
Pilotprojekt zu Emissionsmessungen mittels Remote Sensing Devices

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen
Fahrzeugtechnik Heft F 159

Pilotprojekt zu Emissionsmessungen mittels Remote Sensing Devices

von

Stewart Hager

Hager Environmental & Atmospheric Technologies (HEAT), Knoxville/USA

Thorsten Kathmann, Martin Brandt, Tobias Roggendorf, Michael Scharrenbroich

DTV-Verkehrsconsult GmbH, Aachen/DE

Jens Borken-Kleefeld, Wien/AT

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Seit 2015 stehen die Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 84.0531
Pilotprojekt zu Emissionsmessungen mittels Remote Sensing Devices

Fachbetreuung:
Sigrid Limbeck

Referat:
Emissionen im Kraftfahrzeugbereich

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion:
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Gestaltungskonzept:
MedienMélange:Kommunikation

Druck und Verlag:
Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53 | Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9307 | ISBN 978-3-95606-814-0 | <https://doi.org/10.60850/bericht-f159>

Bergisch Gladbach, Dezember 2024

Kurzfassung

Pilotprojekt zu Emissionsmessungen mittels Remote Sensing Devices

Die Emissionen des Straßenverkehrs stellen eine wesentliche Umweltbelastung dar. Deshalb ist eine realitätsnahe Ermittlung der Emissionen hilfreich, um zielgerichtete Analysen durchzuführen und Maßnahmen abzuleiten. Ein Remote Sensing System (RS-System) bietet die Möglichkeit solche Emissionsdaten zu erfassen.

Die vorliegende Pilotstudie zeigt die Möglichkeiten und Grenzen eines vertikal ausgerichteten RS-Systems bei der Erfassung der gesetzlich limitierten Fahrzeugemissionen (CO, NO, NO₂, HC, PM) auf Bundesautobahnen. Sie gibt Aufschluss über die Kriterien und Randbedingungen zur Standortauswahl zur Positionierung eines Systems an deutschen Verkehrswegen im Besonderen von Bundesautobahnen (BAB), sowie die Datenschutzerfordernungen, die bei dieser Art der Kennzeichenerfassung beachtet werden müssen. Darüber hinaus zeigt die Pilotstudie, dass das RS-System in 12 Tagen die hohe Anzahl von über 123.000 Messwerten aufnehmen kann, von denen über 84% valide sind. Die Verknüpfung der Emissionsmesswerte mit den dazugehörigen Motorkenndaten, welche vom Kraftfahrtbundesamt bereitgestellt werden, wurde erfolgreich durchgeführt.

Erstmals werden Remote Sensing Emissionsdaten aus dem Realbetrieb auf einer BAB in Deutschland betrachtet. Exemplarisch wurden einige Analysen durchgeführt. Die Auswertungen zeigen sehr deutliche Minderungen der NO_x- und PM-Emissionen mit der neuesten Abgasstufe Euro 6d für Pkw und Euro VI für Lkw im Vergleich zu vorherigen Abgasstufen. Die Messdaten zeigen im Vergleich zum HBEFA 4.2 höhere fahrzeugbezogene Emissionsniveaus.

Die in diesem Projekt erzeugte Datenbasis ermöglicht es, **Emissionsmessungen** an Straßen und sogar von Autobahnen und **Emissionsmodellierung** systematisch und im Detail zu vergleichen. Weiter besteht die Möglichkeit Hinweisen auf eine möglicherweise defizitäre Abgasreinigung von Fahrzeugtypen der Fahrzeugflotte durch gezielte Überprüfungen an auffälligen Fahrzeugen nachzugehen.

Abstract

Pilot project on emission measurements using remote sensing devices

Emissions from road traffic represent a significant environmental burden. Therefore, a realistic determination of emissions is helpful to perform targeted analyses and to derive measures. A remote sensing system (RS system) offers the possibility to collect such emission data.

This pilot study shows the possibilities and limitations of a vertically oriented RS system for the recording of legally limited vehicle emissions (CO, NO, NO₂, HC, PM) on federal freeways. It provides information on the criteria and boundary conditions for site selection for positioning a system on German traffic routes, in particular on federal freeways (BAB), as well as the data protection requirements that must be observed for this type of license plate recording. In addition, the pilot study shows that the RS system can record the high number of over 123,000 readings in 12 days, of which over 84% are valid. The linking of the emission readings with the associated engine characteristics data, which are provided by the Federal Motor Transport Authority, was successfully carried out.

For the first time, remote sensing emission data from real operation on a freeway in Germany are considered. A number of analyses were carried out as examples. The evaluations show very significant reductions in NO_x and PM emissions with the latest exhaust control Euro 6d for cars and Euro VI for trucks compared to previous exhaust control stages. The measured data show higher emission levels compared to values from HBEFA 4.2.

The database generated in this project makes it possible to compare emission **measurements** on roads and even freeways and emission **modeling** systematically and in detail. Furthermore, it is possible to follow up indications of a possibly deficient exhaust gas cleaning of vehicle types of the vehicle fleet by targeted checks on conspicuous vehicles.

Summary

Pilot project on emission measurements using remote sensing devices

1. Initial situation and objective

The realistic determination of vehicle emissions in real traffic is important in order to be able to analyze them appropriately and implement targeted measures. A Remote Sensing System (RS-System) offers the possibility to collect emission data contactless and interference-free in flowing traffic. With the vertically aligned Emission Detection and Reporting (EDAR) system of the company HEAT a test series is accomplished in this study. The aim of the research project is to demonstrate the possibilities and limitations of this remote sensing system within the framework of a pilot study. The measurements at selected locations are to show where and how the measurement technology can be used on traffic routes and which emitters and emissions can be recorded. In addition, the use of such a measurement methodology will be considered with regard to data protection issues.

2. Survey technique

Essential for the realistic determination of motor vehicle emissions in road traffic is the use of a sophisticated instrument technology. HEAT's EDAR remote measurement system is an eye-safe, laser-based technology capable of detecting environmentally critical gases in the exhaust cloud of a moving vehicle through infrared absorption. This state-of-the-art technology, developed by NASA, can accurately quantify various gases emitted from the tailpipe of a moving vehicle in real time with two-dimensional resolution. EDAR uses the Differential Absorption Spectroscopy (DiAL) method to detect gases such as: CO, CO₂, NO, NO₂, hydrocarbons as well as particulates directly.

During operation, the EDAR unit is located approx. 5.5 m above the road surface. A reflector strip is applied to the road surface, aligned with the measuring unit. During operation, the EDAR unit generates a 2D image of the passing vehicle and the associated exhaust gas cloud. Vehicle-related speed and acceleration, emissions and the license plate number are recorded. In addition, date, time, temperature, air pressure, humidity, wind speed are stored.

3. Data protection concept

Due to the vehicle registration number recording, requirements under data protection law apply. The Federal Data Protection Act (Bundesdatenschutzgesetz (BDSG), 2017) applies to federal and state public bodies and non-public bodies. This law supplements the applicable EU Regulation 2016/679 ((General Data Protection Regulation (GDPR), 2016)) with the areas in which the EU Regulation leaves the member states room for maneuver. The creation of a project-related data protection concept, which describes the indicator collection of the measurement, is a central point of this project.

