

Räumlich hochauflösende NO₂-Messung rund um ein Tunnelportal

Beurteilung der Luftqualität in Hessen

12

NICOLAI FÖLL

Das Dezernat Luftreinhaltung, Immissionen (I2) führt seit vielen Jahren verschiedene Erhebungen zur Schadstoffbelastung der Luft in Hessen durch. Das Luftmessnetz des Landes, bestehend aus 35 kontinuierlich betriebenen Luftmessstationen, stellt hierbei das Rückgrat für die Beurteilung der Luftqualität dar. Diese liefern rund um die Uhr die momentanen Immissionskonzentrationen verschiedener anorganischer und organischer Gase, sowie des Feinstaubes in der Luft (nachzulesen im Lufthygienischen Jahresbericht).

Zusätzlich zu diesem Messnetz existieren noch 6 weitere Messprogramme, die relativ unabhängig von den Messstationen laufen können. Diese werden auch als „diskontinuierliche“, oder zutreffender als chemisch-analytische Messprogramme bezeichnet und umfassen die Erfassung von BTEX und NO₂ mit Passivsammlern, Metalle und PAK im Schwebstaub, Metalle im Staubniederschlag sowie die Erfassung von Feinstaubkonzentrationen mit der gravimetrischen Referenzmethode.

Der Begriff diskontinuierlich ist im Sinne des allgemeinen Sprachverständnisses für diese Messpro-

gramme oft nicht ganz zutreffend. Vielmehr handelt es sich um Programme, die überwiegend auf die Mitwirkung eines Analysenlabors angewiesen sind. Zunächst wird über verschiedene Sammler über eine gewisse Sammelzeit Material gesammelt. Das gesammelte Material wird dann im jeweiligen Labor aufbereitet und untersucht.

Im Gegensatz zu dem kontinuierlichen Luftmessnetz können die Ergebnisse der chemisch-analytischen Messprogramme aufgrund dieses Sammel- und Laboraufwands nicht kurzfristig veröffentlicht werden.

Dennoch übernehmen diese Programme eine wichtige Funktion und sind als integraler Bestandteil bei der Beurteilung der Luftqualität insgesamt zu verstehen. Teilweise lässt die Messaufgabe oder die Lage eines Messortes nur ein chemisch-analytisches Messprogramm zu. Entweder werden Komponenten gesucht, die über das kontinuierliche Luftmessnetz nicht erfasst werden können, oder die Untersuchung über einen Passivsammler stellt sich als günstigere und einfachere Alternative zum Aufbau einer Messstation heraus.

Das NO₂-Passivsammlermessprogramm

Beim NO₂-Passivsammlermessprogramm werden 9 cm lange, zylindrische Röhrchen eingesetzt, die ein spezifisches Adsorptionsmaterial beinhalten. Zwecks Doppelbestimmung werden 2 von diesen Röhrchen für ca. einen Monat zum Sammeln von Stickstoffdioxid (NO₂) in ein Wetterschutzgehäuse eingesetzt. Die Passivsammler beruhen auf dem Prinzip der pas-

siven Diffusion von NO₂ an einem adsorbierenden Medium. Bei diesem Medium handelt es sich um Triethanolamin, einem dreiwertigen Alkohol aus der Gruppe der Amine. Das Medium wird auf einem Edelstahlgitter aufgetragen. Dieses befindet sich im weißen Endstück des Röhrchens.



Abb. 1: NO₂-Passivsammlerröhrchen

Nach einer ausreichend langen Expositionszeit, diese beträgt in der Regel mindestens 2 und meist nicht mehr als 6 Wochen, können die Röhrchen im Labor analysiert werden. Die Menge des absorbierten NO₂ ist hierbei proportional zur Umgebungskonzentration. Im Labor wird die Probe extrahiert und über das Saltzman-Verfahren – das gängige Verfahren zur Bestimmung von Nitrit-Ionen und NO_x – bestimmt. Nach Ermittlung der Aufnahmezeit wird aus der ermittelten Masse anschließend über die Expansionszeit auf die NO₂-Konzentration zurückgerechnet.

Die Passivsammler kombinieren also zwei Verfahren (Adsorption von NO₂ und Saltzman-Verfahren) miteinander um auf die NO₂-Konzentration schließen zu können.



Abb. 2: Wetterschutzgehäuse

Die ersten NO₂-Messungen mittels Passivsammler starteten in Hessen vor 8 Jahren. Anfänglich war dieses Messprogramm nur als Versuch geplant. Da das HLNUG über kein eigenes Chemielabor verfügt, erfolgte die Analyse inklusive der Bereitstellung der Sammler über die Firma Passam AG in der Schweiz.

Seit diesen Anfängen ist das Messprogramm stetig gewachsen und erreichte im Jahre 2015 mit insgesamt 29 Messpunkten seine bisher höchste Anzahl.

