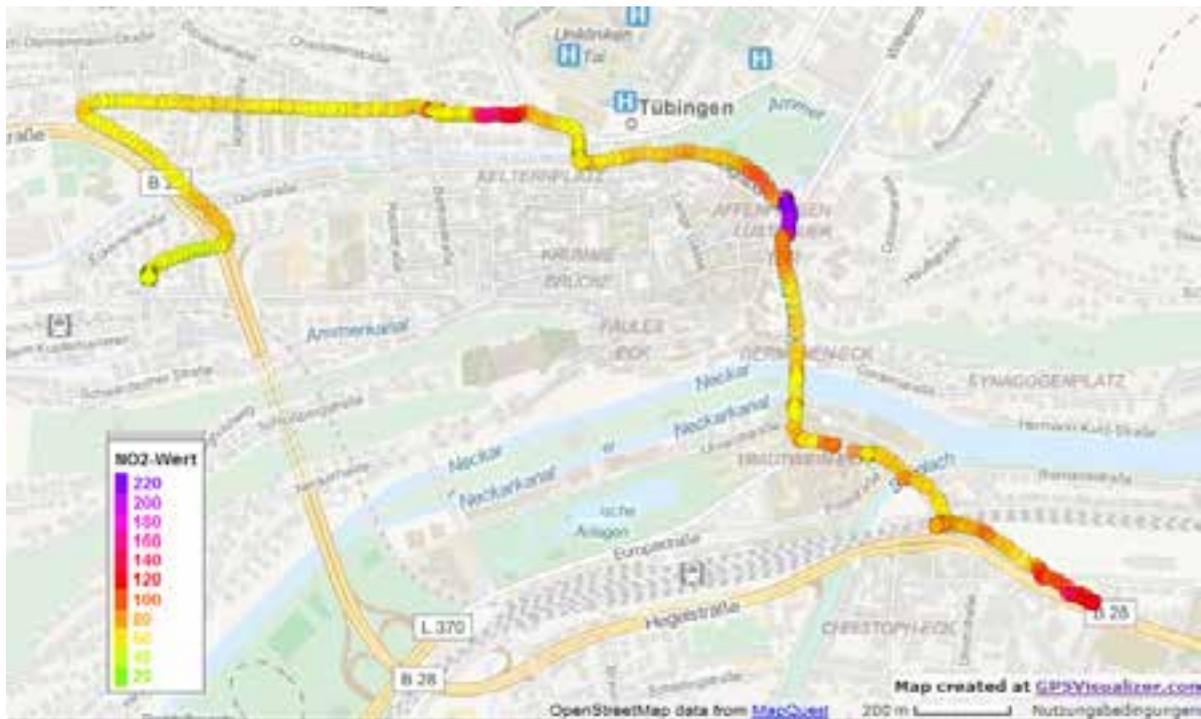


Abbildung 5.54: Fahrradmessung Tübingen. 15.3.2016, 08:16 - 09:00. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mittelwert der  $\text{NO}_2$ -Messdaten: 71,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5.12 Wiesbaden

Wiesbaden ist die hessische Landeshauptstadt mit etwa 275.000 Einwohnern und liegt am Rhein. In der Stadt sowie in Mainz wurde am 09.03. die NO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen, dabei in Wiesbaden an drei Stellen stationär. Der Messtag war ein mäßig warmer Tag mit bedecktem Himmel.

Wiesbaden ist mit drei Umweltmessstationen abgedeckt, die in Tabelle 5.12 aufgeführt sind. Die ebenfalls angegebenen Tagesmittel der NO<sub>2</sub>-Konzentration am Messtag zeigen an, dass die Situation an den Verkehrsstationen typisch war, während an der Hintergrundstation erhöhte Werte gemessen wurden.

Grafik 5.55 zeigt auf einer Karte dargestellt die extrapolierten Jahresmittelwerte für die einzelnen stationären Messungen. Die wenigen Messpunkte in Wiesbaden zeigen ein sehr bedenkliches Bild. Sie sind im Rahmen dieser Studie mit die höchsten, auch wenn es sich hierbei nur um Untersuchungen an Hauptverkehrsstraßen handelt. Die extrapolierten Jahresmittelwerte von um die 100 µg/m<sup>3</sup> liegen damit um mehr als das Doppelte über dem erlaubten Grenzwert. Der starke Autoverkehr in Wiesbaden ist hier eindeutig als Hauptverursacher zu betrachten.

Stationscode	DEHE037	DEHE112	DEHE022
Stationsname	Wiesbaden-Ringkirche	Wiesbaden-Schiersteiner Str.	Wiesbaden-Süd
Stationsumgebung	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet	städtisches Gebiet
Art der Station	Verkehr	Verkehr	Hintergrund
Jahresmittelwert 2015 [µg/m <sup>3</sup> ]	53	53	29
Tagesmittel 9.3. [µg/m <sup>3</sup> ]	59,6	53,3	40,1

Tabelle 5.12: Wiesbadener Messnetz.

### 5.12.1 Stationäre Messungen

#### 5.12.1.1 Ringkirche



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	08:03 - 09:17
Latitude	50,077616
Longitude	8,229728
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	<b>53,38</b>
NO <sub>2</sub> _min [µg/m <sup>3</sup> ]	21,04
NO <sub>2</sub> _max [µg/m <sup>3</sup> ]	218,40
extrapolierter Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]	<b>42,04</b>

Am Hang, viel befahrene zweispurige Straße in nur eine Richtung, Nähe zu einer großen Kreuzung, auf allen Seiten bebaut, aber durch die Kreuzung etwas offen. Messung mit Stativ auf dem Autodach während des morgendlichen Berufsverkehrs.

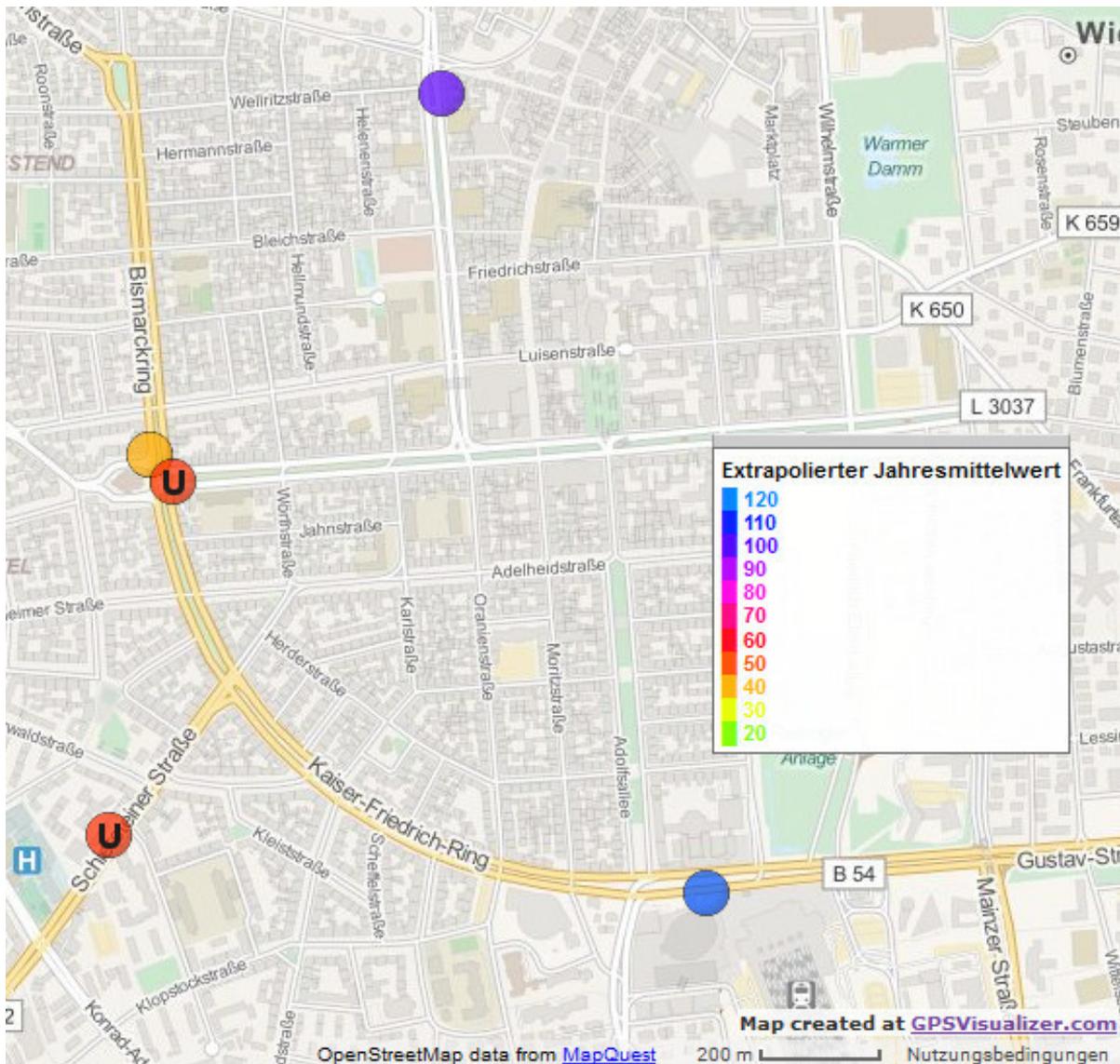


Abbildung 5.55: Karte der Messorte in Wiesbaden mit Farbskalierung der bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte. Messwerte in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die mit U bezeichneten Marker zeigen die Umweltmessstationen mit den jeweiligen Jahresmittelwerten von 2015, wobei die Station Wiesbaden-Süd außerhalb des von der Karte abgedeckten Bereichs liegt.

