



**Hintergrundpapier**  
**Bestimmung realer NO<sub>x</sub>-Emissionen von**  
**schweren Nutzfahrzeugen im**  
**Fahrbetrieb auf europäischen Autobahnen**

**Projektleiter**

Dr. A. Friedrich

**Stellvertretender Projektleiter**

S. Annen

**Autoren**

S. Annen, R. Helmerich

Berlin, 27. Oktober 2021

## Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	3
2. Einleitung.....	3
3. Messverfahren.....	4
4. Datenerhebung.....	9

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 AirYX ICAD NO <sub>2/x</sub> Analyser .....	4
Abbildung 2 Plume Chasing Verfahren.....	5
Abbildung 3 Reproduzierbarkeit der Messung.....	7
Abbildung 4 Grafische Darstellung der Ergebnisse der Messungen .....	8
Abbildung 5 Punktwolkenbildung der NO <sub>x</sub> -Konzentration .....	9

## 1. Vorwort

Die Deutsche Umwelthilfe (DUH) kämpft seit vielen Jahren für saubere Luft, die für unsere Gesundheit und unsere Lebensqualität unverzichtbar ist. Zudem ist die Verringerung von Luftschadstoffen für den Klimaschutz unerlässlich. Der Straßenverkehr trägt wesentlich zur Luftverschmutzung bei. Vor diesem Hintergrund hat die DUH Anfang 2016 das Emissions-Kontroll-Institut (EKI) gegründet, um belastbare und transparente Informationen zum tatsächlichen Schadstoffausstoß im Straßenverkehr zu ermitteln und bereitzustellen.

Bereits im November 2020 hatte die DUH erste eigene Messungen vorgestellt und auf das Problem hingewiesen, dass Emissionswerte von Lkw im realen Betrieb deutlich höher sein können als bei der Zulassungsmessung bzw. als es der Abgasstandard erlaubt. Dies ist nicht nur aus Gründen der Luftreinhaltung ein großes Problem, sondern untergräbt darüber hinaus die Zielsetzung der Lkw Maut, die in vielen europäischen Ländern nur auf Grundlage der offiziellen Zulassungswerte (bzw. Abgasstandards) erhoben wird.

Die Messungen auf europäischen Autobahnen an verschiedensten schweren Nutzfahrzeugen (HDV) aller relevanter Hersteller und Abgasnormen erlauben einen umfassenden Überblick über die von ihnen tatsächlich verursachten Stickstoffoxid- ( $\text{NO}_x$ -) Emissionen im realen Fahrbetrieb. Damit entsteht eine solide Datenbasis auf der Grundlage von rund 700 Einzelmessungen.

Unsere Messungen zeigen, dass eine Minderheit an HDV für einen signifikanten Anteil der  $\text{NO}_x$ -Emissionen des gesamten Güterverkehrs auf der Straße verantwortlich ist. Um dem entgegenzuwirken, bedarf es effektiver Kontrollen zu deren Identifizierung sowie wirksamer Sanktionen für technisch ungenügende oder manipulierte HDV.

## 2. Einleitung

Die DUH misst seit mehr als fünf Jahren in ihrem Emissions-Kontroll-Institut Abgasemissionen von Fahrzeugen im realen Betrieb. Das in diesem Projekt angewandte Plume Chasing Verfahren ermöglicht, eine Vielzahl an HDV zu messen und Fahrzeuge mit unzureichender, defekter oder manipulierter Abgasnachbehandlung zuverlässig zu identifizieren. Hintergrund dieser Messungen sind insbesondere vorliegende Informationen über vorsätzlich manipulierte Abgasreinigungssysteme bei HDV, die den Speditionen einen ungerechtfertigten Wettbewerbsvorteil ermöglichen. Hierbei wird durch Änderungen im Abgassystem, an der Fahrzeugsoftware oder durch den Einbau eines sogenannten AdBlue Emulators der Harnstoffverbrauch reduziert oder bis auf null gesenkt. Die Kosteneinsparung hat dramatische Folgen:

Ohne den notwendigen Harnstoff für die Abgasnachbehandlung steigen die NO<sub>x</sub>-Emissionen drastisch an.

Bei unseren Messungen wurden die Emissionen mittels eines mobilen ICAD Distanzerfassungssystems der Firma AirYX ermittelt. So konnte jedes einzelne HDV anhand der Emissionen entsprechend der jeweiligen Euro Abgasnorm in die verschiedenen Kategorien eingeteilt werden.