The data protection concept describes and explains the collection methodology, responsibility and accountability, data economy and anonymization, data security during the collection, access authorization and transparency. Particular attention was paid to the topics of access authorization and transparency. The "technical-organizational measures" that regulate access control, access control, transfer control, input control and order control were outlined.

In addition to the aforementioned technical and organizational aspects, a legal statement has been prepared that contains the legal framework for measurement. The data protection concept developed was submitted by BAST to the BfDI, which examined the concept in detail. After some coordination and additions, the BfDI approved the implementation of the research project.

4. Location determination

4.1 Location criteria

HEAT selects sites in a standardized manner according to various criteria. To ensure that the largest possible sample of valid vehicle emission measurements is collected, existing data from counting stations on roadways were sifted for this project in order to make a preliminary selection of sites according to high vehicle experience. These survey sites were to be on a state or federal highway and on a federal freeway (BAB).

Further decisive selection criteria are initially the required slope of the roadway and the power supply for the EDAR system. On the basis of these criteria a restriction of the first location preselection took place. Furthermore, the use of the mobile mounting system from HEAT on the highway section led to an additional challenge. A section of highway was required that did not have a shoulder or hard shoulder, since the HEAT gantry system had to be installed close to the roadway in order to cover the entire lane. For safety reasons, however, such a highway section must have a protective device.

4.2 Site selection

For the selection of the highways, primarily locations in North Rhine-Westphalia and Rhineland-Palatinate were to be considered due to the invitation to tender. Taking into account all the previously mentioned criteria, one site on the L 418 and one site on the A 61 were selected.

The first selected location is on the L 418 in front of the "Burgholz" tunnel in the direction of Küllenhahn. At this location, the system from the HEAT company can be used and set up on the hard shoulder in front of the tunnel entrance.

The second location is on the A 61 between the Bad Neuenahr-Ahrweiler interchange and the Sinzig interchange in the direction of Koblenz. The system can be placed and set up behind a crash barrier at operating kilometer 187.40. However, this location lacks an existing power supply, so this must be realized with a power generator.

4.3 Site approval procedure

In order to carry out the survey, it is necessary to inform the relevant authorities and obtain the appropriate permits. Depending on the location and the predominant road category, there are very different areas of responsibility and directorates. For the location on the L 418, the traffic-legal order was requested from the city of Wuppertal and the road-legal permission from the NRW state road construction company. The permission under road law could not be granted because the Leverkusen Tunnel Department issued a final statement opposing the installation of the EDAR system. The main reason for this was that the selected location serves as an approach point to the fire alarm center. The L 418 site near the Burgholz tunnel portal thus had to be excluded as a potential measuring point.

The Autobahn GmbH des Bundes Niederlassung West granted the requested permits for the A 61 site.

5. System construction and dismantling

The EDAR system could only be set up at one site due to the lack of approval for a further site. On the other hand, measurements could be taken at the approved site for a significantly longer period than originally planned.

Since a lane closure was necessary at the selected location for the installation of the EDAR system, a traffic safety company was commissioned for this purpose. The measuring system was installed on the A61 at operating kilometer 187.40 on June 15, 2022. The right lane was closed for this purpose. The measuring system was dismantled in accordance with the approval on 27.06.2022. Again, a traffic safety company set up a work site of shorter duration with closure of the right lane.

6. Evaluation of the measurements

6.1 Characteristics of the measured vehicles

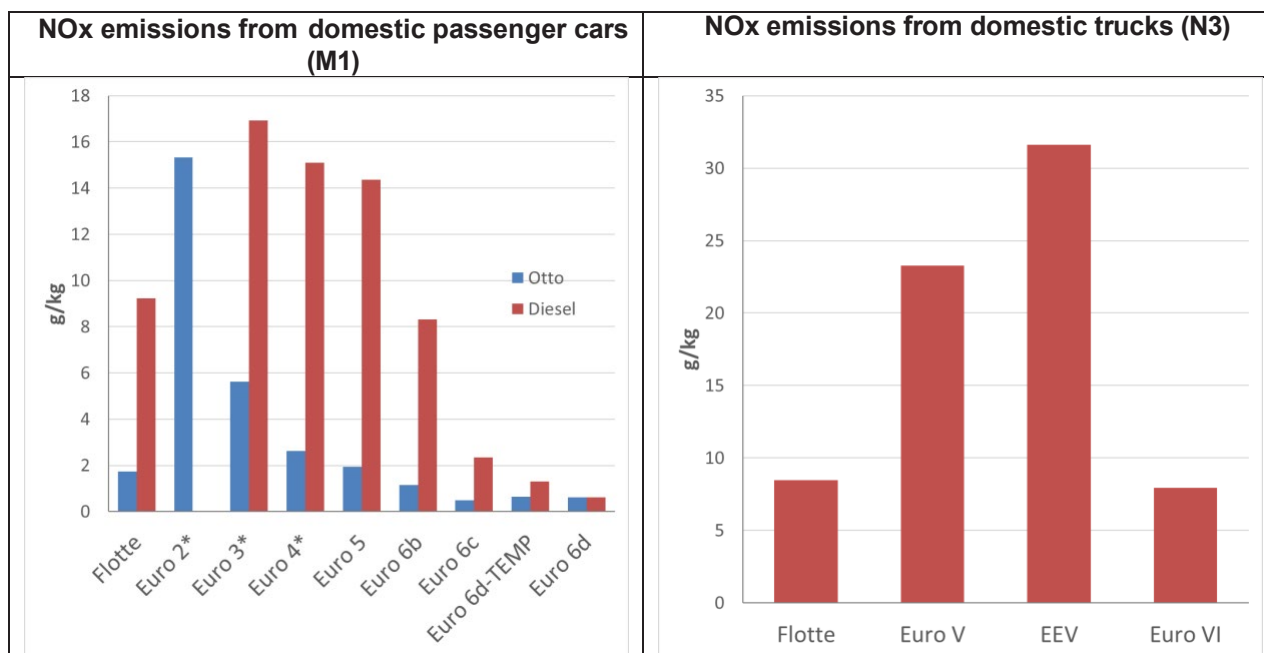
In 12 measurement days, more than 123,000 vehicles were measured. Of these, 84% or more than 103,000 measurements were valid, i.e. emissions: CO, CO₂, NO, NO₂, HC and PM were measured and the speed and acceleration as well as the license plate number were validly recorded. The vehicles are roughly divided into one third each of domestic cars, domestic trucks and foreign vehicles.

The vehicle category, drive type and emissions class for domestic vehicles are derived from their registration data by the KBA. Since the technical data from the registration statistics of the KBA were not always complete, the vehicle category and exhaust emission standard had to be derived in part from the data on vehicle weight and maximum permitted speed or from the year of registration.

Half of the domestic passenger cars are gasoline-powered and half are diesel-powered. More than half of them are certified to the Euro 6 emissions standard. Of the domestic trucks, 97% are certified to Euro VI.

6.2 Emissions from the fleet

The data was used to determine the average emissions of the fleet in operation per vehicle shift. The evaluation provides differentiated values for the German fleet. The average NO_x emission of domestic passenger cars is 5 g NO_x per kg fuel, which is equivalent to about 300 mg NO_x per kilometer of highway travel; the average NO_x emission of domestic trucks is 8.5 g NO_x per kg fuel, which is equivalent to about 1.7 g NO_x per kWh (see following diagram). Compared to the emission limits per vehicle shift and the average values according to HBEFA 4.2, these measured values are higher.