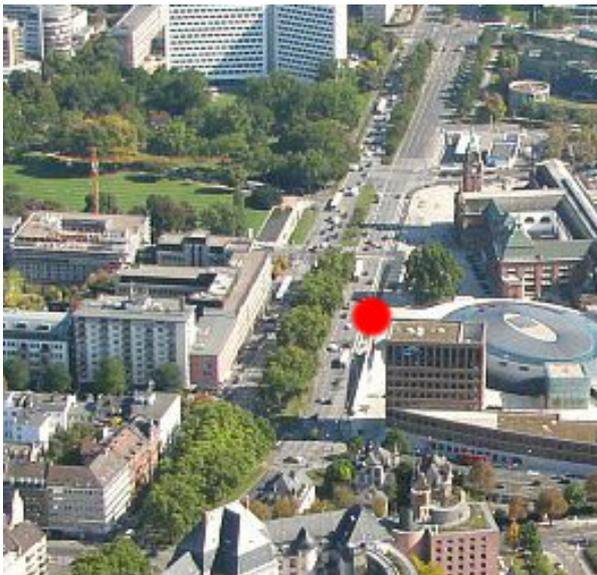
### 5.12.1.2 Coulinstraße/Schwalbacher Straße



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	10:55 - 11:25
Latitude	50,082761
Longitude	8,236188
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>70,06</b>
NO <sub>2_min</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	34,98
NO <sub>2_max</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	240,26
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>98,58</b>

Am Hang, zweispurige Hauptverkehrsstraße in beide Fahrrichtungen plus Abbiege-spuren, vor großer Kreuzung, vielbefahren, auf allen Seiten bebaut aber relativ offen. Messung mit Stativ auf dem Autodach. Zum Messzeitpunkt war der Berufsverkehr schon abgeklungen.

### 5.12.1.3 Bahnhofsplatz



Datum	09.03.2016
Messzeit (MEZ)	11:34 - 11:57
Latitude	50,071356
Longitude	8,242002
Kategorie	A
Messhöhe	~ 3 m
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>76,82</b>
NO <sub>2_min</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	28,88
NO <sub>2_max</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	1540,67
extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>115,51</b>

Sehr stark befahrene Straße mit drei Spuren in beide Richtungen, durch den Platz relativ offen. Zur ruhigeren Mittagszeit mit Stativ auf dem Autodach gemessen. Bild: Der Messort ist mit einem roten Punkt markiert. (Von Wolfgang Pehlemann, CC BY-SA 3.0 <sup>1</sup>)

<sup>1</sup><https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17135149>.

## 5.13 Vergleichsmessungen

Zur Qualitätssicherung wurden insgesamt vier Messungen an Umweltmessstationen durchgeführt, um die Messwerte vergleichen zu können. Alle der hier betrachteten Messstationen fallen in Kategorie A dieses Berichtes. Das Stativ wurde möglichst nah an den Luftenlass der Umweltmessstation gestellt. Wo das nicht zu realisieren war, wurde das Stativ auf das Autodach gestellt und das Auto möglichst nah an die Umweltmessstation bewegt. Dadurch ist die Luftansaugung etwa in der selben Höhe.

Die Ergebnisse der Umweltmessstationen wurden zum Vergleich herangezogen. Sie sind auf der Seite des Umweltbundesamtes erhältlich, waren jedoch als vorläufig markiert. Im Folgenden sollen die Ergebnisse dargestellt werden. Diese Vergleichsmessungen zeigen eine prinzipiell sehr gute Übereinstimmung der Messwerte. Geringe Unterschiede wurden beobachtet, wobei die Werte der Umweltmessstationen mal etwas höher oder niedriger lagen. Es ist also keine systematische Abweichung festzustellen. Die Unterschiede sind daher vor allem auf leicht unterschiedliche Zeiträume der Messungen sowie auf die leicht unterschiedlichen Messpunkte zurückzuführen. Prinzipiell kann damit aber belegt werden, dass die Stickstoffdioxidmesswerte in dieser Studie nicht durch systematische Messfehler beeinflusst sind und im Wesentlichen korrekt sind.

### 5.13.1 Dortmund

In Dortmund wurde die Messstation Steinstraße gewählt. Sie misst im städtischen Gebiet und ist unter der Kategorie A (Verkehr) eingeordnet. In 2015 wurde ein Jahresmittelwert von  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bestimmt. Die Station liegt an einer viel befahrenen großen Straße mit umgebenden mehrstöckigen Wohnhäusern. Hier wurde mit dem Stativ auf dem Autodach gemessen, da die Station von einem Zaun umgeben ist. Im Folgenden ist die Situation während der Messung zu sehen, sowie eine Tabelle mit den Ergebnissen:



Datum	19.02.2016
Messzeit (MEZ)	09:09 - 10:11
Latitude	51,5196483333
Longitude	7,4644383333
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>68,6</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	52,4
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	309,8
Messstation zur selben Zeit [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>62,0</b>

Wie man sehen kann, war die Messung etwas über eine Stunde lang, aber gegenüber

der vollen Stunde verschoben, so dass der Messwert der Station zur selben Zeit aus den gegebenen Stundenmittelwerten interpoliert werden musste. Wir sehen eine Diskrepanz von etwa  $4,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (6,7 %) zwischen den Werten, was mit einer räumlich um wenige Meter verschobenen Messung und der nötigen Interpolation, was an einer Verkehrsmessstation absolut im Rahmen der erwarteten Schwankungen liegt.

### 5.13.2 Frankfurt

In Frankfurt wurde an der Umweltmessstation Friedberger Landstraße gemessen. Sie misst ebenfalls im städtischen Gebiet und ist ebenfalls unter Kategorie A (Verkehr) eingeordnet. Ihr Stickstoffdioxid-Jahresmittel in 2015 lag bei  $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; damit ist sie die Station in Frankfurt mit der höchsten Belastung. Die Station liegt an einer großen Straße mit mehreren Spuren in beide Richtungen und viel Verkehr. Es konnte mit dem Stativ auf dem Dach der Station gemessen werden. Im folgenden ist ein Foto der Messsituation zu sehen, sowie eine Tabelle mit den Messergebnissen:



Datum	08.03.2016
Messzeit (MEZ)	11:00 - 12:00
Latitude	50,124606
Longitude	8,691916
Gemessenes $\text{NO}_2$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>51,7</b>
$\text{NO}_2_{\text{min}}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	33,7
$\text{NO}_2_{\text{max}}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	115,2
Messstation zur selben Zeit [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>56</b>

Hier wurde eine volle Stunde gemessen, daher kann direkt mit dem vorläufigen Ergebnis der Umweltmessstation verglichen werden. Die Differenz beträgt etwa  $4,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (8,5 % geringere Werte des hier verwendeten Messsystems), vergleichbar mit der oben vorgestellten Vergleichsmessung. Die Unterschiede können beim direkten Stundenvergleich nicht durch die Interpolation verursacht sein, sondern nur durch geringe Unterschiede des Messortes. Die Unterschiede liegen aber auch innerhalb der Kalibrationsgenauigkeit. Außerdem ist wichtig zu wissen, dass die in den Messstationen verwendeten Chemolumineszenz-Geräte mit Molybdän-Konverter eine Querempfindlichkeit zu anderen Stoffen aufweisen, die einen nicht unbedeutenden Beitrag zum Messwert beitragen können. Dadurch ließen sich die leicht höheren Werte der Station ebenfalls erklären. Bei dem in dieser Studie verwendeten Messgerät können aufgrund des vorteilhaften Messprinzips solche Interferenzen zu anderen Stoffen von vornherein ausgeschlossen werden.

### 5.13.3 Köln

In Köln wurde eine Vergleichsmessung an der Umweltmessstation Turiner Straße durchgeführt. Die Station misst im städtischen Gebiet, und ist als Verkehrsstation klassifiziert. In 2015 maß sie einen  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwert von  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und ist damit die Kölner Station mit der zweithöchsten Belastung. Die Station steht an einer großen mehrspurigen Straße mit viel Verkehr in beide Richtungen und hat angrenzend hohe Häuser. Es folgt ein Bild der Messsituation sowie eine Tabelle mit weiteren Details und den Ergebnissen:



Datum	15.02.2016
Messzeit (MEZ)	16:18 - 17:17
Latitude	50,9471626008
Longitude	6,9579965326
Gemessenes $\text{NO}_2$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>53,5</b>
$\text{NO}_2_{\text{min}}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	28,79
$\text{NO}_2_{\text{max}}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	143,82
Messstation zur selben Zeit [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>46,9</b>

Es konnte zwar etwa eine volle Stunde gemessen werden, sie ist jedoch gegenüber dem Mittelungsintervall der Umweltmessstation um etwa 20 Minuten verschoben. Daher musste wieder zwischen den Messwerten der Umweltmessstation interpoliert werden. Die Differenz der Messwerte liegt bei etwa  $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (+12,1 %). Hier kann durchaus die der Interpolation inherente Ungenauigkeit eine Rolle spielen, da die  $\text{NO}_2$ -Konzentration aufgrund der Verkehrsnähe in diesem Zeitraum stark schwankte.

### 5.13.4 München

In München wurde die Umweltmessstation Lothstraße für die Vergleichsmessung gewählt. Sie misst im städtischen Gebiet und ist als Hintergrundstation eingeordnet. Der in 2015 bestimmte Jahresmittelwert der  $\text{NO}_2$ -Konzentration liegt bei  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dabei ist sie die einzige Hintergrundstation im städtischen Gebiet. Sie liegt an einer Seitenstraße einer stärker frequentierten mehrspurigen Straße und ist umgeben von relativ offener Bebauung. Die Messung wurde mit dem Stativ auf dem Autodach vorgenommen. Es folgt ein Foto der Messsituation und eine Tabelle mit weiteren Informationen und den Ergebnissen:



Datum	24.02.2016
Messzeit (MEZ)	15:00 - 16:00
Latitude	48,1545167403
Longitude	11,5546865572
Gemessenes NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>23,9</b>
NO <sub>2</sub> _min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	14,5
NO <sub>2</sub> _max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	49,8
Messstation zur selben Zeit [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	<b>25</b>

Es konnte wieder eine volle Stunde gemessen werden und daher auch der Stationsmesswert ohne weitere Interpolation zum Vergleich verwendet werden. Es liegt eine Differenz von etwas über  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (-4,6 %) vor, die geringste Abweichung aller Vergleichsmessungen. Durch den Hintergrundcharakter der Station sind generell die zeitlichen und räumlichen NO<sub>2</sub>-Konzentrationschwankungen geringer, was ein solches Ergebnis begünstigt. Die leichten Unterschiede können durch die räumlichen Unterschiede oder die Unsicherheiten der Kalibration begründet werden.