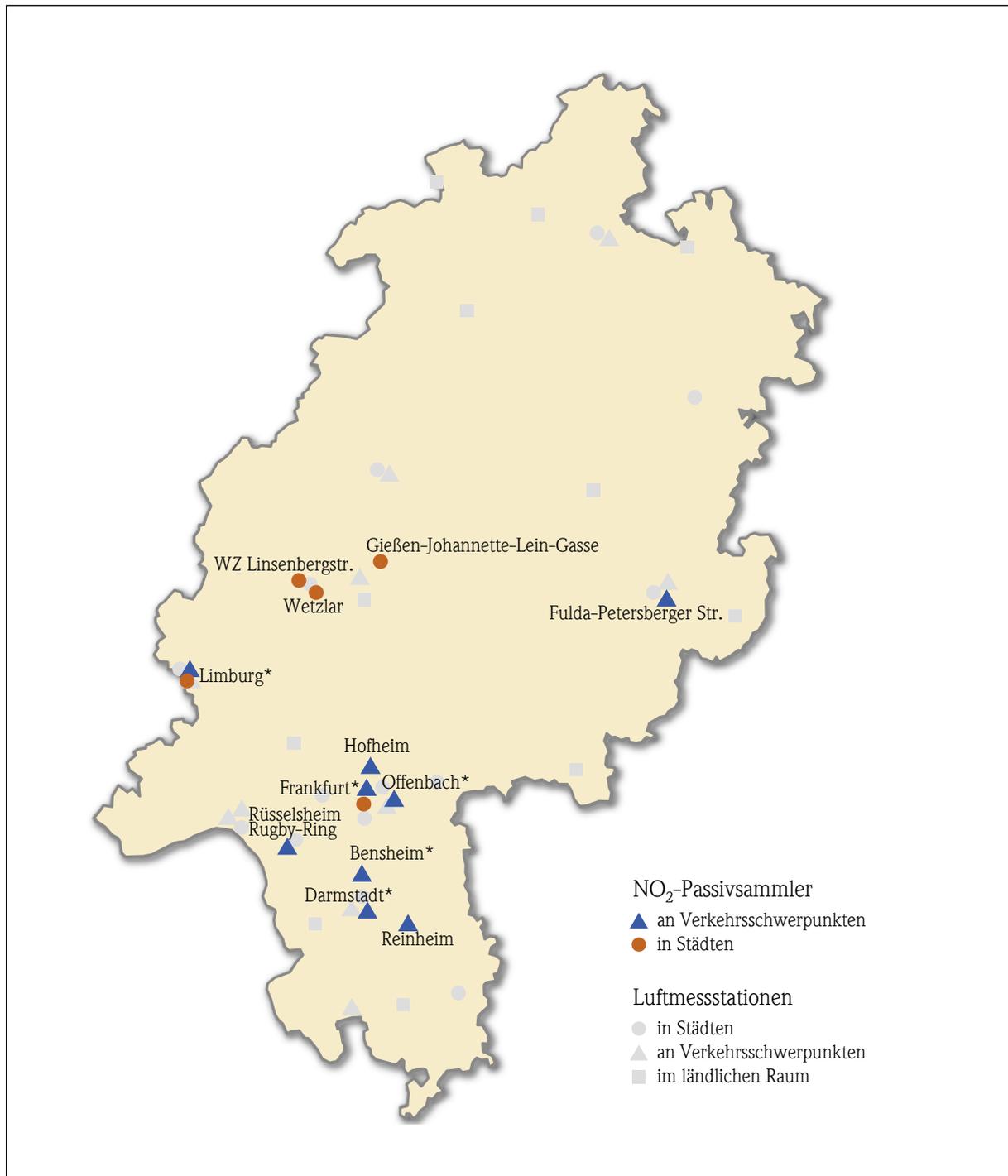


Abb. 3: Hessenkarte NO₂-Passivsammlermessnetz

Erläuterung:

* Hier befinden sich mehrere Passivsammlermesspunkte in einem kleinräumigen Gebiet.

Datengrundlage: Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation

Geofachdaten: © HLNUG – alle Rechte vorbehalten

Vor- und Nachteile der Passivsammler

Im Jahr 2015 wurde die Stickstoffdioxidkonzentration im Luftmessnetz an 35 Stationen mit NO_x -Analytoren gemessen. Diese Messgeräte können sowohl die Stickstoffmonoxid- (NO) als auch die Stickstoffdioxidbelastung (NO_2) kontinuierlich erfassen. Im gleichen Jahr wurde an weiteren 29 Messpunkten (inkl. 6 Referenzmessstellen) die Stickstoffdioxidkonzentration mittels NO_2 -Passivsammler erfasst. Acht dieser zusätzlichen Messpunkte befanden sich allein in Darmstadt.