The foreign vehicles could be classified into cars and trucks according to their body height. The average emissions of the foreign cars and trucks estimated in this way are in some cases significantly higher for NO_x and PM than for the domestic fleet. It would be worthwhile to investigate possible problems with NO_x regulation for trucks and with particulate filters for passenger cars in more detail here.

For the future, it would be desirable to understand the differences between the measured emissions and the values of HBEFA, and then, if necessary, to adjust the emission modeling. Furthermore, it seems advisable that the vehicle register at the KBA is checked for completeness of the important entries and, if necessary, replenished. For future remote sensing measurements, consideration should be given to how technical data can be obtained for foreign vehicles.

Inhalt

Abkürzungen	10
1 Ausgangslage und Zielsetzung	11
2 Methodik der Erhebung	12
2.1 EDAR-System	12
2.2 EDARs Systemkomponenten	12
2.2.1 EDAR-Einheit (EDAR)	13
2.2.2 Fahrzeuggeschwindigkeits-/Beschleunigungssensor (Rangefinder) .	14
2.2.3 Automatische Kennzeichenerkennungskamera (ANPR)	14
2.2.4 Wettersensor	14
2.2.5 Elektrische Schalttafel	14
2.2.6 Retroreflektor	14
2.2.7 Traversensystem	15
3 Datenschutz	17
3.1 Datenschutzkonzept	17
4 Standortauswahl	18
4.1 Allgemeines	18
4.1.1 Standortkriterien	18
4.1.2 Internetinformationen	19
4.1.3 (Standortauswahl) Prüfvorgang	19
4.1.4 Steckbrief	21
4.2 Ausgewählte Standorte	21
4.3 Standortgenehmigungsverfahren	24
4.4 Zuständigkeiten	24
4.5 Verlauf des Genehmigungsverfahrens	25
5 Auf- und Abbau des Systems bei temporärer Nutzung	26
5.1 Systemaufbau	26
5.2 Systemabbau	27

6	Auswertung der Messungen	28
6.1	Gültige Messungen und Datenaufbereitung	28
6.2	Charakteristika der gemessenen inländischen Pkw-Flotte	29
6.3	Emissionen der gemessenen inländischen Pkw	30
6.4	Charakteristika der gemessenen inländischen Lkw-Flotte	31
6.5	Emissionen der gemessenen inländischen Lkw	32
6.6	Emissionen der Fahrzeuge mit ausländischem Kennzeichen	33
6.7	Vergleich mit den Emissionen nach HBEFA 4.2	34
7	Zusammenfassung und Empfehlungen	34
	Literatur	36
	Tabellen	37
	Bilder	37
	Anhang A – Formular zur Auswahl eines Messstandortes (EDAR)	39
	Anhang B – Steckbrief der betrachteten Standorte	40
	Anhang C – Detaillierte Tabellen zur Datenauswertung	42

Abkürzungen

BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
EEV	Environmentally Enhanced Vehicle
EGR / AGR	Exhaust Gas Recycling / Abgasrückführung
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren
KBA	Kraftfahrbundesamt
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
ppm	Anzahldichte 1 zu 1 Million (parts per million)
RS	Remote Sensing
RSD	Remote Sensing Detection
UN-ECE Fahrzeug-Kategorien	Klassifizierung der Fahrzeuge nach der Konvention der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die realitätsnahe Ermittlung der Kraftfahrzeugemissionen im Straßenverkehr spielt eine zunehmend bedeutendere Rolle, um im Bereich der Emissionen zielgerichtete Analysen und Maßnahmen durchführen zu können. Nachdem Fahrzeuge die Typgenehmigung nach den entsprechenden Verordnungen und insbesondere der (EG) Nr. 715/2007 Nr. EG/692/2008 erhalten haben, können sie für den Straßenverkehr zugelassen werden. Im Betrieb gibt es unterschiedliche Maßnahmen, die sicherstellen sollen, dass die Fahrzeuge die vorgeschriebenen technischen Vorgaben erfüllen. Das gilt insbesondere für die Vorgaben der Emissionen. Hier sind insbesondere die regelmäßige technische Überwachung, die Marktüberwachung und die Unterwegskontrollen zu nennen. Dieses Projekt soll nun dazu dienen mittels des Remote Sensing erstmals Emissionsmessungen auf Bundesfernstraßen durchzuführen.

Neben der Nutzung in der Fahrzeugtechnik können die Emissionsmessungen mittels Remote Sensing auch im Bereich der Immissionen eine Grundlage für Analysen und Maßnahmen sein. Die gemessenen Immissionswerte haben vielerorts eine nach EU-Normen nicht mehr zulässigen Partikel- und Stickoxidwert erreicht bzw. werden absehbar bei demnächst verschärften Immissionsgrenzwerten verfehlt. Daher sollte zeitnah eine Ermittlung der Hauptemittenten (einzeln oder Gruppen) im Straßenverkehr erfolgen sollte. Die Flottenerneuerung der Pkws würde eine Verbesserung der Emissionen erst in einem Zeitraum von mehreren Jahren realisieren und das auch nur, falls die Emissionswerte über den Lebenszyklus der Fahrzeuge stabil bleiben. Die aktuelle realitätsnahe Ermittlung der Emissionen durch Abgasmessungen an vielen Fahrzeugen, wie sie bei der Messung mit einem Remote Sensing Device erfolgen kann, könnte Fahrzeuge, welche einen großen Anteil an den aktuellen Emissionen haben, erkennen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts arbeitet die Fa. HEAT mit DTV-Verkehrsconsult GmbH und Dr. Jens Borken-Kleefeld zusammen. An einem Teststandort werden aktuelle Emissionsdaten auf Basis des Emission Detection and Reporting (EDAR) Systems erhoben. Ein geplanter zweiter Messstandort wurde kurzfristig nicht genehmigt.

Zunächst wird ein Standortauswahlprozess durchgeführt, um sicherzustellen, dass an mindestens 7 Tagen eine ausreichend große Stichprobe an gültigen Fahrzeug-Emissionsmessungen gesammelt wird. Der Erhebungsstandort solle sich auf einer Bundes- oder Landesstraße und an einer Bundesautobahn (BAB) befinden.

Für die spätere Auswertung müssen die erhobenen Emissionswerte mit den fahrzeugtechnischen Kennwerten (Schadstoffklasse, Fahrzeugtyp, Motorart, etc.) verknüpft werden. Diese werden aus einer KBA Datenbank bereitgestellt.

Ziel des Forschungsprojektes ist es, im Rahmen einer Pilotstudie die Möglichkeiten und Grenzen des untersuchten Remote Sensing Messsystems aufzuzeigen. Die Messungen sollen zeigen, wo und wie die Messtechnik auf den Verkehrswegen eingesetzt werden kann und welche Emittenten und Emissionen erfasst werden können. Darüber hinaus wird die Pilotstudie die Anzahl der zu erwartenden validen Messungen bei bisher noch nicht erprobtem Betrieb an einer Autobahn (oder Schnellstraße) demonstrieren.

Ein weiterer Schwerpunkt des Forschungsprojektes ist das Sammeln von Erfahrungen mit dem Organisationsprozess. Dazu gehören unter anderem Datenschutzerfordernungen und die Ergänzung der vom KBA bereitgestellten Fahrzeugmerkmale.