## 5.14 Ergebnistabellen

In diesem Abschnitt werden Übersichtstabellen mit allen stationären Messungen und Fahrradmessungen in allen Städten gezeigt. Pro Stadt gibt es eine Tabelle. Es ist jeweils der Ort der Messung mit Bezeichnung und Koordinaten (Länge/Breite = Latitude/Longitude) angegeben, gefolgt von Startzeit und Endzeit der Messung in Mitteleuropäischer Zeit (MEZ). Angegeben sind jeweils der Mittelwert der gemessenen  $\text{NO}_2$ -Konzentration, die Standardabweichung (Std) sowie der niedrigste (Min) und höchste (Max) gemessene Wert, alles in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Für jeden Messort wurde eine Umweltmessstation als Referenz zur Extrapolation auf den Jahresmittelwert ausgewählt und in der Tabelle eingetragen. In einigen Fällen sind zwei Umweltmessstationen angegeben, da der Standort keine Entsprechung im Messnetz hat. Dann wurde über die Werte beider Umweltmessstationen gemittelt. Weitere Informationen über spezifische Umweltmessstationen finden sich in den Ergebniskapiteln der zugehörigen Städte. Es ist jeweils das Stationsjahresmittel von 2015 zur Einordnung der restlichen Werte angegeben.

Um die Extrapolation auf das Jahresmittel gemäß Abschnitt 4.3 durchzuführen, wurden die Stundenmittel der Umweltmessstationen auf einen Wert interpoliert, der dem Messzeitraum der Messungen in diesem Bericht entspricht. Der sich ergebende Mittelwert ist ebenfalls in den Tabellen angegeben. Schließlich folgt der extrapolierte Jahresmittelwert, wo dieser sinnvoll ist.

Messort	Latitude	Longitude	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kategorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2</sub> Std [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2</sub> Min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2</sub> Max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Stationscode	Stationsjahresmittel [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	aktueller Stationswert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Bürgermeister-Ackermann-Straße Fahrradmessung	48.3705066667	10.877735	17:39	18:11	C	65,07	15,97	27,55	109,49	DEBY006;DEBY007	30/28	46,67/34,00	47,71
Königsplatz	48.3649424497	-	07:52	09:00	-	55,61	27,95	1,14	333,40	DEBY110	49	60,07	-
Kennedyplatz	48.3697965193	10.8924802869	09:04	09:35	A	57,55	22,85	35,25	314,12	DEBY110;DEBY006	49/30	59,29/38,75	46,05
Oberer Graben	48.3674670286	10.9028670061	10:41	11:12	A	58,76	27,69	21,46	168,97	DEBY110	49	51,50	55,90
Radhausplatz	48.3689242834	10.8976075985	11:27	12:02	B	13,45	4,38	6,91	116,65	DEBY110	49	46,17	53,65
Jacobuskirche	48.3699823037	10.9061706389	12:59	14:27	A	35,84	14,03	12,35	119,48	DEBY007	28	18,04	20,88
Blücherstraße/Amagasaki-Allee	48.3751483333	10.927483333	14:32	15:02	A	32,37	13,79	12,20	90,12	DEBY006;DEBY007	30/28	22,70/21,09	47,48
Friesenstraße/Neuburger Straße	48.38236	10.916925	15:09	15:45	C	23,93	11,61	10,85	94,76	DEBY110;DEBY007	49/28	47,40/21,44	30,66
Bergäuserstraße	48.343216667	10.884986667	16:19	16:50	A	30,22	10,79	13,16	112,73	DEBY007	28	26,63	31,77
Hauptbahnhof	48.36775	10.88568	17:03	17:38	A	45,84	16,06	21,22	109,14	DEBY110;DEBY007	49/28	72,69/32,20	35,38

Tabelle 5.13: Messergebnisse - Augsburg.

Messort	Latitude	Longitude	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kategorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2</sub> Std [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2</sub> Min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2</sub> Max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Stationscode	Stationsjahresmittel [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	aktueller Stationswert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Hole Straße I	51.499525	7.459005	17:45	18:17	A	72,16	9,63	58,69	136,58	DENW101	39	57,82	48,68
Ostwallstraße	51.50965	7.46848333333	08:33	09:06	A	66,25	17,96	38,89	130,14	DENW136	49	57,95	56,01
Fahrradmessung 1	-	-	09:19	09:32	-	63,40	19,79	35,57	143,61	DENW136	49	59,72	-
Märkische Straße	51.500775	7.48008333333	09:31	10:05	A	82,99	25,82	32,59	165,82	DENW136	49	56,70	71,72
Biederweg/Schwanenwall	51.5151733275	7.47332868996	10:35	11:18	A	70,92	28,44	32,60	333,33	DENW136	49	47,70	72,86
Hauptbahnhof	51.516685	7.45940833333	11:29	12:11	A	41,75	13,39	21,14	93,80	DENW136;DENW008	49/27	45,11/31,19	40,74
Städtische Kliniken	51.519766667	7.45827666667	12:17	12:44	A	39,88	17,91	17,10	222,97	DENW136	49	34,40	56,81
Obstraße	51.512585	7.47028333333	12:56	13:41	C	37,46	17,15	21,65	210,75	DENW008	27	24,69	40,96
Schleswiger Straße/Nordmarkt/Mallindrothstraße	51.5253449927	7.46738509451	14:10	14:45	A	44,29	22,91	17,06	177,86	DENW136	49	39,52	54,92
Westpark	51.510036667	7.446885	15:06	15:37	B	20,48	6,13	14,67	76,20	DENW008	27	25,51	21,68
An der Palmwende/Emil-Flieg-Straße	51.4910579064	7.42983189175	15:48	16:24	C	19,49	4,05	14,95	50,51	DENW136;DENW008	49/27	54,20/33,20	16,74
Ruhrallee	51.4995	7.477125	16:36	17:07	A	56,38	19,21	27,18	227,13	DENW136	49	72,35	38,18
Hole Straße II	51.499466667	7.45872166667	17:23	17:53	C	65,19	12,63	39,66	104,33	DENW136	49	85,01	37,57
Fahrradmessung 2 (Wallring)	-	-	07:55	08:40	-	79,92	20,15	58,04	218,00	DENW136	49	75,78	-
Vergleichsmessung Steinstrasse	51.51964833333	7.46443833333	09:09	10:11	-	68,60	13,90	52,42	309,84	DENW101	39	62,01	-

Tabelle 5.14: Messergebnisse - Dortmund.

Messort	Latitude	Longitude	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kategorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2</sub> Std [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2</sub> Min [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2</sub> Max [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Stationscode	Stationsjahresmittel [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	aktueller Stationswert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Corneliusstraße	51.2137414615	6.78280620513	08:32	09:04	A	123,07	21,07	71,33	213,44	DENW082	59	69,60	104,33
Graf-Adolf-Platz	51.2187951651	6.7767755934	09:32	10:09	A	86,63	25,52	49,00	216,88	DENW082	59	59,33	86,15
Kö	51.2257812737	6.7790337184	10:17	10:49	A	52,42	15,00	31,88	141,86	DENW071;DENW082	25/59	34,18/51,42	49,24
Hofgarten/Kaiserstraße	51.2321933735	6.77887560568	11:05	11:35	B	36,58	4,92	29,32	64,11	DENW071	25	26,05	35,10
Fahrradmessung	-	-	11:53	12:22	-	51,83	21,63	25,42	254,05	DENW082	59	54,32	-
Duisburger Straße	51.2315671765	6.7878092913	12:30	13:15	A	36,89	5,84	29,52	70,50	DENW071;DENW082	25/59	27,73/57,00	35,72
Luegplatz	51.2316233333	6.74843333333	13:50	14:21	A	46,04	15,38	29,93	177,56	DENW082	59	51,75	52,50
Jülicher Straße/Schlossstraße	51.2429516667	6.7904	14:33	15:07	A	48,68	19,98	31,33	216,66	DENW082	59	58,07	48,96
Dorotheenstraße	51.2268219042	6.81145341989	15:17	15:48	A	70,80	18,73	38,76	204,87	DENW071;DENW082	25/59	35,53/76,73	52,13
Morsenbroicher Ei	51.2508811957	6.80150083841	16:02	16:34	A	88,30	19,28	43,68	175,75	DENW082	59	85,85	60,68

Tabelle 5.15: Messergebnisse - Düsseldorf.

Messort	Latitude [°]	Longitude [°]	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kate- gorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> -Mittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Std [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Min [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Max [µg/m <sup>3</sup> ]	Stationscode	Stations- jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	aktueller Stationswert [µg/m <sup>3</sup> ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]
Oberesslingen	48,731133	9,334008	14:41	15:11	A	16,25	10,32	4,32	84,29	84,29	DEBW120	47	48,33	15,80
Wielandstraße	48,741980	9,316920	15:21	15:55	A	24,31	41,50	4,93	704,71	704,71	DEBW120	47	53,58	21,33
Neckarstraße	48,736965	9,312154	16:05	16:36	A	23,38	18,26	6,92	149,61	149,61	DEBW120	47	61,67	17,82

Tabelle 5.16: Messergebnisse - Esslingen.