Die HDV Messungen wurden durch die Firma AirYX technisch unterstützt und haben zur Weiterentwicklung und Optimierung des Plume Chasing Verfahrens beigetragen.

### 3. Messverfahren

Die Messungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen der HDV erfolgt nach dem „Plume Chasing“ Verfahren<sup>1</sup> mittels eines ICAD NO<sub>x</sub> und CO<sub>2</sub> Analysators der AirYX GmbH.



Abbildung 1 AirYX ICAD NO<sub>2/x</sub> Analyser

Das Basisprinzip der Plume Chasing Messung besteht darin, einem HDV in moderatem Abstand einige Minuten mit dem Messfahrzeug zu folgen und einen Teil des Abgas-Luft Gemischs aus der Abgasfahne des vorausfahrenden HDV in das Messgerät zu leiten. Hierfür kann ein beliebiges Fahrzeug mit dem mobilen Messgerät ausgerüstet werden. Zur Entnahme des Abgas-Luft Gemischs aus der Abgasfahne des vorausfahrenden HDV wird ein als

---

<sup>1</sup> Pöhler et al. 2019, NO<sub>x</sub> RDE measurements with Plume Chasing - Validation, detection of high emitters and manipulated SCR systems, Proceedings of the Transport and Air Pollution Conference, [https://www.tapconference.org/assets/files/previous-conferences/proceedings/2019\\_Proceedings.zip](https://www.tapconference.org/assets/files/previous-conferences/proceedings/2019_Proceedings.zip), 2019.

Messsonde dienender NO<sub>x</sub>-resistenter PTFE Schlauch an der Frontstoßstange des Messfahrzeugs angebracht und durch ein Seitenfenster in das Messgerät im Wageninneren geführt, siehe Abbildung 2.