Messungen mittels Labormessungen oder PEMS sind daher nicht geplant, da diesbezüglich für das EDAR-System bereits ausreichende Erfahrungen vorliegen (HEAT, 2017) (HEAT, 2018).

2 Methodik der Erhebung

Kernpunkt der realitätsnahen Ermittlung der Kraftfahrzeugemissionen im Straßenverkehr ist der Einsatz einer ausgereiften Gerätetechnologie. Nachfolgend werden die im Rahmen der Erhebung eingesetzten Erfassungsgeräte näher beschrieben.

2.1 EDAR-System

Das Fernmesssystem von HEAT, das als EDAR-System bezeichnet wird, ist eine augensichere, laserbasierte Technologie, die in der Lage ist, die Infrarotabsorption von umweltkritischen Gasen eines fahrenden Fahrzeugs aus der Ferne zu erfassen und zu messen. Diese von der NASA entwickelte Technologie ist in der Lage verschiedene Gase, die aus dem Endrohr eines fahrenden Fahrzeugs ausgestoßen werden, in Echtzeit mit zweidimensionaler räumlicher Auflösung genau zu erfassen und zu quantifizieren. EDAR verwendet die Differential-Absorptionsspektroskopie (DiAL)-Methode, um Gase wie CO, CO₂, NO, NO₂, Kohlenwasserstoffe und Partikel direkt zu quantifizieren. Bei der DiAL-Methode werden Laser verwendet, die auf eine bestimmte Wellenlänge eingestellt sind und eine geringe Bandbreite haben, um zwischen extrem schmalen Absorptionsmerkmalen zu unterscheiden. Die DiAL-Methode wird vor Allem in der Satellitentechnologie eingesetzt, wo keine direkten Kalibrierungen durchgeführt werden können. Bei der DiAL-Methode werden Laser verwendet, um die Hintergrundstrahlung, Änderungen der Wetter- und Umfeldbedingungen und das Rauschen der Messsysteme kontinuierlich zu filtern. Dadurch kann EDAR dauerhaft betrieben werden.

Darüber hinaus verfügt das EDAR-System über die Fähigkeit, infrarotspektroskopische Methoden einzusetzen, um die Temperatur des Abgases beim Austritt aus dem Endrohr zu messen. Für jedes Fahrzeug findet die EDAR-Einheit die Abgasfahne an der Stelle, an der sie aus dem Endrohr des Fahrzeugs austritt, in dem Moment, in dem die Fahne sichtbar wird.

Zusätzlich erfasst die EDAR-Einheit ein 2D-Bild des Fahrzeugs und der Abgaswolke für die erfassten Gase sowie Datum, Uhrzeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Emissionsmessungen und Nummernschild.

2.2 EDARs Systemkomponenten

Das Messsystem besteht aus sechs Komponenten: Infrarotlaser-Gassensor (EDAR), Fahrzeuggeschwindigkeits-/Beschleunigungssensor (Rangefinder), Kennzeichenlesegerät (ANPR), Wettersensor (Weather Sensor), elektrischer Schalttafel (Electrical Panel), Reflektor (Retroreflector). Sie sind in Bild 1 dargestellt und werden im weiteren Verlauf näher beschrieben.



Bild 1: Systemkomponenten (HEAT 2018)

2.2.1 EDAR-Einheit (EDAR)

Die EDAR-Einheit ist eine augensichere, laserbasierte Technologie, die durch Infrarotabsorption die Konzentration von Gasen in der Abgaswolke von Fahrzeugen in der Vorbeifahrt misst. Dabei wird die gesamte Abgasfahne gemessen, während das Fahrzeug unter dem Sensor vorbeifährt. Infrarotstrahlen werden von einem Reflektor, der sich auf der Straßenoberfläche befindet, reflektiert, das zurückgestreute Licht wird von EDAR gesammelt und auf den Detektor fokussiert.

EDAR sendet von oben ein unsichtbares, augensicheres Laserlicht aus, mit dem bestimmte Moleküle, die von jedem Fahrzeug, das den Strahl unterbricht, ausgestoßen werden, eindeutig gemessen werden können. Die Laser sind auf spezifische Absorptionslinien von CO₂, CO, NO, NO₂, Partikel und HC abgestimmt. Da der Gassensor von oben nach unten ausgerichtet ist und eine ganze Fahrspur überdeckt, kann der Sensor die gesamte Abgasfahne erfassen, wenn sie aus dem Fahrzeug austritt, unabhängig von der Position des Auspuffs. Das Erkennen der gesamten Abgasfahne ist vorteilhaft, da es ein gleichbleibend hohes Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) und Messungen ermöglicht, die andere Systeme bisher nicht messen konnten, wie z. B. absolute Mengen, die eine Bestimmung der Emissionsraten in Masse pro zurückgelegte Strecke (Gramm/Kilometer) ermöglichen und zur Berechnung der erzeugten Emissionsmenge verwendet werden können. EDAR kann die Emissionsraten von Schadstoffen durch Fahrzeuge bestimmen.

Im Folgenden sind die Genauigkeiten der einzelnen Gase, für welche die EDAR-Einheit ausgeführt wurde, aufgeführt.

Tabelle 1: Messgenauigkeiten je Schadstoff

Schadstoff	„+ / -“, Konzentration (ppm)
NO	10
CO	20
HC	100
NO ₂	10

Da der Sensor sich über dem Fahrstreifen befindet kann die gesamte Abgasfahne eines jeden vorbeifahrenden Fahrzeuges, unabhängig der Position des Endrohres, untersucht werden (siehe Bild 2).

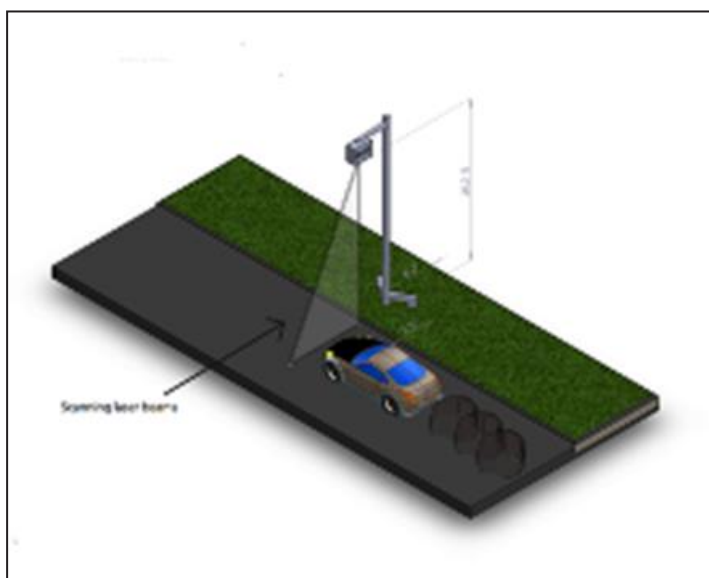


Bild 2: Erfassung der gesamten Abgasfahne (HEAT 2017)

Die Erfassung der gesamten Abgasfahne erhöht die Genauigkeit die Schadstoffe pro zurückgelegten Weg zu ermitteln und so Emissionsraten zu bestimmen.

Darüber hinaus kann EDAR passiv-infrarot Bilder der Fahrzeuge aufnehmen. Somit können Fahrzeuge klassifiziert werden und undichte an Fahrzeugen ausmachen, an denen Schadstoffe entweichen.