Messort	Latitude [°]	Longitude [°]	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kate- gorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Std [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Min [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Max [µg/m <sup>3</sup> ]	Stationscode	Stations- jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	aktueller Stationswert [µg/m <sup>3</sup> ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]
Beseler Straße	50,104207	8,664494	08:10	08:41	A	90,33	30,41	63,50	457,98	DEHE041	53	83,42	57,39
Friedrich-Ebert-Anlage	50,111181	8,657204	08:55	09:27	A	72,52	12,14	47,47	148,03	DEHE041	53	72,33	53,14
Alte Oper	50,115969	8,671150	09:41	10:12	A	69,21	18,44	43,21	285,42	DEHE041	53	62,97	55,25
Reuterweg	50,122509	8,670080	10:18	10:50	A	70,81	16,29	43,00	150,71	DEHE041	53	59,62	62,95
Eschersheimer Landstraße 181	50,131985	8,672506	11:04	11:46	A	56,58	41,64	8,18	539,39	DEHE041	53	55,87	53,67
Oeder Weg	50,119609	8,679720	11:55	13:08	C	55,92	18,04	24,95	164,30	DEHE008;DEHE041	34/53	46,76/62,57	44,01
Otto-Hahn-Platz	50,102185	8,676209	13:50	14:23	A	49,58	19,52	25,61	157,38	DEHE041	53	63,20	41,57
Mörfelder Landstraße/Darmstädter Landstraße	50,100555	8,691108	14:32	15:04	A	67,57	20,97	22,78	130,84	DEHE041	53	68,10	52,59
Stegstraße	50,104106	8,683402	15:13	15:45	C	36,64	7,37	24,93	105,44	DEHE008	34	29,00	42,96
Schaumainkai	50,107349	8,685450	16:03	16:36	A	65,03	21,97	35,88	161,62	DEHE041	53	80,63	42,75
Hanauer Landstraße/Ostendstraße	50,112098	8,704132	16:53	17:25	A	51,69	24,45	25,13	203,57	DEHE041	53	64,80	42,28
Fahradmessung 1 (Innenstadt-HR)	-	-	08:05	08:42	-	72,06	35,65	37,75	229,91	DEHE041	53	65,45	-
Fahradmessung 2 (Oper-LBA-Str.)	-	-	10:04	10:35	-	63,49	21,59	41,67	172,87	DEHE041	53	59,68	-
Vergleichsmessung Friedberger Landstrasse	50,124606	8,691916	11:00	12:00	-	51,65	13,61	33,74	115,15	DEHE041	53	56	-
Fahradmessung 3 (LBA-Str.-Hbf)	-	-	12:09	12:47	-	62,47	26,20	35,58	266,99	DEHE041	53	47,77	-
Goetheplatz	50,112708	8,676067	14:28	15:47	A	58,65	8,12	38,20	103,62	DEHE008;DEHE041	34/53	52,19/60,39	44,84
Römer	50,110401	8,682362	16:04	16:18	B	62,29	4,18	50,33	71,72	DEHE008	34	50,32	42,09
Börneplatz	50,112415	8,687645	16:31	17:02	A	108,51	38,27	63,28	403,02	DEHE041	53	63,87	90,05

Tabelle 5.17: Messergebnisse - Frankfurt.

Messort	Latitude [°]	Longitude [°]	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kate- gorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Std [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Min [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Max [µg/m <sup>3</sup> ]	Stationscode	Stations- jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	aktueller Stationswert [µg/m <sup>3</sup> ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]
Beseler Straße	47,985336	7,831463	08:19	08:49	A	31,63	11,72	10,92	94,09	DEBW122	56	50,58	35,02
Fahradmessung 1	-	-	09:48	10:15	-	35,50	57,10	5,36	897,75	DEBW122	56	37,78	-
Blaue Brücke	47,995763	7,840826	10:15	10:45	C	27,40	12,85	9,12	76,57	DEBW122	56	40,25	38,13
Dreisam	47,991028	7,843377	10:54	11:24	C	39,31	11,47	18,47	80,32	DEBW122;DEBW084	56/19	40,35/11,35	60,18
Johanneskirche	47,989809	7,848338	11:35	12:05	A	47,50	19,52	14,77	114,90	DEBW122	56	40,33	65,96
Fahradmessung 2	-	-	12:04	12:14	-	28,52	19,62	9,57	107,83	DEBW122	56	40,63	-
Bertoldsbrunnen	47,994738	7,849652	12:16	12:42	B	12,14	2,95	6,94	24,34	DEBW084	19	11,00	20,97
Escholzstraße	47,996097	7,835311	13:03	13:35	A	25,95	10,85	9,18	76,27	DEBW122	56	46,94	30,96
Schlossberg	47,996629	7,858182	14:00	14:30	A	37,63	22,57	8,80	144,05	DEBW122	56	61,94	34,02
Schwarzwalddstraße	47,989986	7,856729	14:47	15:21	A	58,94	30,38	16,20	158,27	DEBW122	56	65,30	50,54

Tabelle 5.18: Messergebnisse - Freiburg.

Messort	Latitude [°]	Longitude [°]	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kate- gorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Std [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Min [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Max [µg/m <sup>3</sup> ]	Stationscode	Stations- jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	aktueller Stationswert [µg/m <sup>3</sup> ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]
Bresslerer Platz	50,9435332847	6,960877551655	08:25	09:15	A	103,53	72,95	54,68	1229,68	DENW211	66	73,02	93,57
Tunisstraße	50,9395881233	6,95349450881	09:27	10:04	A	122,46	37,77	63,88	466,45	DENW212	46	60,15	93,64
Neumarkt	50,9358533333	6,949213333333	10:15	10:56	A	58,66	12,57	41,88	118,70	DENW212	46	64,30	41,96
Rudolfplatz I	50,9364233333	6,93968	11:16	11:47	A	54,12	10,00	40,48	123,96	DENW212	46	51,70	48,15
Barbarossaplatz	50,929185	6,94223	12:13	13:24	A	56,94	15,80	37,53	266,20	DENW212;DENW211	46/66	49,60/52,20	62,41
Universität Park	50,926283333	6,931245	13:35	14:02	C	29,01	3,33	22,89	52,26	DENW212;DENW059	46/31	48,20/43,20	24,25
Fahrradmessung 1	-	-	14:44	15:36	-	47,42	15,35	24,57	130,89	DENW212	46	48,82	-
Vergleichsmessung Thirner Straße	50,9471626008	6,9579965326	16:18	17:17	-	53,46	13,43	28,79	143,82	DENW212	46	46,94	-
Bayenstraße	50,9237216667	6,96632833333	17:43	18:12	A	65,90	20,87	28,54	149,57	DENW212;DENW211	46/66	49,60/66,70	63,17
Brithler Straße-Bonner Straße	50,91014	6,962835	18:22	18:51	A	106,80	44,48	54,59	416,91	DENW212;DENW211	46/66	53,62/69,67	96,40
Fahrradmessung 2 (-Neumarkt)	-	-	08:05	08:21	-	56,03	26,66	11,93	196,65	DENW211	66	117,92	-
Fahrradmessung 3	-	-	09:02	09:13	-	60,25	29,50	21,01	252,95	DENW211	66	97,87	-
Fahrradmessung 4 (-Uni)	-	-	11:54	12:11	-	48,61	20,16	17,09	103,34	DENW212	46	39,40	-
Universität	50,9282423753	6,92791839569	12:11	12:23	B	23,11	3,50	17,11	36,64	DENW212;DENW053	46/25	38,65/28,87	23,76
Zülpicher Straße	50,929428005	6,9379941659	13:27	14:10	A	35,70	14,46	18,80	107,06	DENW212;DENW211	46/66	28,63/50,30	52,10
Rudolfplatz II	50,9365083805	6,9393098009	15:31	16:02	A	46,41	22,73	17,12	139,43	DENW212;DENW211	46/66	37,20/65,40	52,11
Fahrradmessung 5 (-Deutz)	-	-	16:52	17:15	-	67,47	44,82	22,59	501,55	DENW212	46	48,20	-
Sportplatz Deutz	50,9328383333	6,97390666667	17:15	17:22	C	41,63	5,97	35,70	70,52	DENW212;DENW211	46/66	49,20/77,00	37,31
Gotenring/Deutzkultur-Straße	50,9370534631	6,97819652746	17:28	18:02	A	81,12	26,57	39,56	228,24	DENW212;DENW211	46/66	51,17/81,44	69,33

Tabelle 5.19: Messergebnisse - Köln.

Messort	Latitude [°]	Longitude [°]	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kate- gorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Std [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Min [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Max [µg/m <sup>3</sup> ]	Stationscode	Stations- jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	aktueller Stationswert [µg/m <sup>3</sup> ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]
Fahrradmessung	-	-	08:03	09:17	-	53,38	22,87	21,04	218,40	DERP010	57	55,36	-
Bahnhofplatz	50,000830	8,259847	12:18	12:58	C	41,71	15,58	20,40	170,87	DERP010	57	49,26	48,26
Große Bleiche	50,001547	8,265729	13:08	13:51	A	85,67	89,06	20,06	646,12	DERP012	45	42,45	90,80
Rheinstraße	49,995062	8,280058	14:04	14:34	A	41,69	18,17	12,80	102,15	DERP010	57	50,66	46,90
Guttenbergplatz	49,999087	8,271668	14:43	15:13	B	26,51	31,42	13,39	503,46	DERP010;DERP009	57/39	50,87/30,00	32,09
Kaiserstraße 13	50,003385	8,261992	15:23	15:53	A	36,33	16,33	14,59	152,38	DERP010	57	52,86	39,17
Am Linsenberg	49,996465	8,256342	16:07	16:39	A	64,08	31,06	21,67	261,26	DERP010	57	54,57	66,94
Freiligrathstraße 12	49,988907	8,268702	16:49	17:19	A	59,84	51,39	21,41	567,32	DERP010	57	57,27	59,56
Albert-Schweitzer-Straße	49,995952	8,247197	17:35	18:06	A	31,05	7,90	22,10	81,73	DERP010;DERP009	57/39	59,67/42,67	29,02
Weserstraße	50,001523	8,218079	18:18	19:10	A	49,46	19,15	26,27	128,78	DERP010;DERP009	57/39	61,17/44,21	44,86

Tabelle 5.20: Messergebnisse - Mainz.