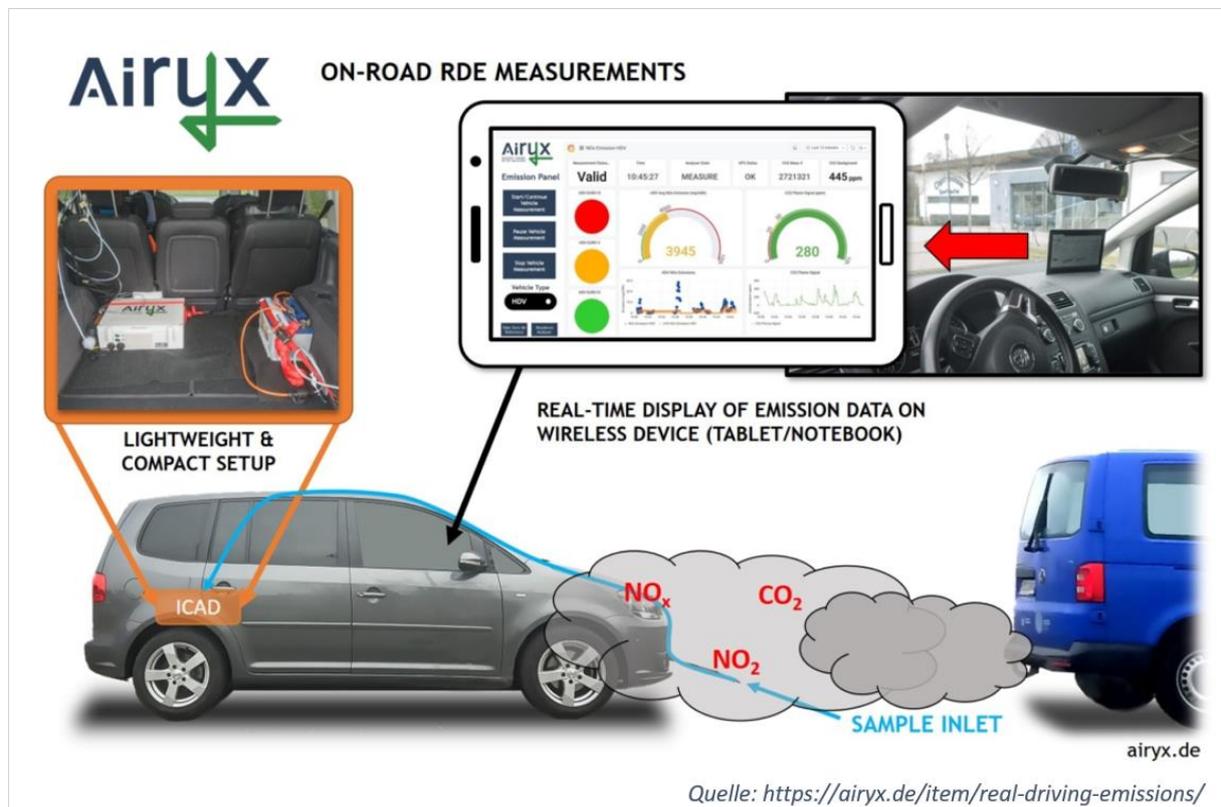


Abbildung 2 Plume Chasing Verfahren

Das mobile ICAD-NO<sub>x</sub>-200DM (Iterative Cavity Enhanced Differential Optical Absorption Spectroscopy) Messgerät ist nach wenigen Minuten Aufwärmphase und ohne aufwendige Kalibrierung direkt einsatzbereit. Als User Interface dient ein handelsüblicher Tablet Computer oder auch ein Notebook, welches über LAN oder WLAN mit dem Messgerät verbunden werden kann. Die Messdaten werden in Echtzeit angezeigt und sowohl kontinuierlich als auch manuell gestartet und gestoppt, für jedes einzelne HDV segmentiert, erfasst und aufgezeichnet. Letzteres erleichtert die nachträgliche Zuordnung der Messdaten.

Durch das Messsystem wird kontinuierlich die aktuelle lokale CO<sub>2</sub>-Hintergrundimmission bestimmt. Um sicherzustellen, dass sich die Messsonde in der Abgasfahne des vorausfahrenden Fahrzeugs befindet, werden Messpunkte erst als valide erfasst, sobald die gemessene CO<sub>2</sub>-Konzentration mindestens 30 parts per Million (ppm) über der lokalen CO<sub>2</sub>-Hintergrundimmission liegt. Die Bestimmung der NO<sub>x</sub>-Emissionen erfolgt über das Konzentrationsverhältnis der Gase CO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> im entnommenen Teil der Abgasfahne. Dieses Verhältnis bleibt bei verschiedenen Verdünnungsgraden der Abgasfahne mit der Umgebungsluft weitgehend stabil. Über dieses Konzentrationsverhältnis kann sehr genau Rückschluss auf die NO<sub>x</sub>-Gesamtemissionen des vorausfahrenden HDV während der Messung gezogen werden.

Für die Ausgabe der Messwerte in mg/kWh wird eine Effizienz des HDV Antriebs von 40 Prozent angenommen, welche dem üblichen Betrieb von HDV im optimalen Betriebsbereich entspricht. Das bietet den Vorteil, dass auch bei Schwankungen im Betriebsbereich, wie leichten Bergauf- oder Bergabfahrten, valide Werte erfasst werden können. Vollastfahrt, bspw. auf Autobahnauffahrten, oder vollständige Schubabschaltung beim Ausrollen bleiben bei den Messungen jedoch unberücksichtigt.

Abhängig von den Umgebungsbedingungen ist die Messung eines HDV nach zwei bis zehn Minuten vollständig und valide, was bedeutet, dass mindesten 45 valide Einzelmesspunkte über die Messdauer erfasst wurden. Anschließend wird mit der Messung des nächsten HDV fortgefahren. Zeiten zwischen Messungen, also außerhalb der Abgasfahne eines vorausfahrenden Fahrzeugs, werden vom Messgerät genutzt, um erneut die lokale CO<sub>2</sub>-Hintergrundimmission zu bestimmen.

Es wurde stets darauf geachtet, dass eine Verfälschung durch dritte Verkehrsteilnehmer möglichst ausgeschlossen wird. Hierfür wurde bei Kolonnenfahrten stets nur das vorderste Fahrzeug gemessen und die gesamte Messfahrt per Video dokumentiert, um dies bei Auffälligkeiten in der späteren Datenauswertung erneut überprüfen zu können. Die Videoaufnahmen haben sich auch als hilfreich zur nachträglichen Identifizierung von Hersteller, Herkunftsland, Kennzeichen oder Abgasnorm erwiesen, sofern dies nicht schon während der Messung erfolgt ist.