2.2.2 Fahrzeuggeschwindigkeits-/Beschleunigungssensor (Rangefinder)

Der Laser-Entfernungsmesser bestimmt die Geschwindigkeit und Beschleunigung von Fahrzeugen.

2.2.3 Automatische Kennzeichenerkennungskamera (ANPR)

Die automatische Kennzeichenerkennungskamera erkennt und transkribiert die Kennzeichen der von EDAR gemessenen Fahrzeuge. Dabei wird eine anonymisierte Kennung je Nummernschild erzeugt.

2.2.4 Wettersensor

In das EDAR-System ist ein Wettersensor integriert. Dieser misst die aktuelle Umgebungstemperatur, den Luftdruck, die relative Luftfeuchtigkeit und die Windgeschwindigkeit sowie die Windrichtung.

2.2.5 Elektrische Schalttafel

Die elektrische Schalttafel ist speziell für das EDAR-System entwickelt worden und fungiert als Schaltzentrale zur Regulierung der ankommenden Stromspannung. Die elektrische Schalttafel stellt sicher, dass alle Systemkomponenten ohne Stromunterbrechung arbeiten können.

2.2.6 Retroreflektor

Direkt unter der EDAR-Einheit befindet sich ein auf der Straße installierter retroreflektierender Streifen, der das Licht im Rahmen der Emissionsmessung bis zur EDAR-Einheit zurückreflektiert. Der Retroreflektor wird installiert, indem er mit starkem Asphaltbutylband auf die Fahrbahn befestigt wird. Asphaltbutylband ist speziell für die Verbindung von Objekten mit der Fahrbahnoberfläche entwickelt worden und wird häufig bei Induktionsschleifensensoren eingesetzt. Nach Herstellerangaben ist das verwendete Band "besonders vorteilhaft in Hochgeschwindigkeitsumgebungen oder Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen". Dadurch ist das Verfahren, in dem der EDAR-Retroreflektor eingebaut wird, äußerst zuverlässig und sicher.

Der Retroreflektorstreifen ist schmal und mit rutschfesten Streifen auf beiden Seiten des Reflexionsbereichs ausgestattet. Der Streifen wird über die gesamte Länge des Fahrstreifens installiert und über den Seitenstreifen verlängert. In Bild 3 ist das Größenverhältnis zwischen Reflektor und Fahrzeug dargestellt.



Bild 3: Retroreflektor auf Straße

Nach Abschluss der Messung wird der Streifen von der Fahrbahn entfernt, ohne dass die Fahrbahn beschädigt wird.

2.2.7 Traversensystem

Die EDAR-Einheit, der Laserentfernungsmesser, ein Wettersensor und die Kennzeichenerkennungskamera sind über der Straße montiert. Dies kann an einem permanenten Mast, einem Portal, einer Brücke oder, wie hier, an einem mobilen Traversensystem erfolgen.

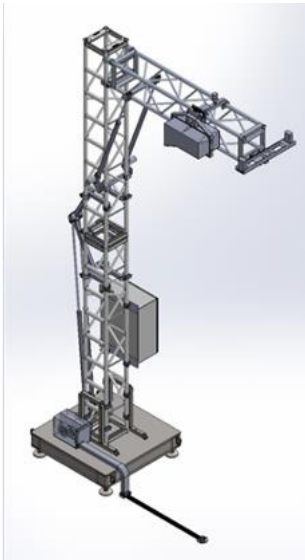


Bild 4: Mobiles EDAR Traversensystem (HEAT 2017)

Während des Betriebs muss sich die EDAR-Einheit ca. 5,5 m über der Fahrbahnoberfläche befinden. Die Fa. HEAT hat ein Traversensystem (Bild 4) entwickelt, welches eine Grundfläche von 1,2m x 1,2m hat. Diese Traverse wurde zur einfachen Handhabung und unter Sicherheitsaspekten entwickelt. Sobald die EDAR-Einheit am Arm befestigt ist, wird die Traverse per Knopfdruck auf die volle Höhe angehoben. Zusätzlich wird die Traverse mit einer speziell sicherheitstechnisch ausgerichteten Halterung gesichert.

Bild 5 zeigt eine reale Installation des Retroreflektorstreifens und der EDAR-Einheit auf einer stark befahrenen Straße in Paris.



Bild 5: EDAR & Retroreflektor im Betrieb

3 Datenschutz

In der heutigen Zeit kommt dem Thema Datenschutz eine besondere Bedeutung zu. Für öffentliche Stellen des Bundes und der Länder sowie für nichtöffentliche Stellen gilt das Bundesdatenschutzgesetz (Bundesdatenschutzgesetz (BDSG), 2017). Dieses Gesetz ergänzt die geltende EU-Verordnung 2016/679 ((Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO), 2016)) um die Bereiche, in denen die EU-Verordnung den Mitgliedstaaten Gestaltungsspielräume belässt.

3.1 Datenschutzkonzept

Da im Rahmen des Projektes Fahrzeugkennzeichen erfasst werden, müssen die diesbezüglichen Anforderungen der Datenschutzgrundverordnung beachtet werden. Das bedeutet für die vorliegende Studie, die Kennzeichenerfassung muss durch ein projektbezogenes Datenschutzkonzept rechtlich abgesichert werden.

Bereits vor Projektbeginn war den Beteiligten die Wichtigkeit des Datenschutzes in diesem Pilotprojekt bewusst. Aufgrund der seit Mai 2018 anzuwendenden DSGVO erfolgte eine Sensibilisierung im Bereich der Nummernschilderkennung. Dies zeigt sich durch das Urteil des Verwaltungsgerichts Hannover vom 12.03.2019 zum Thema Section Control (VG Hannover, 2019), bei dem die Erfassung und maschinelle Verarbeitung der Kennzeichen aller durchfahrenden Fahrzeuge zur Geschwindigkeitsüberwachung untersagt wird.

Für eine erste Abstimmung bezüglich eines Datenschutzkonzepts wurde Kontakt mit den zuständigen Datenschutzbehörden aufgenommen. Dies sind der Landesbeauftragte für Datenschutz und Informationsfreiheit Nordrhein-Westfalen (LDI NRW) und der Bundesbeauftragte für den Datenschutz und Informationsfreiheit (BfDI). Das Ergebnis dieser Gespräche war, dass es keine speziellen Vorgaben für die Erstellung eines Datenschutzkonzepts zur Kennzeichenerfassung gibt und dass es kein Genehmigungsverfahren dafür gibt.

Da es sich um ein Pilotprojekt der BASt handelt, wurde von DTV ein erstes Konzept erstellt und mit dem Datenschutzbeauftragten der BASt besprochen.

Das Datenschutzkonzept beinhaltet folgende Themen:

1. Methodik der Erfassung
2. Datenschutz und Datensicherheit
 - Verantwortlichkeiten
 - Datenerhebung
 - Datentransfer
 - Datensparsamkeit
 - Zugangsberechtigungen
 - Datenlöschung
 - Transparenz

Die Zugangsberechtigungen wurden explizit in den „Technisch Organisatorischen Maßnahmen (TOM)“ beschrieben. Sie umfassten die Zutrittskontrolle, Zugangskontrolle, Zugriffskontrolle, Weitergabekontrolle, Eingabekontrolle und Auftragskontrolle.