Messort	Latitude [°]	Longitude [°]	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kate- gorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Std [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Min [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Max [µg/m <sup>3</sup> ]	Stations- jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	Stationscode	aktueller Stationswert [µg/m <sup>3</sup> ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]
Stachus	48,1405819221	11,5664138422	09:54	10:24	A	53,05	23,20	27,82	172,46	64	DEBY037	88,20	38,50
Hauptbahnhof	48,1421886757	11,553916188	10:33	11:07	A	47,88	19,36	12,94	122,94	64	DEBY037	89,67	34,18
Schleißheimer Straße/Petuelring	48,1769560964	11,5678138615	11:24	11:56	A	78,10	23,52	28,53	151,64	64	DEBY037	73,17	68,31
Leopoldstraße/Ungererstraße	48,1647996993	11,5862475393	12:24	12:56	A	82,20	20,23	7,49	149,11	64	DEBY037	45,02	30,14
Gasteig	48,1308000253	11,5904369705	13:16	13:46	A	82,20	48,14	16,31	375,95	64	DEBY037	54,63	96,31
Schwere-Reiter-Straße/Winzerstraße	48,1604066957	11,5611377293	14:14	14:44	B	16,34	7,21	6,65	68,72	33	DEBY039	24,68	21,86
Vergleichsmessung Lothstraße	48,1545167403	11,5546865572	15:00	16:00	-	23,94	6,03	14,48	49,81	33	DEBY039	25	-
Fahrradmessung 1 (Innenstadt)	-	-	17:46	19:39	-	108,68	47,07	45,56	664,46	64	DEBY037	90,31	-
Fahrradmessung 2 (Karlsplatz)	-	-	07:59	08:11	-	98,60	33,12	44,00	264,35	64	DEBY037	80,25	-
Karlsplatz	48,1405966506	11,5665397913	08:11	08:50	A	91,50	32,32	50,34	248,97	64	DEBY037	82,59	70,91
Fahrradmessung 3 (Bayerstrasse)	-	-	09:17	09:25	-	72,02	33,75	39,49	315,60	64	DEBY037	89,95	-
Bayerstraße/Paul-Heyes-Straße	48,1391290033	11,55572975	09:27	10:04	A	71,57	21,48	35,90	156,53	64	DEBY037	91,32	50,16
Haus der Kunst	48,1437577244	11,5852808914	10:27	10:47	A	93,06	24,09	27,91	145,54	64	DEBY037	96,87	61,49
Friedensengel	48,1415682738	11,5959640881	11:13	11:39	A	47,75	18,84	20,84	156,97	64	DEBY037	92,75	32,95
Primzengartenstraße	48,1408327605	11,5999294588	11:44	12:06	A	97,35	36,83	34,23	236,87	64	DEBY037	90,75	68,66
Schumannstraße	48,1409001623	11,602507701	12:31	13:57	C	43,80	15,89	22,75	349,05	33	DEBY039	44,72	32,32
Odeonsplatz	48,1487983333	11,577865	14:09	14:52	A	63,66	25,93	25,31	195,28	64	DEBY037	70,79	57,55
Lindwurmstraße/Schmellerstraße	48,1257137752	11,5511548952	15:09	15:40	C	44,26	9,81	17,11	80,73	64/33	DEBY037;DEBY039	86,73/51,25	30,58
Landshuter Allee	48,1761329283	11,564645921	16:04	16:36	A	115,38	36,40	35,89	221,81	84	DEBY115	125,88	77,13
Viktualienmarkt	48,1346456234	11,575767003	08:39	09:09	A	47,66	4,38	39,26	74,08	64	DEBY037	75,20	40,56
Viktualienmarkt am Fahrrad	48,1346387389	11,5757744059	09:15	09:50	A	52,61	20,51	28,97	231,73	64	DEBY037	79,02	42,61
Eisenstraße	48,1423610027	11,5618690127	10:25	11:02	A	45,55	4,94	33,22	95,92	64/33	DEBY037;DEBY039	72,21/39,26	39,33
Fahrradmessung 5 (Landshuter Allee)	48,1612272699	11,5377513027	12:23	12:42	-	76,39	26,03	41,67	195,77	64/84	DEBY037;DEBY115	83,63/104,23	-
Landshuter Allee (unter Brücke I)	48,1611036287	11,5376052646	12:57	13:22	A	87,73	15,27	48,53	133,07	84	DEBY115	105,65	69,75
Landshuter Allee (auf Brücke)	48,1611245941	11,5376881208	13:30	13:44	C	42,44	12,35	31,23	83,19	84	DEBY115	105,30	33,85
Landshuter Allee (unter Brücke II)	48,1611245941	11,5376881208	13:48	14:15	A	108,70	27,56	48,75	195,38	84	DEBY115	102,90	88,73
Holzpfelstraße	48,1392506659	11,5439334476	14:59	16:20	C	51,74	5,98	38,76	65,29	64/33	DEBY037;DEBY039	70,87/38,64	45,46

Tabelle 5.21: Messergebnisse - München.

Messort	Latitude [°]	Longitude [°]	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kate- gorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Std [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Min [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Max [µg/m <sup>3</sup> ]	Stations- jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	Stationscode	aktueller Stationswert [µg/m <sup>3</sup> ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]
Ludwigburger Straße	48,823891	9,1725256824	08:05	08:36	A	73,12	55,51	13,31	503,02	87	DEBW118	115,80	54,94
Heilbronner Straße	48,793368	9,182037	08:56	09:29	A	73,12	44,93	13,67	239,01	87	DEBW118	103,90	61,23
Urbanstraße	48,784445	9,190860	09:48	10:08	C	18,36	5,30	11,12	41,17	32	DEBW013	14,07	41,76
Kernerstraße	48,785564	9,189902	10:13	10:43	A	64,74	27,61	14,57	185,59	87	DEBW118	88,89	63,36
Neckarstraße 149	48,789387	9,195266	10:52	11:23	A	21,20	12,34	9,52	116,94	32/87	DEBW013;DEBW118	11,15/87,62	40,94
Bebelstraße/Schwabstraße	48,775169	9,157022	11:32	12:03	A	28,54	14,21	9,86	104,03	32/87	DEBW013;DEBW118	10,00/89,98	59,47
Herdweg	48,786824	9,161496	12:14	12:48	C	13,91	11,57	5,88	123,85	32/87	DEBW013;DEBW118	10,00/94,10	28,69
Berliner Platz	48,777826	9,167436	12:58	13:28	A	37,84	16,57	11,42	104,50	87	DEBW118	102,88	32,00
Charlottenplatz	48,768963	9,173727	13:42	14:13	A	55,48	22,50	16,08	164,08	87	DEBW118	107,35	44,96
Fahrradmessung	-	-	08:24	09:03	-	69,02	40,20	38,12	737,16	77	DEBW116	119,45	-
Neckartorrbahnhof	48,786292	9,190164	09:07	09:27	A	60,01	25,43	22,52	159,88	87	DEBW118	105,25	49,60
Landhausstraße	48,783777	9,190509	10:10	10:45	C	45,71	8,24	31,83	96,46	32	DEBW013	23,87	61,27
Hohenheimer Straße/Olgaeck	48,773397	9,286827	11:08	11:37	A	57,24	26,53	20,08	209,37	87	DEBW118	80,21	62,09
Tübinger Straße 38	48,769484	9,171908	12:13	12:37	C	29,09	5,79	19,71	45,38	32	DEBW013	20,71	44,96
Schickhardstraße 30	48,765630	9,160681	12:56	13:23	A	41,79	35,57	18,73	476,97	87	DEBW118	72,05	50,46

Tabelle 5.22: Messergebnisse - Stuttgart.

Messort	Latitude [°]	Longitude [°]	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kate- gorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Std [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Min [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Max [µg/m <sup>3</sup> ]	Stationscode	Stations- jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	aktueller Stationswert [µg/m <sup>3</sup> ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]
Westbahnhofstraße	48,521200	9,040868	17:50	18:19	C	34,67	8,55	21,05	88,50	DEBW107	22	29,63	25,74
Fahrradmessung	-	-	08:16	09:00	-	71,41	44,08	39,26	636,70	DEBW136	50	80,74	-
Universitätsklinikum	48,532130	9,038950	09:12	09:40	A	57,88	12,22	37,50	108,50	DEBW136	50	81,88	35,34
Am Lustnauer Tor	48,521584	9,057451	10:06	10:50	A	85,81	47,64	41,89	510,45	DEBW136	50	72,44	59,23
Alter Botanischer Garten	48,523241	9,056333	10:58	11:24	B	47,41	1,82	43,76	52,28	DEBW107	22	34,68	30,08
Kelternstraße/Schmiechtorstraße	48,522775	9,051887	11:37	11:58	A	63,75	25,41	43,23	203,03	DEBW136	50	79,58	40,05
Uhländstraße	48,516257	9,048790	12:31	12:58	B	46,87	7,25	33,64	101,89	DEBW107	22	44,53	23,15
Innenhof	48,519390	9,058625	13:43	14:20	C	30,35	4,03	24,27	37,24	DEBW136;DEBW107	50/22	79,72/52,30	15,90
Neckarbrücke	48,518520	9,058112	14:39	15:06	A	58,61	9,52	46,46	114,72	DEBW136	50	91,50	32,03

Tabelle 5.23: Messergebnisse - Tübingen.

Messort	Latitude [°]	Longitude [°]	Startzeit (MEZ)	Endzeit (MEZ)	Kate- gorie	NO <sub>2</sub> -Mittelwert gemessen [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Std [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Min [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> Max [µg/m <sup>3</sup> ]	Stationscode	Stations- jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	aktueller Stationswert [µg/m <sup>3</sup> ]	Extrapolierter Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]
Ringkirche	50,077616	8,2297281	08:03	09:17	A	53,38	22,87	21,04	218,40	DEHE037	53	67,28	42,04
Coulmstraße/Schwabacher Straße	50,082761	8,236188	10:55	11:25	A	70,06	21,02	34,98	240,26	DEHE112	53	37,67	98,58
Bahnhofsplatz	50,071356	8,242002	11:34	11:57	A	76,82	196,30	28,88	1540,67	DEHE112	53	35,25	115,51

Tabelle 5.24: Messergebnisse - Wiesbaden.

## 6 Zusammenfassung und Fazit

Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) ist aktuell der Luftschadstoff Nr. 1 in Deutschland und vielen anderen Industrieländern. 2015 überschritten in Deutschland ca. 60% der Umweltsstationen in der Kategorie Verkehr den zugelassenen EU-Jahresgrenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [3]. Damit liegt in fast jeder größeren deutschen Stadt eine Messstation über diesem Wert. Im Vergleich liegt eine Grenzwertüberschreitung für Feinstaub nur bei 2 Stationen in ganz Deutschland im Jahr 2015 vor. Hauptverursacher für die Stickstoffdioxidbelastung ist der Verkehr. Die Schadstoffbelastung wird gewöhnlich von 1 bis 2 Messstationen in einer Stadt erfasst. Nur wenige Städte haben mehr Messstationen. Damit stellen sich mehrere Fragen:

1. Wie gut spiegeln diese wenigen Stationen die wahre Belastung der Bevölkerung wider?
2. Wird die höchste Belastung überhaupt erfasst?
3. Wie großflächig ist sie?
4. Wird die Hintergrundbelastung in der Stadt (z.B. Nebenstraßen) tatsächlich ausreichend bestimmt?
5. Wie hoch ist die wahre Belastung für Verkehrsteilnehmer wie Radfahrer, die sich aufgrund der städtischen Radwegführung oft noch deutlich näher an den Emissionsquellen aufhalten als Fußgänger?