Vergleichsmessungen mit den Sensors PEMS Geräten des EKI der DUH in vergangenen Jahren, haben gezeigt, dass dieses Verfahren realistische und vergleichbare Daten erhebt (DUH, 2019).

Umfangreiche Messungen mit diesem System wurden in Dänemark, im Auftrag der dänischen Straßenverkehrsbehörde, durchgeführt. Gemeinsam mit der dänischen Polizei wurden 480 HDV gemessen, von denen 30 HDV wegen verdächtig hohen NO<sub>x</sub>-Emissionswerten anschließend von der Polizei aus dem Verkehr gezogen und überprüft wurden. Bei allen rausgezogenen HDV konnte in der weiteren Überprüfung ein Defekt oder eine Manipulation des Abgasreinigungssystems festgestellt werden.<sup>2</sup>

Darüber hinaus verdeutlichen die in der Vergangenheit durchgeführten Messungen des EKI, ebenfalls per Plume Chasing Verfahren, dass sich die Emissionswerte bei wiederholter Messung reproduzieren lassen. So wurden im Rahmen von Messungen an Stadtbussen drei der untersuchten Busse ein zweites Mal auf einem weiteren Streckenabschnitt gemessen, um

---

<sup>2</sup> <https://fstyr.dk/da/-/media/FSTYR-lister/Publikationer/ReportDenmark2020v101.pdf>

sicherzustellen, dass die Messergebnisse reproduzierbar sind. Die folgende Abbildung veranschaulicht dies (s. Abb. 3).

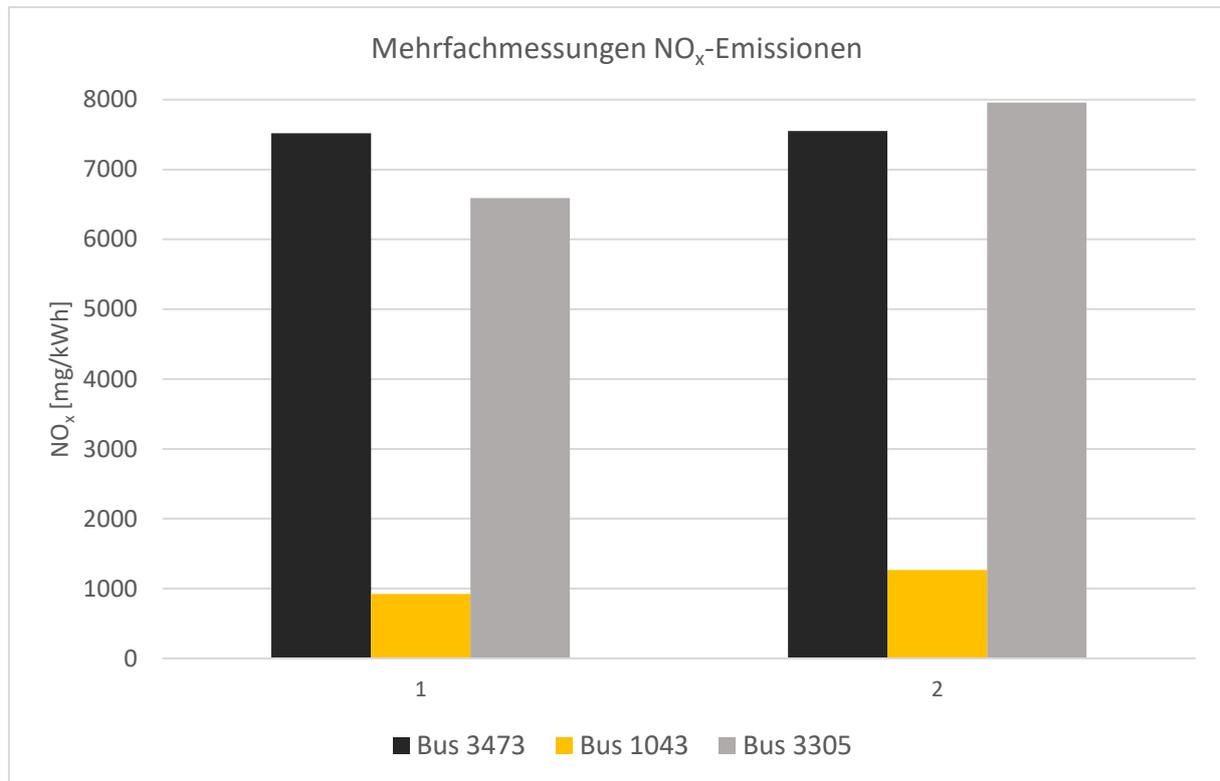


Abbildung 3 Reproduzierbarkeit der Messung

Vergleichsmessungen mit den SENSOR PEMS-Geräten des EKI der DUH haben in den vergangenen Jahren gezeigt, dass diese Methode realistische und vergleichbare Daten liefert (DUH, 2019).