Das Thema Transparenz beinhaltet vornehmlich die Informationspflicht gegenüber den Personen dessen Kennzeichen erfasst werden. Dazu wurde ein Hinweisschild am Erhebungsort aufgestellt, auf dem unter anderem die Kontaktdaten des verantwortlichen Datenschutzbeauftragten und die Rechtsgrundlage der Datenverarbeitung genannt sind. Zusätzlich wurde auf eine Internetseite der BASt verwiesen, die Informationen zum Forschungsprojekt und datenschutzrechtliche Informationen enthielt.

Die Rechtsgrundlage, auf der die Kennzeichenerfassung für dieses Projekt erfolgte, wurde in einer gesonderten juristischen Ergänzung verschriftlicht. Diese beinhaltet im Anhang 1 die Auftragsvereinbarung zwischen Fa. HEAT und der BASt nach Art.28 Abs 3 der DSGVO und im Anhang 2 die Beschreibung der Verarbeitungstätigkeit.

Die Dokumente des Datenschutzkonzepts umfassten das eigentliche Datenschutzkonzept mit der Erarbeitung der Rechtsgrundlage inklusive der zugehörigen zwei Anhänge. Dem BfDI wurden die Dokumente zur Zustimmung zugesendet.

Die Zustimmung des BfDI zu der Kennzeichenerfassung erfolgte nach einigen Rücksprachen in denen konkrete Ergänzungen besprochen wurden, welche folgend in dem Projekt berücksichtigt wurden.

4 Standortauswahl

Neben den technischen Vorbereitungen des Erhebungsequipments mussten einige organisatorische Vorbereitungen getroffen werden, bevor die Erhebungen durchgeführt werden konnten. Hierzu gehörte insbesondere die Auswahl, Prüfung und Dokumentation der Standorte.

4.1 Allgemeines

Im Rahmen des Pilotversuchs sollten ursprünglich Messungen an zwei Standorten durchgeführt werden. Hierbei sollte sich ein Standort nach Möglichkeit auf einer Bundesautobahn (BAB), der andere auf einer Landstrasse im Großraum Köln befinden.

Der Prozess der Standortwahl begann mit der Recherche mit lokalen Verkehrsingenieuren und Verkehrsinformationsressourcen. Die möglichen Standorte wurden in einheitlicher Form als Steckbriefe dokumentiert. Mit Hilfe dieser Steckbriefe wurden die Standorte von den Technikern der Firma HEAT geprüft und bewertet.

Die einzelnen Arbeitsschritte im Rahmen der Standortauswahl werden in den nachfolgenden Kapiteln erläutert.

4.1.1 Standortkriterien

Das EDAR-System kann an unterschiedlichen Verkehrsstandorten eingesetzt werden.

- An der Seite einer Autobahn
- Kreuzung / Rechtsabbieger
- Direkt nach einer roten Ampel an den Kreuzungen
- Ein- oder Ausfahrten von Tunneln
- Unter einer befahrenen Brücke
- Verkehrszeichenbrücken
- Kreisverkehre
- Eingangsrampe zur Autobahn oder Schnellstraße

Es gibt jedoch vorgeschriebene Kriterien der Firma HEAT, die die ausgewählten Standorte erfüllen müssen, um einen einwandfreien Betrieb und belastbare Erhebungsergebnisse zu gewährleisten. Die Techniker von HEAT beurteilen anhand eines Standortauswahlformulars jeden Standort. Das Formular ist dem Bericht im Anhang A beigelegt.

Die Auswahlkriterien für die Standorte umfassen:

- Hohe Verkehrsmengen auf den ausgewählten Fahrstreifen

- Fahrbahnen mit Steigung (leicht bergauf, nie bergab), damit der Motor unter Last ist
- Kontinuierlicher Verkehrsfluss zur Minimierung von gestopptem oder verlangsamtem Verkehr
- Angemessene Geschwindigkeiten der Fahrzeuge [optimaler Betrieb bei bis zu 120 km/h – Aufgabe, anhand des Autobahnstandortes den Betrieb bei Geschwindigkeiten < 120 km/h zu bewerten]
- Vorhandene/mögliche Stromversorgung
- Stabile Befestigungsmöglichkeit
- Befestigung mit einem Abstand von ca. 5,5 m zwischen EDAR-Einheit und Fahrbahnoberfläche
- Einfache und sichere Zugangsmöglichkeit der Gerätschaften für Datensicherung und bei Systemausfällen

4.1.2 Internetinformationen

Aufgrund der Verteilung der Standorte konnte eine Vor-Ort-Besichtigung nicht flächendeckend durchgeführt werden.

Daher wurden zur Vorabprüfung der Standorte zunächst auf die online verfügbaren Informationen zurückgegriffen.

Hierbei handelte es sich in erster Linie um die folgenden Internetportale:

- <https://www.google.de/maps>
- <https://www.openstreetmap.de/karte.html>
- <https://www.nwsib-online.nrw.de>

Anhand der verfügbaren Luftbildaufnahmen und Karteninhalte konnte eine mögliche Eignung des Standortes für die Messeinrichtung überprüft werden.

Zusätzlich wurde das Programm Google Earth Pro zur Ermittlung der Steigung genutzt und in Einzelfällen standen auch die Informationen aus GoogleStreetView zur Verfügung.

4.1.3 (Standortauswahl) Prüfvorgang

Als die wichtigsten Auswahlkriterien wurden die Steigung und die Stromversorgung angesehen. Anhand dieser Kriterien wurde ein erster Auswahlprozess durchgeführt. Als erstes wurden Straßen mit einer Dauerzählstelle ins Auge gefasst. Die Dauerzählstellen erfassen alle vorbeifahrenden Fahrzeuge und klassifizieren diese in bis zu 9, sogenannte 8+1, Fahrzeugklassen. Somit liegen detaillierte Daten (stündlich aggregiert) zur Gesamtverkehrsmenge vor. Gleichzeitig könnte die bereits vorhandene Stromversorgung der Dauerzählstellen für die Versorgung des EDAR-Systems genutzt werden. Neben den Standorten von Dauerzählstellen wurden Verkehrszeichenbrücken mit Wechselverkehrszeichen in Betracht gezogen, da auch hier die Stromversorgung gewährleistet wäre, und eine Möglichkeit, die Messgeräte oberhalb der Fahrbahn zu befestigen.

Es wurde eine erste Auswahl von 10 Standorten getroffen. Die Standorte befinden sich auf den Autobahnen A 4, A 61 und A 555, sowie auf den Bundesstraßen B 258, B 56 und B 506 und auf den Landesstraßen L 136 und L 418 (Bild 6).



Bild 6: Mögliche Erhebungsstrecken; Quelle: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Anhand der ermittelten Steigung der Fahrbahn über das Programm Goolge Earth Pro und der Erfahrungswerte der Ingenieure der Firma HEAT wurden aufgrund zu geringer Steigung einige Erhebungspunkte aus der ersten Auswahl ausgeschlossen.