Mit den Passivsammlern können allerdings in der Regel nur Zweiwochenmittelwerte als kleinste Auflösung erfasst werden. Diese Auflösung reicht in den meisten Fällen aus, da der Jahresmittelwert die problematische Größe darstellt. Für Stickstoffdioxid existieren 2 Grenzwerte. Als Grenzwert für kurzfristige Belastung darf der 1-h-Mittelwert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht öfter als 18-mal im Jahr überschritten werden. Zum Schutz vor langfristiger Belastung gilt der Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Grenzwert. Das heißt, Passivsammler können nicht für die Überwachung der kurzfristigen Belastung (Stundenwerte) wohl aber für die der langfristigen Belastung herangezogen werden. Im Jahr 2015 wurden in Hessen 13 Jahresmittelwertüberschreitungen (6 aus dem kontinuierlichen Messnetz und 7 aus dem Passivsammler-messnetz) erfasst.

Da die chemische Analyse der Passivsammler durch das Labor erst nach der Sammelphase erfolgen kann, ist eine zeitnahe Verfügbarkeit der Messwerte nicht möglich. Selbst nach der Analyse liegen zunächst nur Rohwerte vor. Die endgeprüften Messergebnisse können erst nach dem Abgleich mit dem Referenzverfahren am Ende des Jahres erzeugt werden. Bei diesem Verfahren handelt es sich um das Chemilumineszenz-Referenzmessverfahren (DIN EN 14211)

der im Luftmessnetz eingesetzten NO_x -Analytoren. Um den Abgleich zu ermöglichen, wurden deshalb 6 Passivsammlermesspunkte an ausgewählten Messstationen des kontinuierlichen Messnetzes errichtet.

NO_2 -Passivsammler eignen sich für Messorte, an denen der Aufbau einer Messstation unvorteilhaft wäre, oder nicht möglich ist. Ihr Vorteil ist der simple Aufbau und die Sammelmethode, da weder ein Strom-, noch ein Datenanschluss benötigt wird. Das Wetterschutzgehäuse, beispielsweise angebracht an einem Laternenmast, ist wegen der geringen Maße (10 cm Durchmesser und ca. 12 cm Höhe) sehr unauffällig und beeinflusst auch nicht die Umgebung in dem Maße wie eine Messstation. Die Sammler können zur Überwachung des Langzeittrends und zur Erfolgskontrolle von Maßnahmenplänen eingesetzt werden, wenn es sich z. B. nur um die Überwachung des NO_2 -Langzeitgrenzwerts handelt. Sie können auch zum Vergleich mit nahegelegenen Messorten eingesetzt werden, um somit auf einfache Weise kleinräumige Änderungen der Stickstoffdioxidbelastung in einem abgesteckten Gebiet zu ermitteln. Die Komplexität dieser Messmethode liegt eher in der Analyse der Probe und der späteren Berechnung des Endwertes. Ein weiterer nicht unbedeutender Vorteil der Passivsammler sind die im Vergleich zur Anschaffung und zum Betrieb eines NO_x -Analytators geringen Kosten. Dies macht dieses Verfahren auch für Gemeinden erschwinglich.

Trotz der hier genannten Nachteile (geringe zeitliche Auflösung, geringere Genauigkeit als das Referenzmessverfahren) ist das NO_2 -Passivsammler-messprogramm durch seine Vorteile (einfacher Einsatz, geringe Kosten, Überwachung des kritischen Jahresmittelwerts möglich) immer mehr gefragt. Dies zeigt das stetige Anwachsen dieses Programmes.

Die Problematik der Stickstoffdioxidbelastung

Stickstoffdioxid ist ein rotbraunes, chlorähnlich riechendes, giftiges Gas, das bei niedrigeren Temperaturen eine blass gelbe Färbung annehmen kann. Als Spurengas ist es vor allem in Bodennähe der Atmosphäre zu finden. In höheren Konzentrationen kann es beim Einatmen als stechend empfunden werden.

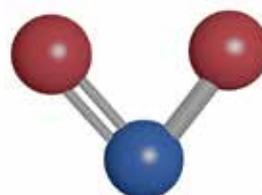


Abb. 4: Stickstoffdioxidmolekül

Das aus 2 Sauerstoffatomen und einem Stickstoffatom bestehende Molekül ist nicht brennbar, kann aber brandfördernd sein. Es hat außerdem eine stark oxidierende und korrosive Wirkung.