Um derartige Fragen zu beantworten, wurden in dieser Studie an insgesamt 16 Tagen Messungen der Stickstoffdioxidbelastung ( $\text{NO}_2$ ) in 12 deutschen Städten durchgeführt: Augsburg, Dortmund, Düsseldorf, Esslingen, Frankfurt, Freiburg, Köln, Mainz, München, Stuttgart, Tübingen und Wiesbaden. Diese Untersuchungen fanden im Zeitraum vom 15.02. bis 17.03.2016 statt. Dabei wurden typische Wochentage gewählt, bei denen nur eine geringe Abweichung von der mittleren Schadstoffbelastung vorliegt (Tage mit extremen Schadstoffbedingungen wurden ausgeschlossen). Die Messungen wurden mit dem eigens am Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg entwickelten mobilen ICAD- $\text{NO}_2$ -Messsystem durchgeführt. Dieses ermöglicht eine hohe Messgenauigkeit ( $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) bei einer Zeitauflösung von 2 Sekunden und ist durch sein geringes Gewicht, Robustheit und geringen Stromverbrauch ideal für derartige mobilen Untersuchungen geeignet. In dieser Studie wurden an insgesamt 125 stationären Punkten gemessen und bei 22 Fahrradfahrten die  $\text{NO}_2$  Belastung für den Radfahrer bestimmt. Letztere ist eine ganz neue Art der Untersuchung, da sie die reale Schadstoffbelastung des Radfahrers während einer typischen Fahrt in der Stadt untersucht. Während der stationären Messungen wurde jeweils typischerweise 20 bis 60 Minuten gemessen, um einen

für den Zeitpunkt repräsentativen Wert zu erhalten. Je stärker die Stickstoffdioxidwerte (beispielsweise durch Verkehrsvariation) schwankten, umso länger wurde gewöhnlich gemessen. Die erhaltenen Werte stellen dabei nur eine Momentaufnahme dar, die durch aktuelle Emission (vor allem Verkehr) und Meteorologie (vor allem Wind) stark beeinflusst wird. Es ist daher ganz typisch, eine starke Variation der Konzentrationen von  $\text{NO}_2$  je nach Verkehrssituation, Tageszeit und Wettersituation zu beobachten.

Die dabei gemessenen  $\text{NO}_2$ -Werte waren an vielen Orten deutlich erhöht. Es konnten Konzentrationen zwischen 12,14 und 123,07  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (im Mittel über die Messzeit) für die einzelnen Orte festgestellt werden. Zwischenzeitlich gab es Werte von über 1500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und damit klar über dem erlaubten Stundenmittelwert von 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (wenn dies auch nur kurze Zeitfenster betraf). Somit wurde eine deutliche Belastung mit erheblichen Gesundheitsrisiken für die Bevölkerung festgestellt.

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Messungen müssen die zeitlichen Variationen - verursacht durch die aktuelle Verkehrslage in der Nähe eines Messortes - und die meteorologischen Bedingungen korrigiert werden. Das verwendete Rechenmodell berücksichtigt derartige Effekte unter Zuhilfenahme der gleichzeitigen Messdaten der Umweltmessstationen. Damit werden die eigenen Messwerte zu einem repräsentativen extrapolierten Jahresmittelwert mit akzeptablen Fehlern umgerechnet (siehe Abschnitt 4.3). Diese ermöglichen einen direkten Vergleich verschiedener Messorte und Städte trotz verschiedener Tage, Zeiten und Wetterbedingungen. Außerdem kann ein direkter Vergleich mit dem zugelassenen Jahresgrenzwert von 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  erfolgen. Diese berechneten extrapolierten Jahresmittelwerte erreichen zwar nicht die Genauigkeit eines gemessenen Jahresmittelwertes, stellen aber eine gute Abschätzung dar und ermöglichen, es auffällige Standorte zu identifizieren.

## 6.1 Stationäre Messungen

Tabelle 6.1 gibt eine Übersicht über die durchgeführten stationären Stickstoffdioxidmessungen in den jeweiligen örtlichen Kategorien. Es ist außerdem angegeben, wie viele Messpunkte mit ihrem extrapolierten Jahresmittelwert über dem Jahresgrenzwert von 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen. In der Summe wurden 125 Messorte untersucht. Die bestimmten extrapolierten Jahresmittelwerte liegen zwischen 15,8 und 115,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . In Kategorie A (starker Verkehr) wurde an 89 Messorten gemessen, davon lagen 74,2% über dem Grenzwert. In Kategorie B (Städtischer Hintergrund) gab es 10 Messorte. Davon lagen 10% über dem Grenzwert. In Kategorie C (gemischt städtischer Verkehr und Hintergrund) gab es 25 Messorte, davon 52% über dem Grenzwert. In Abbildung 6.2 ist ein Balkendiagramm der Messortstatistik nach Städten aufgeschlüsselt gezeigt. Die häufige Überschreitung der Grenzwerte zeigt bereits, dass zu hohe Stickstoffdioxidbelastungen ein generelles, weit verbreitetes Problem in deutschen Städten darstellt. Daraus ergibt sich, dass mit entsprechenden Gesundheitsfolgen zu rechnen ist. Besonders in Kategorie A liegt ein großflächiges Problem vor, da hier gezeigt werden konnte, dass nicht nur einzelne Hauptverkehrsorte betroffen sind, sondern eine Vielzahl von Standorten mit viel Verkehr. Zu hohe Stickstoffdioxidbelastungen sind daher ein großflächiges Problem

Stadt/Kategorie	A	> 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	B	> 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	C	> 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Augsburg	7	4	1	0	2	1
Dortmund	8	7	1	0	3	1
Düsseldorf	8	7	1	0	-	-
Esslingen	3	0	-	-	-	-
Frankfurt	11	11	1	1	2	2
Freiburg	5	2	1	0	2	1
Köln	10	10	1	0	2	0
Mainz	7	6	1	0	1	1
München	17	12	1	0	4	1
Stuttgart	10	9	-	-	4	3
Tübingen	4	2	3	0	1	0
Wiesbaden	3	3	-	-	-	-
Summe	93	73	11	1	21	10

Tabelle 6.1: Übersicht über die vorgenommenen 125 Messungen: Anzahl der stationären Messungen in Kategorie A, B und C sowie Anzahl der jeweiligen Messungen deren extrapoliertes Jahresmittelwert über dem Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegt.

in deutschen Großstädten, wovon ein großer Teil der Bevölkerung direkt betroffen ist. Aber auch in Nebenstraßen (Kategorie C) liegen die extrapolierten Jahresmittelwerte an über der Hälfte der Messpunkte bedenklich über dem Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Zwischen den Städten konnten große Unterschiede in den Stickstoffdioxidbelastungen und Verteilungen festgestellt werden. Zwar sind in allen Städten, mit Ausnahme von Esslingen, Messorte mit extrapolierten Jahresmittelwerten über dem erlaubten Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  anzutreffen, ansonsten sind die Situationen jedoch sehr unterschiedlich. Die höchsten gemessenen Werte lagen an 2 Messpunkte in Wiesbaden und Düsseldorf mit extrapolierten Jahresmittelwerten über  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vor. Insgesamt 8 Werte lagen über  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die niedrigsten Werte wurden hingegen für Esslingen und Tübingen bestimmt.

Generell findet man die höchste Belastung für Messpunkte nah an Hauptverkehrsstraßen und Autobahnen, vor allem wenn durch eine enge und hohe Bebauung der Luftaustausch begrenzt ist. Daher ist an Straßen mit typischen Straßenschluchtcharakter mit deutlich höherer  $\text{NO}_2$ -Belastungen zu rechnen. An Straßen mit erhöhter Steigung treten ebenfalls höhere Werte auf, da durch die Bergauffahrt erhöhte Emissionen entstehen. Hingegen sind Messpunkt in Nebenstraßen, am Stadtrand oder an weit bebauten Orten mit guter Belüftung durch geringere Werte gekennzeichnet. Die direkte Nähe zu einer stark befahrenen Straße ist somit die Hauptursache für eine hohe Schadstoffbelastung, in Kombination mit einem schlechten Luftaustausch durch enge und hohe Bebauung, was je nach Stadt weniger oder öfter vorkommt.

Besonders problematisch zeigt sich die Lage in Dortmund, Düsseldorf, Frankfurt, Köln, und Stuttgart (wahrscheinlich auch in Wiesbaden, hier liegen jedoch nicht ausreichend

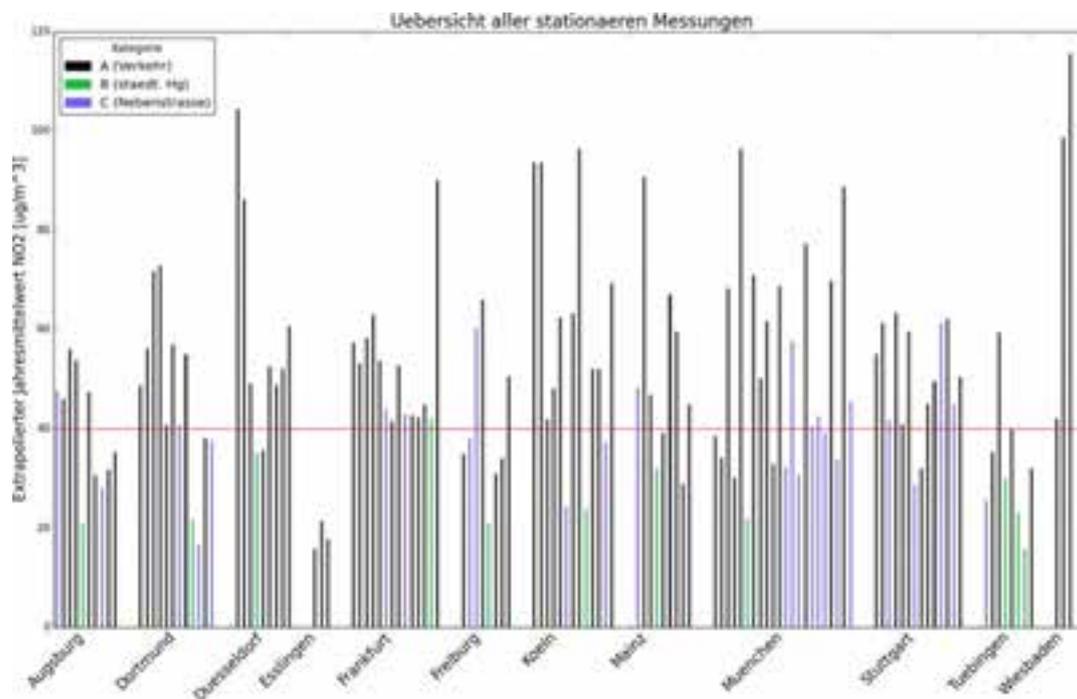


Abbildung 6.1: Extrapolierte Jahresmittelwerte aller stationären Stickstoffdioxid-Messungen für alle in dieser Studie untersuchten Städte. Die rote Linie gibt den Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an.