Im weiteren Verlauf des Auswahlprozesses wurden weitere Autobahnen in den Auswahlprozess mit aufgenommen. Es wurde nach Straßen- bzw. Fußgängerbrücken über Bundesautobahnen gesucht. Die betrachteten Bundesautobahnen waren die A 4 von Aachen bis nach Bielstein, die A 1 von Köln bis nach Wermelskirchen und die A 3 zwischen Köln und Siegburg. Auf diesen Strecken waren ausreichend Brücken im Bereich von Steigungsstrecken vorhanden, jedoch wurde die Auswahl aufgrund des möglichen Stromanschlusses, einer Geschwindigkeitsreduzierung aufgrund einer Baustelle und einem dauerhaften sicheren Zugang zum Messequipment deutlich reduziert.

Im Laufe der Standortauswahl wurde abgestimmt, die Erhebung an der Autobahnstrecke mit dem Traversensystem der Firma HEAT durchzuführen. Dadurch ergaben sich weitere Standortkriterien. Es wurde nach einem Autobahnteilstück gesucht, welches über keinen Seitenstreifen verfügt, da das Traversensystem nahe an der Fahrbahn aufgebaut werden muss, damit der Fahrstreifen vollständig erfasst werden kann. Aus Sicherheitsgründen sollte ein solches Autobahnteilstück jedoch über eine Schutzeinrichtung verfügen. Hierzu wurden Autobahnen in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz begutachtet.

Für den Erhebungsstandort an einer Landesstraße wurde sich im Auswahlprozess zu einem frühen Zeitpunkt darauf geeinigt, dass Traversensystem der Firma HEAT einzusetzen. Bei einem Vor-Ort-Termin bei der Mastermeisterei Leverkusen wurden weitere mögliche Standorte für einen Systemaufbau durch den Leiter der Meisterei vorgeschlagen.

In Bild 7 sind ein Großteil der möglichen Erhebungsstandorte, die den Auswahlprozess durchlaufen haben und detailliert untersucht wurden auf der Karte markiert.

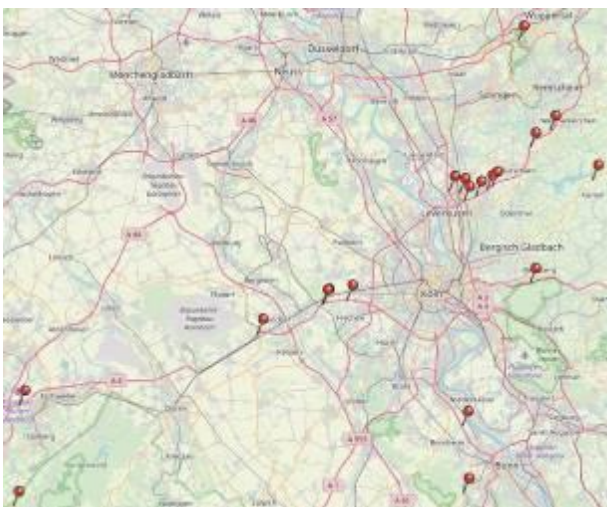


Bild 7: Geprüfte Erhebungsstandorte; Quelle: © OpenStreetMap-Mitwirkende

4.1.4 Steckbrief

Um die zahlreichen Standortinformationen übersichtlich und nachvollziehbar zu dokumentieren, wurden alle Informationen in einem einseitigen Steckbrief zusammengestellt (siehe Bild 8).

Oben rechts auf dem Steckbrief ist zunächst eine Übersichtskarte des Standortes dargestellt, die zur Veranschaulichung der Lage dient. Unmittelbar darunter ist ein Foto der Erhebungsstrecke abgebildet, sofern dieses verfügbar war (z.B. aus der Bildbefahrung der NWSIB (Straßeninformationsdatenbank der Straßenbauverwaltung NRW) oder Vor-Ort-Besichtigung).

Im linken Bereich sind die Informationen zum Erhebungsstandort zusammengefasst. Neben dem Landkreis, der Straße und den Geokoordinaten sind die Erfassungsrichtung und Gegenrichtung sowie eine Kurzbeschreibung angegeben.

Im nachfolgenden Feld „Standortprüfung“ sind die einzelnen Kriterien (Steigung, Geschwindigkeit, Befestigungsmöglichkeit, Höhe der Brücke, Stromanschluss, Verkehrsstärke, Haltemöglichkeit) aufgelistet.

Der in dieser Form fertig gestellte Steckbrief wurde als Basis für den weiteren Auswahlprozess genutzt und diente als Unterlage zur Beantragung der Genehmigungen. Die für diese Studie erstellten Steckbriefe sind dem Bericht in Anhang B beigefügt.

4.2 Ausgewählte Standorte

Als Ergebnis des Auswahlprozesses wurde ein Standort auf der L 418 (Bild 8) und ein Standort auf der A 61 (Bild 9) gewählt und mit der BASt abgestimmt.

Die anderen betrachteten Strecken haben es nicht in die nähere Auswahl geschafft. Gründe hierfür waren:

- Bei genauerer Streckenprüfung ist ersichtlich geworden, dass die zuvor angenommene Steigung nicht ausreichend ist und die Fahrzeugmotoren sich dementsprechend nicht unter Last befinden.
- Bei der Firma HEAT lag eine Montagemöglichkeit für Brücken und Schilderbrücken vor. Bei Standortbesichtigungen ist jedoch aufgefallen, dass diese nicht für die Maße an deutschen Brücken und Schilderbrücken geeignet ist. Hier hätte eine Anpassung vorgenommen werden müssen. Da es sich lediglich um einen Testversuch an zunächst zwei Standorten für jeweils sieben Tage handelt, wurde eine solche Entwicklung als zu aufwändig eingestuft. Dementsprechend sind nur noch Standorte, an denen das Traversensystem genutzt werden konnte, weiter betrachtet worden.

Der erste ausgewählte Standort (Bild 8) befand sich auf der L 418 vor dem Tunnel „Burgholz“ in Fahrtrichtung Küllenhahn. An dieser Stelle könnte das Traversensystem der Firma HEAT genutzt werden und auf dem Standstreifen vor der Tunneleinfahrt aufgestellt werden. Der Stromanschluss hätte an dieser Stelle in der Tunnelversorgungszentrale erfolgen können. Dass der Erhebungspunkt vor einer Tunneleinfahrt liegt, stellt kein Problem dar, da der Unterschied in den Abgasen gemessen wird, so dass die Hintergrundmengen der Umgebung keine Rolle spielen.

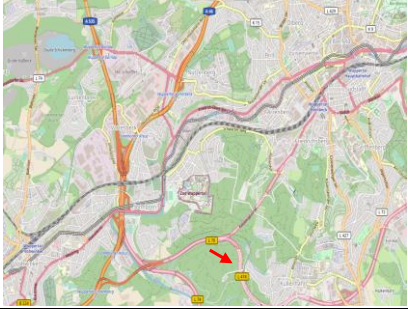
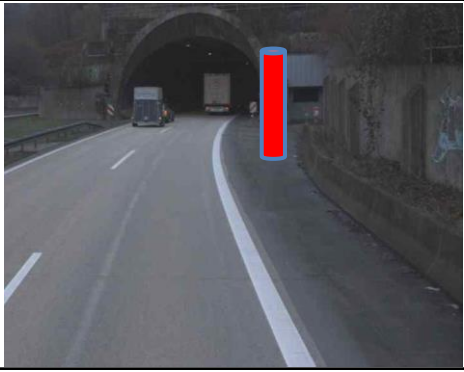

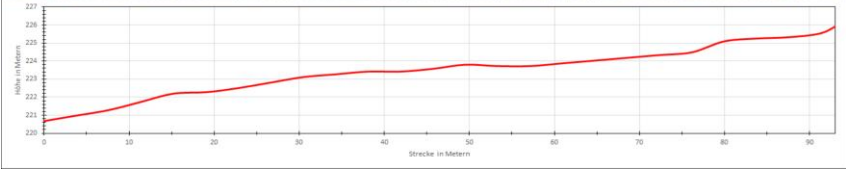



Standortauswahl / site selection untergeordnetes Netz		
L 418		
Straße: L 418 zwischen Wuppertal Cronenberg und Tunnel Burgholz GPS: 51.233430, 7.120298 Landkreis: Stadt Wuppertal		
Erfassungsrichtung (Ri 1): FR Küllenhahn Gegenrichtung (Ri 2): FR Sonnborn Beschreibung gewählter Standort: Standort auf der L 418, vor der Tunneleinfahrt.		
		