Wir haben zeitgleich mit dem TÜV Nord öffentliche Dieselbusse im Berliner Stadtgebiet untersucht, um zwei unterschiedliche Messmethoden zu vergleichen. Unser DUH EKI verwendete die "Plume Chasing"-Methode, die mit einem ICAD NO<sub>x</sub>- und CO<sub>2</sub>-Analysator der AirYX GmbH arbeitet, während der TÜV Nord die PEMS-Methode mit einem System von SENSORS INC. verwendete. Ziel war es, die Machbarkeit zukünftiger Messungen mit Plume Chasing anstelle von PEMS aufzuzeigen, da diese zahlreiche Vorteile bieten. PEMS-Systeme sind recht kompliziert zu installieren, sie benötigen eine Aufheizphase und einen Kalibrierungslauf mit Referenzgasen. Die Ergebnisse sind in der Tat genauer, aber der Aufwand ist im Vergleich zum schnell installierten Plume Chasing Verfahren recht hoch. Die einzige Herausforderung bei der Verwendung von Plume Chasing besteht darin, in stark befahrenen Stadtzentren gültige Daten zu erhalten, da es zahlreiche äußere Einflüsse gibt und das System verdünnte Emissionen benötigt.

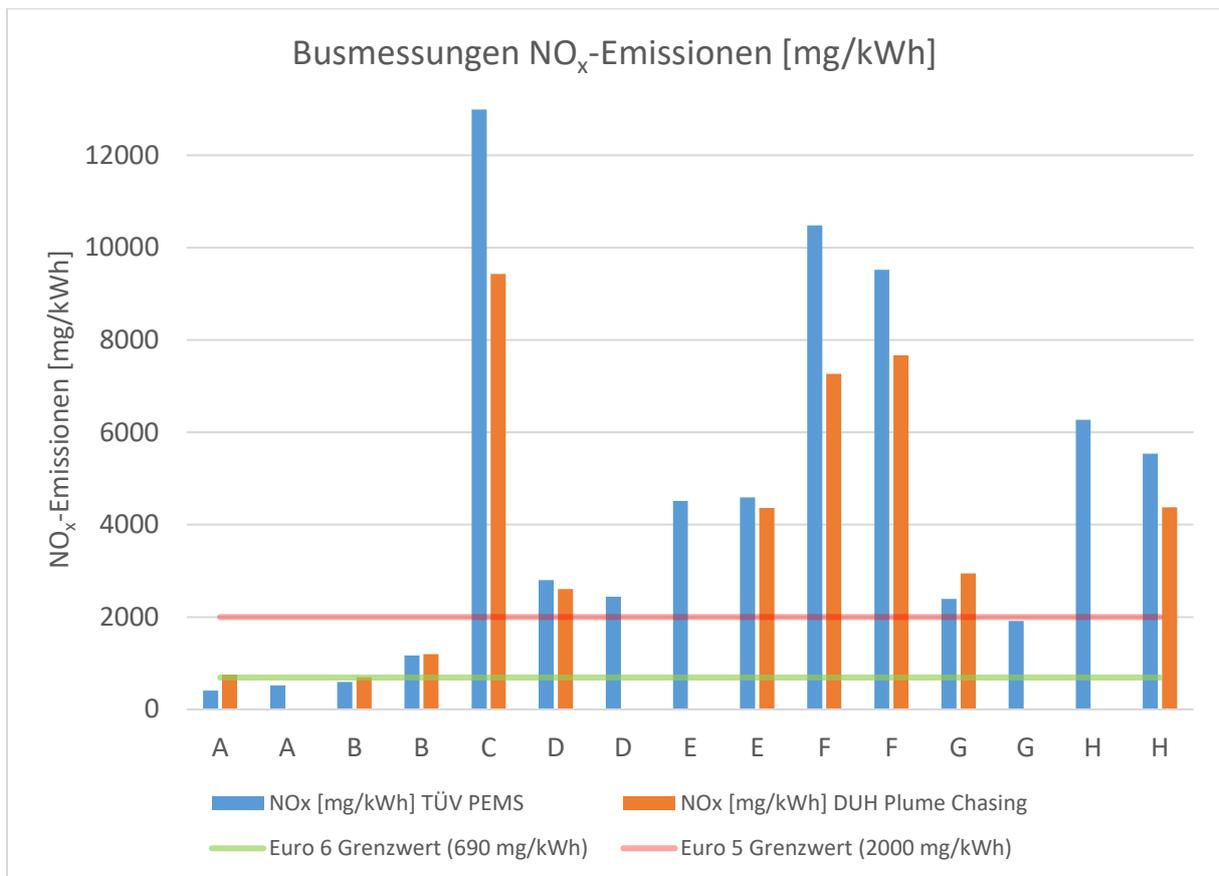


Abbildung 4 Grafische Darstellung der Ergebnisse der Messungen

Das Diagramm zeigt die Übereinstimmung beider Methoden bei der Erkennung von Fahrzeugen mit hohen und niedrigen Schadstoffemissionen, die in beiden Fällen ordnungsgemäß funktioniert. Die Abweichung bei den Fahrzeugen mit hohem Schadstoffausstoß weist auf die Grenzen der Plume Chasing Methode hin.