Messpunkte vor). In diesen Städten liegen die extrapolierten Jahresmittelwerte an fast allen Verkehrsmesspunkten über dem Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Außerdem konnte eine großflächig starke Stickstoffdioxidbelastung auch im städtischen Hintergrund festgestellt werden. Die hohe Belastung beschränkt sich daher nicht nur auf die Hauptverkehrsstraßen, wodurch von einer flächendeckenden Gesundheitsbelastung ausgegangen werden kann. Die Konzentrationen liegen an den Hauptverkehrsstraßen wie erwartet noch deutlich höher. Nur wenig besser ist die Situation in Mainz und München, wo ebenfalls eine Vielzahl der Verkehrsmesspunkte über dem Grenzwert liegen. Dabei werden sogar einzeln  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten. Erfreulich liegen in diesen beiden Städten an manchen Verkehrsmesspunkten der Jahresmittelwert deutlich unter  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Das heißt, große Unterschiede zwischen Verkehrsmesspunkten sind erkennbar. Auch im städtischen Hintergrund liegen die Werte meist knapp unter  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mögliche Ursache ist die bessere Belüftung in manchen Straßen. Die Belastung an den Hauptverkehrsstraßen ist jedoch sehr hoch und durch die Vielzahl derartiger Straßen liegt im Mittel dennoch eine sehr hohen Belastung in Mainz und München vor.

In den Städten Augsburg, Freiburg und Tübingen sind die Probleme hauptsächlich auf die Hauptverkehrsstraßen begrenzt. Abseits dieser sinkt die Belastung auf ein akzeptables Maß. Daher kann in diesen Städten tatsächlich behauptet werden, dass nur ein Teil der Bevölkerung an diesen Straßen von den hohen Schadstoffbelastung betroffen sind.

In Wiesbaden wurden nur Hauptverkehrsorte vermessen, daher ist keine konkrete Aus-

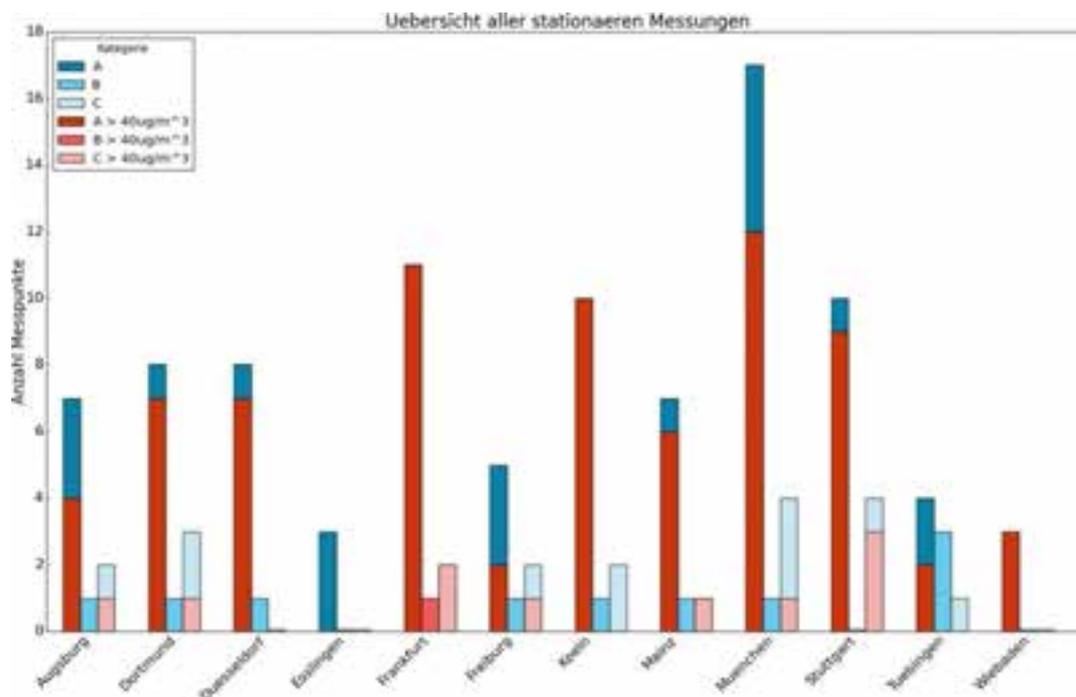


Abbildung 6.2: Plot zu Tabelle 6.1. Anzahl der Messorte pro Kategorie in jeder Stadt sowie Anzahl der Messorte mit extrapolierten Jahresmittelwerten über dem Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

sage über den Hintergrund möglich. Hauptverkehrsorte zeigen aber sehr hohe Belastungen auf, mit einem Rekordwert für den extrapolierten Jahresmittelwert von  $115,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , welcher an einer am Hang gelegenen Straße bestimmt wurde. Daher ist hier auch von einer wohl großflächigen Belastung im Hintergrund auszugehen.

Die Situation ist weniger problematisch in Esslingen, wo keine extrapolierte Jahresmittelwerte über dem Grenzwert bestimmt wurden.

Die hohe Anzahl an Messpunkten erlaubt es, ein genaueres Bild von der Verteilung des Stickstoffdioxids in den Städten zu erhalten und mit dem durch die Umweltmessstationen abgedeckten Messstellen zu vergleichen. Dabei zeigt sich, dass nicht in allen Städten die Abdeckung durch diese Messstellen optimal ist. In folgenden Städten wird die **höchste Belastung nicht abgedeckt**:

Dortmund	bestimmte extrapolierte Jahresmittelwerte bis zu $72,9$ bzw. $71,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zum Vergleich Umweltmessstation Brackeler Straße $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ → Übersteigerung des Stationswertes um 49% bzw. 46%
Düsseldorf	bestimmte extrapolierte Jahresmittelwerte bis zu $104,3$ bzw. $86,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zum Vergleich Umweltmessstation Corneliusstraße $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ → Übersteigerung des Stationswertes um 77% bzw. 46% (wobei zu berücksichtigen ist, dass der besonders hohe Wert auf eine Messung auf einer Verkehrsinsel mit Fahrrad zurückzuführen ist).

Köln	bestimmte extrapolierte Jahresmittelwerte bis zu $93,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zum Vergleich Umweltmessstation Clevischer Ring $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ → Übersteigerung des Stationswertes um 42%
Wiesbaden	bestimmte extrapolierte Jahresmittelwerte bis zu $115,5$ bzw. $98,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zum Vergleich Umweltmessstationen Ringkirche und Schiersteiner Str. $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ → Übersteigerung des Stationswertes um 118% bzw. 86%

Auch gibt es Städte, bei denen die **städtische Hintergrundkonzentration** (also die Belastung abseits der Hauptverkehrsstraßen) **nicht ausreichend bestimmt** ist. Es gibt keine repräsentativen Messstationen trotz hoher Belastung. Damit wird oft die Belastung für einen großen Teil der Bevölkerung, die in einem derartigen Gebiet wohnt, deutlich unterschätzt:

Dortmund
Düsseldorf
Frankfurt
Köln
Stuttgart

Allerdings gibt es auch Städte, bei denen **keine Auffälligkeiten im Vergleich zum Messnetz der Umweltmessstationen** beobachtet wurden, was bedeutet, dass die in diesem Bericht aufgeführten Werte ähnlich hoch wie die der Umweltmessstationen sind bzw. die Umweltmessstationen die verschiedenen Belastungen gut abbilden. Dies ist für folgende Städte der Fall:

Augsburg
Berlin <sup>1</sup>
Freiburg
Mainz
München
Tübingen

Ob Städte mit ihren wenigen Messstationen die Belastung per Zufall oder durch gute Planung ausreichend abdecken, kann hier nicht beurteilt werden. Prinzipiell ist ein dichteres Messnetzwerkes in den Städten sinnvoll, um verlässlich die Schadstoffbelastung der Bevölkerung zu bestimmen. Da dies aus Kostengründen nicht möglich ist, sollten mehr Bemühungen unternommen werden, um mit Untersuchungen wie der vorliegenden zu bestimmen, wie und wo Messstationen ergänzt oder versetzt werden sollten. Eine falsche Stationierung der Umweltmessstationen kann wie gezeigt dazu führen, dass die wahren Schadstoffbelastung deutlich unterschätzt wird. Zwar gibt es bekanntermaßen auch Interessenten an unterschätzten Werten, so sollte aber zum Schutz von Mensch und Natur dafür gesorgt werden, dass die wahre Belastung bestimmt und die Grenzwerte möglichst eingehalten werden.

---

<sup>1</sup>aus einer vorherigen Studie [1]

## 6.2 Fahrradmessungen

Tabelle 6.2 gibt eine Übersicht über alle 21 Fahrradmessungen, in der die gemessenen NO<sub>2</sub>-Werte über die Fahrradstrecke angegeben sind. Zu jeder Messfahrt wird das Messdatum und die Messzeit aufgeführt. Es sind der Mittelwert der gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen sowie das gemessene Minimum (NO<sub>2\_min</sub>) und Maximum (NO<sub>2\_max</sub>) eingetragen. Eine Umrechnung der gemessenen Werte auf einen extrapolierten Jahresmittelwert ist anders als bei stationären Messungen weniger aussagekräftig. Grund ist, dass der Radfahrer der Schadstoffbelastung während der Fahrt gewöhnlich zur Hauptverkehrszeit ausgesetzt ist. Von daher ist hier vor allem der Vergleich der zeitgleich gemessenen Werte mit denen einer Verkehrs-Umweltmessstation interessant. Dieser zeigt, wie die Belastung dazu für einen Fahrradfahrer sind. Eine Umrechnung auf einen Jahresmittelwert, der auch die Nacht und Wochenenden mit einbezieht, ist daher hier nicht sinnvoll.