Mit Wasser (H₂O) kann das Gas zu Salpetersäure (HNO₃) reagieren. Diese Reaktion erfolgt zwar langsam, kann aber durch einen hohen Anteil an Stickstoffdioxid und Energie (Wärme) begünstigt werden. Durch diese Reaktion entsteht im schlimmsten Fall saurer Regen. In der kalten Jahreszeit kann durch die Reaktion mit Ammoniak partikelförmiges Ammoniumnitrat entstehen, was die Belastung durch Feinstaub (PM_{2,5} / PM₁₀) erhöht.

Auch bei weiteren photochemischen Prozessen spielt Stickstoffdioxid eine wichtige Rolle. Als Spurengas in der Atmosphäre kann es zusammen mit Kohlenwasserstoffen bei intensiver Sonneneinstrahlung zur Bildung von Ozon, sowie weiteren Photooxidantien beitragen. Diese reaktiven Oxidationsmittel haben wiederum als Reizstoffe eine negative Wirkung u. a.

auf unsere Atemwege und das Wachstum der Pflanzen (bis hin zu Planzenschäden).

Stickstoffdioxid ist für die Atemorgane ein Reizgas und kann bei längerer Einwirkung vermehrt zu Atemwegserkrankungen, wie z. B. chronischer Bronchitis, führen.

Stickstoffoxide NO_x (Sammelbegriff für Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂)) entstehen überwiegend als unerwünschte Nebenprodukte bei der Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen mit hoher Temperatur. Der mit Abstand größte Verursacher ist in Ballungsräumen der Verkehr, aber auch Hausfeuerungen und Hochtemperaturprozesse in der Industrie tragen einen Anteil bei. Während Stickstoffmonoxid relativ schnell zu Stickstoffdioxid oxidiert, bleibt das chemisch stabilere Stickstoffdioxid länger in der Atmosphäre vorhanden.

Vor allem an den stark befahrenen Straßen in größeren Städten werden die Jahresgrenzwerte für NO₂ überschritten.

Situation in Darmstadt

Die Wissenschaftsstadt Darmstadt gehört mit ca. 154.000 Einwohnern zu den vier größten Städten in Hessen. Die im südlichen Teil von Hessen gelegene Stadt liegt im Ballungsraum Rhein-Main und bildet den Knotenpunkt zum Odenwald, Frankfurt und den im Süden und Westen liegenden Bundesländern (Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz).

Die Innenstadt von Darmstadt ist allgemein von einem relativ hohen Verkehrsaufkommen und somit auch von einer recht hohen Schadstoffbelastung betroffen. Dies lässt sich jedoch nicht allein auf das eigene Verkehrsaufkommen zurückführen, sondern hängt auch mit dem starken Pendlerverkehr, sowie mit dem Durchgangs- bzw. Abkürzungsverkehr zusammen.

Die Lage der Messstation „Darmstadt-Hügelstraße“ repräsentiert die Verkehrsbelastung in besonderem Maße. Die Hügelstraße ist eine stark befahrene Straße, die die Autobahn A672 und die Bundesstraße B26 von Ost nach West quer durch die Stadt auf direktem Weg verbindet. Die Ausfahrt eines City-Tunnels liegt auf diesem Weg ca. 100 Meter von der Luftmessstation entfernt. Daran schließt sich eine

relativ hohe und engstehende Bebauung mit einem Straßenschlucht ähnlichen Charakter an. Hierdurch wird eine Durchlüftung der Straße erschwert. Die Messungen an der Station Darmstadt-Hügelstraße weisen aus diesem Grund schon seit Jahren besonders hohe NO₂-Belastungen auf. Durch die Wohnbebauung ist auch eine relevante Exposition der Bevölkerung gegeben, insbesondere in Bezug auf die langfristige Belastung.



Abb. 5: Darmstadt-Hügelstraße

Die Rastermessung, Planung und Ausführung

Um den Einfluss des City-Tunnels auf die NO_2 -Konzentration in der Hügelstraße genauer zu untersuchen, wurde schon im Jahr 2013 ein Passivsammler-Messpunkt (mit der Bezeichnung DaH1) in ca. 200 Meter Entfernung vom Tunnelportal aufgebaut. Dies entsprach ungefähr der doppelten Entfernung vom Cityportal zur Luftmessstation.

Die im Rahmen der Luftreinhalteplanung erstellten Ausbreitungsrechnungen im Bereich der Hügelstraße deuteten darauf hin, dass im Umfeld der Messstation gegebenenfalls noch höhere NO_2 -Konzentrationen zu erwarten wären.