Nichtsdestotrotz ist das Ergebnis, dass diese Methode für zukünftige Messungen geeignet ist, um Busse mit hohen Schadstoffemissionen oder HDVs überhaupt zu erkennen. In der Folge könnten diese Fahrzeuge zu weiteren Tests oder sogar zu Bußgeldern verurteilt werden.

## 4. Datenerhebung

Die Messungen wurden auf deutschen und innereuropäischen Autobahnen und Fernstraßen zwischen Januar 2020 und September 2021 durchgeführt. Aus rund 800 Einzelverfolgungsfahrten konnten 700 Datensätze erstellt werden, aus denen 545 als valide hervorgingen.

Die Auswahl der gemessenen HDV erfolgte entsprechend der vorliegenden Verkehrslage. Das Messfahrzeug schert dabei hinter dem zur Messung ausgewählten HDV ein und die Messaufzeichnung wird gestartet. Sobald die Abgasfahne des vorausfahrenden HDV erkannt wird, die Messsonde sich weiterhin in der Abgasfahne befindet und der CO<sub>2</sub>-Schwellwert von 30 ppm über der Hintergrundimmission überschritten wird, werden die Datenpunkte für das jeweilige individuelle HDV einem Datensatz zugeordnet. In der Regel bildet sich nun eine Punktwolke der NO<sub>x</sub>-Konzentration aus, aus der die NO<sub>x</sub>-Emissionen für das jeweilige Fahrzeug bestimmt werden. Die folgende Abbildung veranschaulicht, wie sich Punktwolken aus den einzelnen Messpunkten der NO<sub>x</sub>-Konzentrationen zweier LKW bilden.