Messort	Messtag (2016)	Messzeit (MEZ)	zugeordnete Station	gemessener Mittelwert NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2_min</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	NO <sub>2_max</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	zeitgleicher Stationsmesswert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Augsburg	26.2.	07:53 - 09:00	DEBY110	<b>55,6</b>	1,1	333,4	60,1
Dortmund 1	18.2.	09:20 - 09:32	DENW136	<b>63,4</b>	35,6	143,6	59,7
Dortmund 2 (Wallring)	19.2.	07:55 - 08:41	DENW136	<b>79,9</b>	58,0	218,0	75,8
Düsseldorf	17.2.	11:54 - 12:23	DENW082	<b>51,8</b>	27,9	254,1	54,3
Frankfurt 1 (Innenstadt-HR)	8.3.	08:06 - 08:42	DEHE041	<b>72,1</b>	37,8	229,9	65,5
Frankfurt 2 (Oper-Friedb.Lstr.)	8.3.	10:05 - 10:36	DEHE041	<b>63,5</b>	41,7	172,9	59,7
Frankfurt 3 (Friedb.Lstr.-Hbf)	8.3.	12:09 - 12:48	DEHE041	<b>62,5</b>	35,6	267,0	47,8
Freiburg 1	16.3.	09:48 - 10:15	DEBW122	<b>35,5</b>	5,4	897,8	37,8
Freiburg 2	16.3.	12:04 - 12:14	DEBW122	<b>28,5</b>	9,6	107,8	40,6
Köln 1	15.2.	14:44 - 15:36	DENW212	<b>47,4</b>	24,6	130,9	48,8
Köln 2 (Neumarkt-Hbf)	16.2.	08:06 - 08:21	DENW211	<b>56,0</b>	11,9	196,7	117,9
Köln 3	16.2.	09:02 - 09:14	DENW211	<b>60,3</b>	21,0	253,0	97,9
Köln 4 (zur Uni)	16.2.	11:55 - 12:12	DENW212	<b>48,6</b>	17,1	103,3	39,4
Köln 5 (nach Deutz)	16.2.	16:52 - 17:15	DENW212	<b>67,5</b>	22,6	501,6	48,2
Mainz	9.3.	08:04 - 09:17	DERP010	<b>53,4</b>	21,0	218,4	55,4
München 1 (-Innenstadt)	24.2.	17:47 - 19:39	DEBY037	<b>108,7</b>	45,6	664,5	90,3
München 2 (-Karlsplatz)	25.2.	08:00 - 08:11	DEBY037	<b>98,6</b>	44,0	264,4	80,3
München 3 (-Bayerstr.)	25.2.	09:18 - 09:25	DEBY037	<b>72,0</b>	39,5	315,6	90,0
München 4 (-Friedensengel)	25.2.	10:49 - 11:09	DEBY037	<b>87,5</b>	32,1	176,5	95,7
München 5 (-Landshuter Allee)	29.2.	12:23 - 12:42	DEBY037;DEBY115	<b>76,4</b>	41,7	195,8	83,6/104,2
Stuttgart	17.3.	08:25 - 09:03	DEBW116	<b>69,0</b>	38,1	737,2	119,5
Tübingen	15.3.	08:16 - 09:00	DEBW136	<b>71,4</b>	39,3	636,7	80,7

Tabelle 6.2: Ergebnisse für die Schadstoffbelastung für Fahrradfahrer.

Die Untersuchung zeigt, dass die Stickstoffdioxidbelastung für Fahrradfahrer generell sehr hoch ist, was durch die Nähe zur Quelle in Form von Verkehr zu erklären ist. Die mittlere bestimmte Belastung für einen Fahrradfahrer lag zwischen 47 und 107  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> (Ausnahme Freiburg mit 31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  aufgrund des am Messtag starken Windes mit generell geringerer Belastung). Kurzzeitige Werte von über 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> konnten regelmäßig bestimmt werden – eine Konzentration, die Gesundheitsexperten als „giftig“ einstufen, woraus auch der gesetzliche 1-Stunden-Grenzwert von 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> verständlich wird. In Freiburg war man während der Fahrradfahrt beim Überqueren einer Straße sogar bis zu 898  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub> kurzzeitig ausgesetzt.

Die Stickstoffdioxid-Belastung für Fahrradfahrer ist besonders hoch bei Radwegen auf der Straße. Es zeigt sich auch eine starke räumliche Variation der NO<sub>2</sub>-Konzentration.

Dabei sind einzelne Spitzen aber in der Regel kein Indikator für die generelle Situation an einem Ort, an denen sie aufgetreten sind, sondern entstehen dynamisch aus der Konstellation der voraus fahrenden Fahrzeuge, dem Abstand des Radfahrers zu diesen sowie der allgemeinen Umgebung und dem Wetter. Dementsprechend spielen der genaue Verlauf der Radwege und die Tageszeit der Fahrradfahrt, die die vorhandene Menge des Verkehrs beeinflusst, eine wichtige Rolle.

Aufgrund der verschiedenen Wettersituationen und Umweltbedingungen während der Fahrradmessungen in den unterschiedlichen Städten lassen sich diese nicht direkt vergleichen. So war die NO<sub>2</sub>-Belastung bei den Fahrradfahrten in München besonders hoch (73 bis 107 µg/m<sup>3</sup>), jedoch ist dies auch durch die an diesen Tagen generell sehr hohe Schadstoffbelastung (im Vergleich zum Jahresmittel) zu begründen. Auf der anderen Seite zeigt Freiburg einen Wert von nur 31 µg/m<sup>3</sup>, was jedoch an den sehr niedrigen Werten im Vergleich zum Jahresmittel an diesem Messtag liegt. Vergleicht man die Messwerte mit den zeitgleichen Werten der Umweltmessstationen (Verkehr), stellt man fest, dass die durchschnittliche Belastung als Radfahrer ähnlich hoch ist wie an den Stationen. Das heißt, als Radfahrer ist man ähnlich hohen NO<sub>2</sub> Belastung ausgesetzt wie sie an den stark belasteten Umweltmessstationen gemessenen werden, welche mehrheitlich über den Grenzwerten liegen. Und das, obwohl Radfahrer oft auch abseits der Hauptverkehrsstraßen unterwegs sind. Ursache ist, dass auf den Fahrradstrecken nahe am Verkehr die Belastung so hoch ist (deutlich höher als an den Messstationen), dass es die Fahrradstrecken abseits oder weiter entfernt vom Verkehr kompensiert. In den folgenden Städten wurden sogar Belastungen für Fahrradfahrer festgestellt, die über den zeitgleich gemessenen Werten der Umweltmessstation (Verkehr) liegen:

Dortmund	5% höher
Frankfurt	bis 29% höher
Köln	bis 40% höher
München	bis 22,5% höher

Es ist generell zu schlussfolgern, dass Fahrradfahrern in der Stadt einer sehr hohen NO<sub>2</sub>-Belastung ausgesetzt sind. Die hohen NO<sub>2</sub>-Belastungen an den Umweltmessstationen (Verkehr) sind ein guter Anhaltspunkt dafür, wie hoch die Belastung für die Radfahrer sind. Den hohen NO<sub>2</sub>-Werten sind also nicht nur die Menschen lokal im Gebiet der Messstation ausgesetzt, sondern gerade auch Radfahrer. Das bedeutet auch, dass in den Städten mit besonders hoher NO<sub>2</sub>-Belastung (Dortmund, Düsseldorf, Frankfurt, Köln, Mainz und Stuttgart) auch die Radfahrer typischerweise den höchsten Schadstoffwerten ausgesetzt sind. Aber auch die hohen Schadstoffkonzentrationen in den anderen Städten sind bei weitem nicht unbedenklich. Es ist aber anzunehmen, dass die Situation für Autofahrer vergleichbar oder sogar noch schlimmer ist (siehe unsere Studie zu Innenraummessungen im Pkw <sup>2</sup>). Fußgänger sind durchgängig ebenfalls einer sehr hohen Belastung ausgesetzt, temporär insbesondere auf Verkehrsinseln, an Ampeln und an Haltestellen.

---

<sup>2</sup>Alle veröffentlichten Studien, Berichte und Pressemitteilungen sind auf folgender Homepage einzusehen: [www.iup.uniheidelberg.de/aqmtec](http://www.iup.uniheidelberg.de/aqmtec)

Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass städtische Radwegeplanung vor allem abgelegene Fahrradwege und reine Fahrradstraßen forcieren sollte, um die Schadstoffbelastung für Radfahrer zu verringern. Dies sollte vor allem auch vor dem Hintergrund erfolgen, dass Radfahrer vorbildlich zur Entlastung des Verkehrsaufkommens und somit zur Verringerung der städtischen Schadstoffkonzentration beitragen. Aus den gemessenen  $\text{NO}_2$ -Werten bei einer Fahrradfahrt konnte eindeutig gezeigt werden, dass auf derartigen Fahrradwegen die Belastung deutlich niedriger ist. Dies gilt besonders bei niedriger städtischer Hintergrundkonzentration, konnte aber auch deutlich für Städte wie Stuttgart oder Freiburg gezeigt werden. Die höchsten Werte wurden erreicht, wenn die Fahrradwege mit auf der Straße verlaufen und viel motorisierter Verkehr anzutreffen ist.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] T. Oesterle, Dr. D. Pöhler, and Prof. U. Platt. Stationäre NO<sub>2</sub>- Messungen in Berlin. Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg, 2016.
- [2] Report on a WHO Working Group. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Bonn, Germany, 2003.
- [3] Umweltbundesamt. Aktuelle Luftmessdaten. <http://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten>.
- [4] WHO. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO Press, 2006.

## ➔Kein Geld von Industrie und Staat

Greenpeace ist international, überparteilich und völlig unabhängig von Politik, Parteien und Industrie. Mit gewaltfreien Aktionen kämpft Greenpeace für den Schutz der Lebensgrundlagen. Rund 580.000 Fördermitglieder in Deutschland spenden an Greenpeace und gewährleisten damit unsere tägliche Arbeit zum Schutz der Umwelt