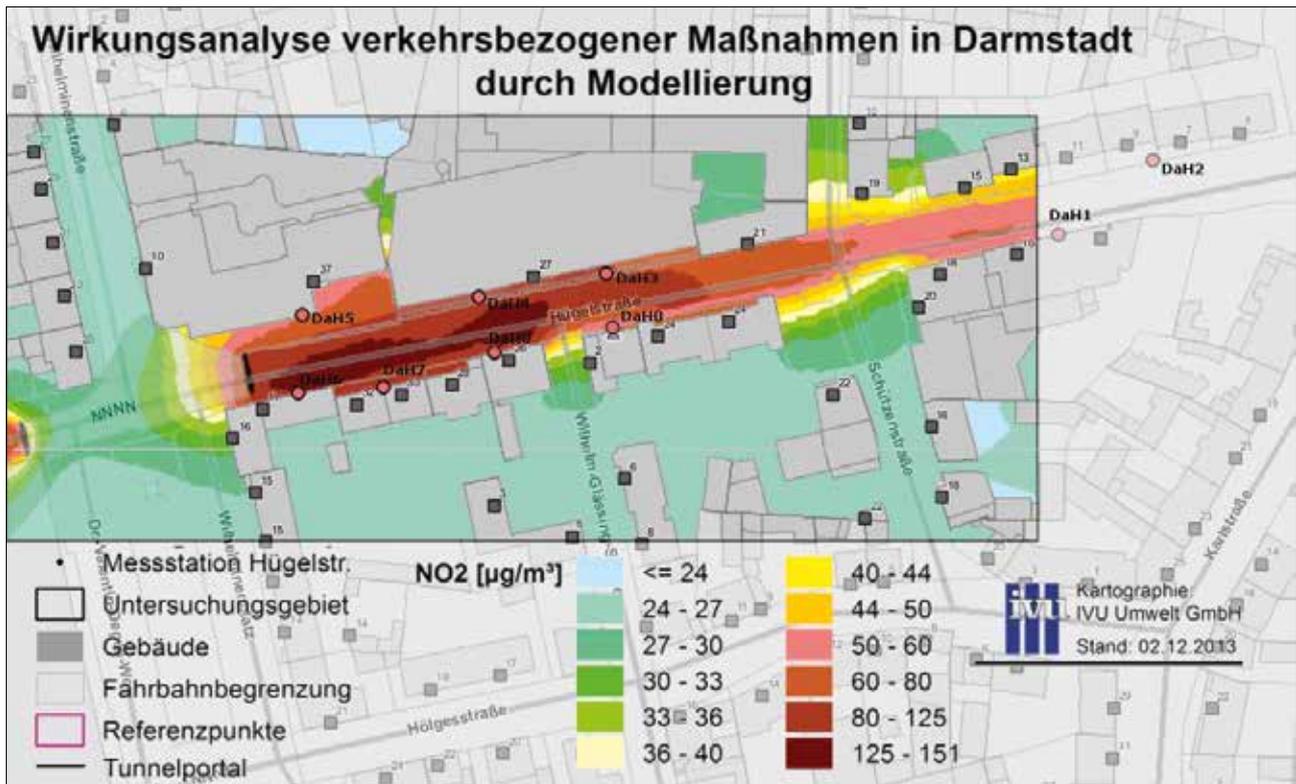


Abb. 6: Ausbreitungsrechnung (Quelle: IVU-Bericht „Wirkungsanalyse verkehrsbezogener Maßnahmen in Darmstadt durch Modellierung“. Originalmodellierung wurde nachträglich redaktionell bearbeitet.)

Dieses Ergebnis führte zu der Idee eine „Rastermessung“ mit NO_2 -Passivsammlern in einem begrenzten Straßenabschnitt der Hügelstraße durchzuführen. Die roten Punkte mit den Bezeichnungen „DaH“ in Abb. 6 zeigen die ausgewählten Messpunkte für die Rastermessung an. Die Frage war, ob sich die Ergebnisse der Modellierung anhand der Passivsammlermessung nachvollziehen und verifizieren lassen.

Es wurde mit Absicht ein relativ enges Netz von Probenahmepunkten, im Abstand von ca. 25 Metern von Messpunkt zu Messpunkt an einer Straßenseite, gewählt. Um die Messungen besser mit der Modellierung vergleichen zu können, wurden weitere Messpunkte in gleicher Höhe auf der gegenüberliegenden Straßenseite ausgewählt. Somit

war es auch möglich, Konzentrationsunterschiede im gesamten Straßenabschnitt zu erfassen. Um die Wetterschutzgehäuse für die Sammler anzubringen, werden geeignete Montagestellen benötigt. Dies schränkte die Messpunktauswahl ein. Besonders gut eignen sich z. B. Laternenmaste, Straenschilder oder Fallrohre. Es wurden insgesamt 7 Punkte nahe des Tunnelportals ausgewählt, wobei ein Punkt an der Messstation (DaH0) als Referenzpunkt dienen sollte. Zwei weitere Punkte (DaH1 und DaH2) sollten zum Vergleich mit dem Gebiet außerhalb des modellierten Bereichs in ca. 100 Meter Entfernung zu den Punkten DaH0 und DaH3 aufgebaut werden. Als einer von diesen Punkten war der schon existierende Punkt DaH1 vorgesehen.