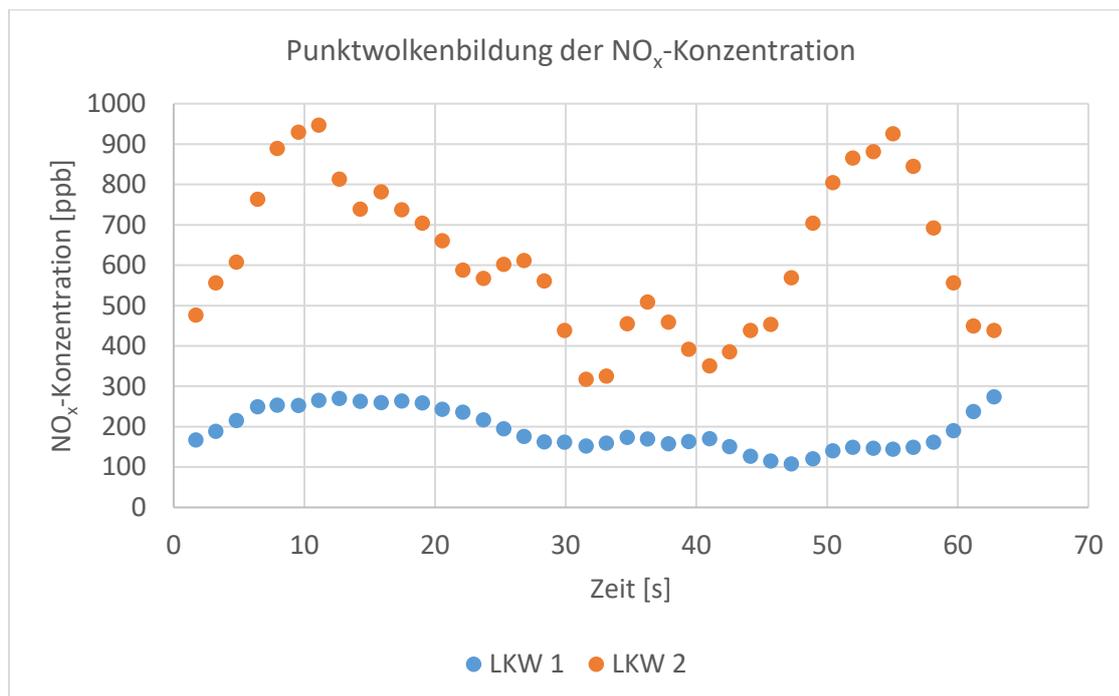


Abbildung 5 Punktwolkenbildung der NO<sub>x</sub>-Konzentration

Der Verlauf wird durch einen Graphen und eine Messpunktvolke mit variabel einstellbarem Zeitintervall auf der Benutzeroberfläche des Messsystems visualisiert. Sobald die für eine valide Messung nötigen 45 Datenpunkte gesammelt wurden kann die Messung beendet und damit das individuelle Datensegment abgeschlossen werden. Bei Bedarf, bspw. wenn eine

hohe Volatilität der gesammelten Daten beobachtet wird, kann die Messung für das Sammeln weiterer Messpunkte im Segment fortgesetzt werden. Anschließend werden alle relevanten Daten wie Zeit, Hersteller, Modell, Abgasnorm, Herkunftsland des gemessenen Fahrzeugs dokumentiert und zusätzlich, für eine spätere Überprüfung, der Überholvorgang des HDV von einer Dashcam aufgezeichnet. Speziell die Dokumentation und Bestimmung der Abgasnorm sind hier besonders relevant, um im post processing eine tatsächliche Grenzwertüberschreitung festzustellen.

**Deutsche Umwelthilfe e.V.**

Bundesgeschäftsstelle Berlin  
Hackescher Markt 4  
10178 Berlin  
Tel.: 030 2400867-0

**Projekt Emissions-Kontroll-Institut**

Deutsche Umwelthilfe e.V.  
Simon Annen  
Projektmanager Verkehr &  
Luftreinhaltung  
Hackescher Markt 4  
10178 Berlin

**Projektleiter**

Dr. Axel Friedrich  
Telefon: +49 152 29483857  
E-Mail:  
axel.friedrich.berlin@gmail.com

**Ansprechpartnerin**

Dorothee Saar  
Leiterin Verkehr & Luftreinhaltung  
Hackescher Markt 4  
10178 Berlin  
Telefon: +49 30 2400867-72  
E-Mail: saar@duh.de

**Datum und Ort der Messung:** 2020 bis 2021, internationale Autobahnen

**Titelfoto:** DUH

[www.duh.de](http://www.duh.de) [@ info@duh.de](mailto:info@duh.de) [umwelthilfe](https://twitter.com/umwelthilfe) [umwelthilfe](https://www.facebook.com/umwelthilfe)

 Wir halten Sie auf dem Laufenden: [www.duh.de/newsletter-abo.html](http://www.duh.de/newsletter-abo.html)



Die Deutsche Umwelthilfe e.V. (DUH) ist als gemeinnützige Umwelt- und Verbraucherschutzorganisation anerkannt. Sie ist mit dem DZI-Spendensiegel ausgezeichnet. Testamentarische Zuwendungen sind von der Erbschafts- und Schenkungssteuer befreit.

Wir machen uns seit über 40 Jahren stark für den Klimaschutz und kämpfen für den Erhalt von Natur und Artenvielfalt. Bitte unterstützen Sie unsere Arbeit mit Ihrer Spende – damit Natur und Mensch eine Zukunft haben. Herzlichen Dank! [www.duh.de/spenden.html](http://www.duh.de/spenden.html)