Tab. 1: Die Messpunkte der Rastermessung

DaH1



Abb. 7: Messpunkt DaH1

Dieser Punkt wurde schon im Jahr 2013 aufgebaut um die NO₂-Immissionssituation der Hügelstraße in etwas weiterer Entfernung zum Tunnelportal zu untersuchen. Während der Rastermessung diente dieser Punkt als Vergleichsmessung zu den Punkten im modellierten Bereich.

DaH2



Abb. 8: Messpunkt DaH2

Dieser Punkt liegt diagonal gegenüber von DaH1. Er dient ebenso wie DaH1 als Vergleichspunkt zu den Messergebnissen im modellierten Bereich.

DaH3



Abb. 9: Messpunkt DaH3

Dieser Punkt liegt innerhalb der Modellierung und gehört zu den beiden Messpunkten am Parkhaus. Er liegt gegenüber der Messstation.

DaH4



Abb. 10: Messpunkt DaH4

Dies ist der zweite Punkt am Parkhaus. Dies ist der zweite Punkt am Parkhaus. Er liegt genau gegenüber Punkt DaH8, dem Messpunkt mit der höchsten gemessenen NO₂-Konzentration.

DaH5



Abb. 11: Messpunkt DaH5

Der Punkt flankiert mit DaH6 das Ende des City-Tunnels und bildet das westliche Ende der Rastermessung. Allerdings ist dieser Punkt weiter vom Tunnelportal entfernt als DaH6.

DaH6



Abb. 12: Messpunkt DaH6

Der Punkt flankiert mit DaH5 das Ende des City-Tunnels und bildet das westliche Ende der Rastermessung. Dieser Punkt befindet sich direkt über dem Bürgersteig der Hügelstraße.

DaH7



Abb. 13: Messpunkt DaH7

Der Punkt DaH7 bildet den südlichsten Punkt der Rastermessung und befindet sich auf einer Grünfläche. Von allen Punkten auf der südlichen Straßenseite, ist dieser am weitesten von der Straße entfernt.

DaH8



Abb. 14: Messpunkt DaH8

Dieser Punkt befindet sich am unmittelbaren Ende der Tunnelausfahrt. An diesem Punkt wurden während des Messjahres die höchsten Konzentrationen erfasst.



Der Start der Rastermessung erfolgte im Sommer 2014.

Abb. 15: Messpunkt DaH0

Der Punkt DaH0 bildet den Referenzpunkt der Rastermessung. Er befindet sich genau an der Messstation und ist somit dem gleichen Konzentrationsniveau ausgesetzt wie der NO_x-Analysator.

Messergebnisse

Das Ergebnis des einjährigen Messprogramms wird in der folgenden Abbildung dargestellt:

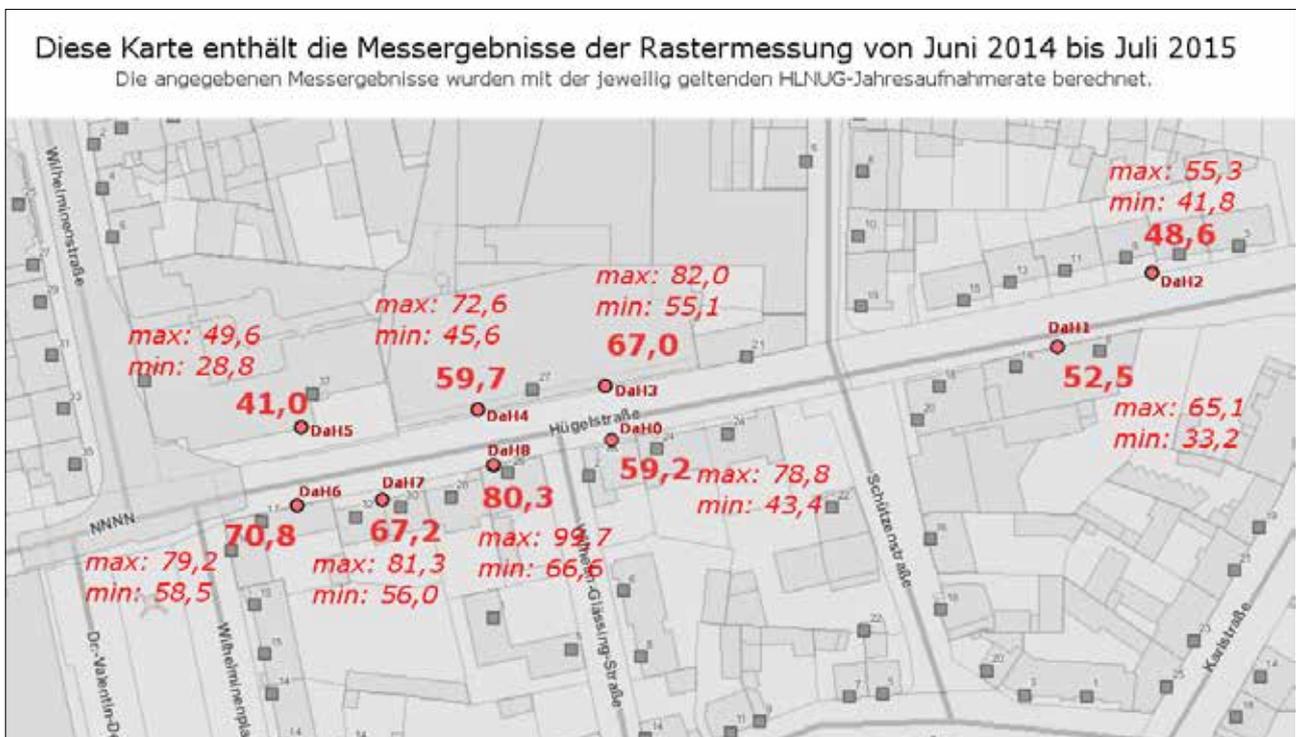


Abb. 16: Ergebnisse der Rastermessung

In Bezug auf die räumliche Verteilung der Belastung ist zusammenfassend eine recht gute Übereinstimmung zwischen der Modellierung und den Messergebnissen zu erkennen. Die räumlich hochauflösende Rastermessung deutet, ähnlich wie die Modellierung,

darauf hin, dass bei weiterer Annäherung an den Tunnelausgang auch im Wohnbereich durchaus noch höhere Immissionsbelastungen als an der Luftmessstation auftreten können.

Tab. 2: Vergleich Modellierung und Messwerte

Messpunkt	Messwert	angenommener Messbereich nach den Ergebnissen der Modellierung	zutreffender Messbereich nach dem Messwertergebnis
DaH0	59,2	60-80	50-60
DaH1	52,5	–	50-60
DaH2	48,6	–	44-50
DaH3	67,0	80-125	60-80
DaH4	59,7	80-125	60-80
DaH5	41,0	50-60	40-44
DaH6	70,8	125-151	60-80
DaH7	67,2	80-125	60-80
DaH8	80,3	80-125	80-125

Das gemittelte Ergebnis der Messung von 59,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei DaH0 (Messstation) stimmt recht gut mit dem Ergebnis der Modellierung von 60-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ überein. Dies trifft auch für den Punkt mit den am höchsten ermittelten Konzentrationen zu – DaH8. Hier liegt der gemessene Jahresmittelwert bei ca. 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ während die Modellierung im Bereich von 80-125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt.

Im Vergleich fällt auf, dass die Modellierung insgesamt eher zu höheren Ergebnissen tendiert. Dies zeigt die obere Tabelle deutlich. Eine etwas stärkere Abweichung zwischen Modellierung und Messergebnis wurde nur bei Messpunkten DaH5 und DaH6 festgestellt. Dennoch passen auch die Ergebnisse dieser Punkte gut in das kleinräumige Muster, der

mit den beiden sehr unterschiedlichen Methoden ermittelten und damit dokumentierten Immissionsbelastung. Zu bedenken dabei ist, dass ein Modell die Realität immer nur mit gewissen Einschränkungen abbilden kann. Gemessen daran ist die generelle Übereinstimmung als sehr gut zu bezeichnen.

Beim Vergleich der Monatsmittelwerte der Passivsammler fällt vor allem das mehr oder weniger konstante Verhältnis zwischen den Messpunkten auf. In der Regel werden die NO_2 -Konzentrationen durch die Jahreszeiten beeinflusst. In der kalten Jahreszeit ist eher mit höheren Konzentrationen zu rechnen. Dies ist im gesamten erfassten Gebiet der Rastermessung allerdings nicht zu erkennen.

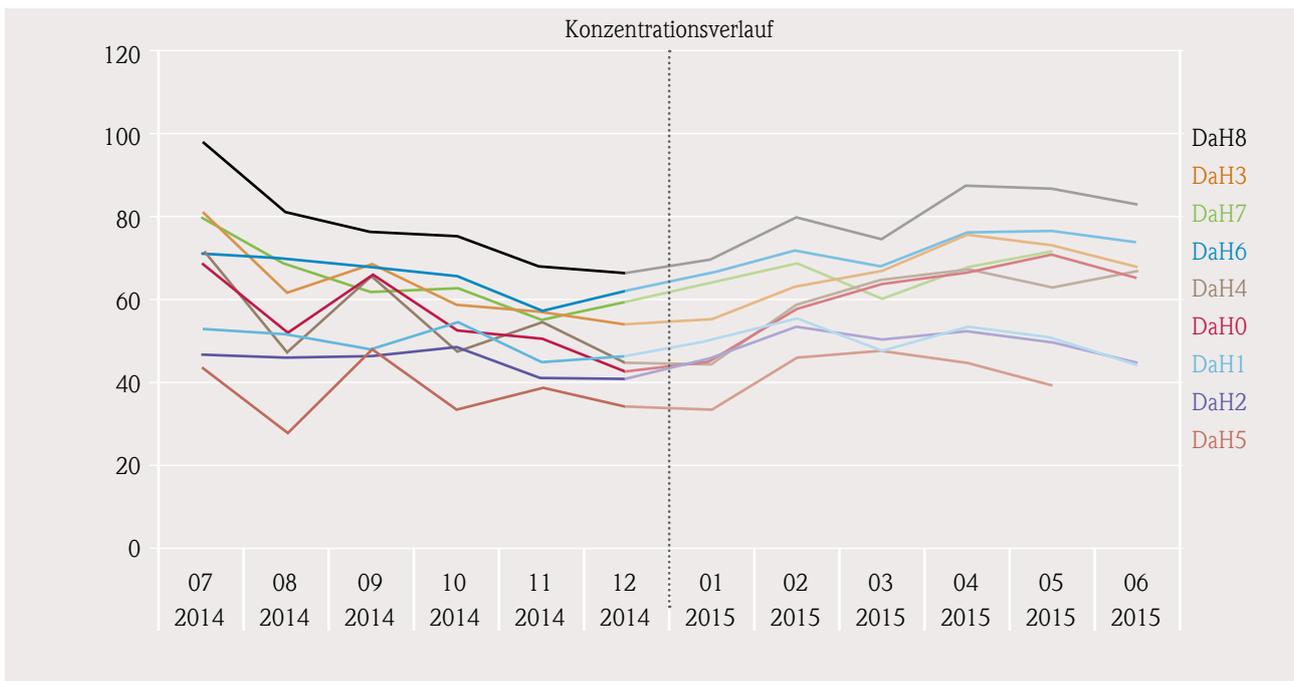


Abb. 17: Konzentrationsverlauf

Fazit

Durch die Rastermessung hat sich bestätigt, dass mit weiterer Annäherung an das Tunnelportal noch höhere NO₂-Konzentrationen auftreten können als an der Luftmessstation. Eine Verlagerung der Station an den Ort, an dem die höchsten Konzentrationen gemessen wurden (DaH8), ist aufgrund der Standortbedingungen nicht möglich.

Dies ist jedoch auch nicht notwendig, da eine Überschreitung des Jahresgrenzwerts von 40 µg/m³ ohnehin an jedem Messpunkt ermittelt wurde. Auch an der Luftmessstation ist der Grenzwert so deutlich überschritten, dass Maßnahmen für die Luftreinhalteplanung damit ausreichend gut begründet sind. Somit ändert sich für die Beurteilung der Immissions-situation in der Stadt Darmstadt und für die Luftreinhalteplanung nichts an der gegenwärtigen Situation.

Ein möglicher Grund für die etwas niedrigeren Konzentrationen an der Luftmessstation könnte die Wilhelm-Glässing-Straße sein, eine Straße zwischen dem Tunnelportal und der Station. Diese scheint für eine geringfügig bessere Durchlüftung zu sorgen. Darauf deutet zumindest die Modellierung (Abb. 6) hin.

Mit der NO₂-Passivsammler Messmethode lassen sich mit relativ geringem Aufwand Modellierungen nachverfolgen. Die einfache Handhabung der Sammler macht diese Art der Messung, auch bei anderen Fragestellungen, vielseitig einsetzbar.

Weiterführende Messungen

Im Sommer 2015 endete die Rastermessung an der Hügelstraße in Darmstadt. Zur weiterführenden Überwachung der NO₂-Konzentration wurde der Passivsammlermesspunkt mit der höchsten Belastung (DaH8) beibehalten. Zusätzlich wurde auch DaH0 als Referenzpunkt dauerhaft in das NO₂-Passivsammlermessprogramm aufgenommen.

Die Jahresmittelwerte für das Jahr 2015 bestätigen die Ergebnisse der Rastermessung.

Der Jahresmittelwert von 81,1 µg/m³ am Messpunkt DaH8 liegt sogar geringfügig höher als der ermittelte Wert in der Zeitspanne der Rastermessung (Messwert von Juni 2014 bis Juli 2015: 80,3 µg/m³). Dies trifft ebenso auf den Jahresmittelwert des Referenzpunktes – DaH0 – mit einer Konzentration von 60,5 µg/m³ zu.

Die Messungen an diesen beiden Punkten werden somit auch in den Jahren 2016 und 2017 fortgesetzt.