Standortprüfung Steigung: nein / ja Geschwindigkeit: 60 km/h Befestigungsmöglichkeit: Portal HEAT Ansprechpartner: Straßen.NRW Herr Sommer Stromanschluss: nein / ja Verkehrsstärke (DTV 2015): Querschnitt: 29.598 Kfz/24h Lichtsignalanlage: nein / ja Haltemöglichkeit: nein / ja auf dem Standstreifen		
		
		
 <p>Quellenvermerk: @GeoportalNRW (2023), https://www.geoportal.nrw.</p>		
Auftraggeber:  Bundesanstalt für Straßenwesen Brüderstraße 53 51427 Bergisch Gladbach	Bearbeitung:  Hager Environmental & Atmospheric Technologies (HEAT) 539 Milwaukee Way Knoxville Tennessee TN 37932	in Zusammenarbeit mit:  DTV-Verkehrsconsult GmbH Pascalstraße 53 52076 Aachen
Erstellt am: 03.02.2023		

Bild 8: Erhebungsstandort L 418

Der zweite Standort (Bild 9) befindet sich auf der A 61 zwischen Dreieck Bad Neuenahr-Ahrweiler und Dreieck Sinzig in Fahrtrichtung Koblenz. Auch hier kann das Traversensystem genutzt werden. Hinter einer Schutzplanke bei Betriebskilometer 187,40 kann es platziert und aufgebaut werden. Dieser Standort verfügt jedoch über keine Stromversorgung, sodass hier zusätzlich ein Generator vorgesehen werden muss. Da neben der Autobahnstrecke ein parallel verlaufender Wirtschaftsweg vorhanden ist, kann das System und der Generator über eine von dort zur Autobahn führende Notzufahrt erreicht werden.

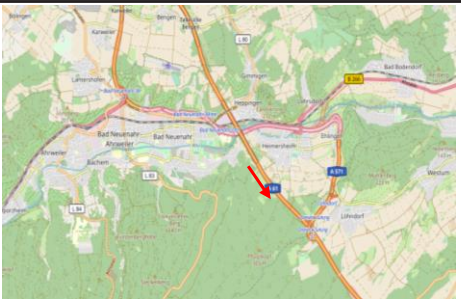

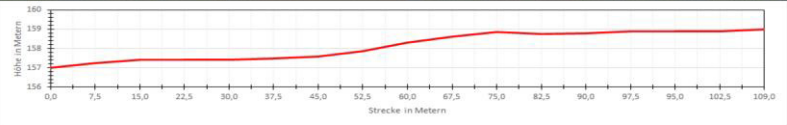



Standortauswahl / site selection Autobahn / highway		
A 61 (Heimersheim)		
Straße: A 61 (Heimersheim) zwischen AD Bad Neuenahr- und AD Sinzig GPS: 50.538036, 7.169532 Landkreis: Ahrweiler		
Erfassungsrichtung (Ri 1): FR Koblenz Gegenrichtung (Ri 2): FR Köln Beschreibung gewählter Standort: Standort zwischen o.g. Anschlussstellen, zwischen Ahrtalbrücke und Dreieck Sinzig.		
Standortprüfung Steigung: nein / ja Geschwindigkeit: 130 km/h Befestigungsmöglichkeit: Portal HEAT (5,5m über Fahrbahn) Ansprechpartner: Autobahn GmbH Stromanschluss: nein / ja Verkehrsstärke (DTV): Ri 1: - Ri 2: - Lichtsignalanlage: nein / ja Haltemöglichkeit: nein / ja Wirtschaftsweg		
		
 <p>Quellenvermerk: ©GeoBasis-DE / LVermGeoRP (2023), dl-de/by-2-0, http://www.lvermgeo.rlp.de [Daten bearbeitet].</p>		
Auftraggeber:  Bundesanstalt für Straßenwesen Brüderstraße 53 51427 Bergisch Gladbach	Bearbeitung:  Hager Environmental & Atmospheric Technologies (HEAT) 539 Milwaukee Way Knoxville Tennessee TN 37932	in Zusammenarbeit mit:  DTV-Verkehrsconsult GmbH Pascalstraße 53 52076 Aachen
Erstellt am: 03.02.2023		

Bild 9: Erhebungsstandort A 61



Bild 10: Erhebungsstandort A 61; Wirtschaftsweg neben Autobahn

4.3 Standortgenehmigungsverfahren

Für die Durchführung der Erhebung ist es notwendig, die zuständige Behörden zu informieren und entsprechende Genehmigungen zu erhalten.

Hierzu wurden für die beiden Erhebungsstandorte zunächst die zuständigen Ansprechpartner recherchiert, wenn nicht bereits im Prüfvorgang der Kontakt hergestellt wurde. Es erfolgte die Kontaktaufnahme per Telefon, um in einem persönlichen Gespräch die Zuständigkeit zu verifizieren und gleichzeitig die Projektdetails zu erläutern.

Für die Erhebung wurden folgende Genehmigungen benötigt.

- Nutzung des Stromanschlusses
- Ggf. Nutzung des Brückengeländers
- Benutzung von Zuwegung
- Straßenrechtliche Erlaubnis zur Aufbringung des Retroreflektors, (Sondernutzung, Ausnahme-genehmigung)
- Zugangserlaubnis zum Testaufbau
- Verkehrsrechtliche Anordnung
 - Fahrstreifensperrung
 - Betretungserlaubnis der Straße

4.4 Zuständigkeiten

Je nach Standort und vorherrschender Straßenkategorie lagen sehr unterschiedliche Zuständigkeitsbereiche und Direktionen vor. Die zuvor genannten Genehmigungen mussten bei den folgenden Behörden angefragt werden:

Standort L 418
Landesverkehrszentrale Leverkusen – Referat Tunnel
Landesbetrieb Straßenbau NRW – Regionalniederlassung Rhein-Berg und Straßenmeisterei Solingen
Stadt Wuppertal – Abteilung 104.12 Arbeitsstellen und Transporte
Polizeipräsidium Düsseldorf

Standort A 61 (nur 2022)
Autobahn GmbH des Bundes – Niederlassung West, Außenstelle Montabaur und Autobahnmeisterei Mendig
Polizeipräsidium Köln und Polizeiautobahnstation Mendig

Tabelle 2: Zuständigkeiten

Bei einem persönlichen Zusammentreffen (2019) mit dem Leiter der Mastermeisterei Leverkusen konnte das Erhebungssystem vorgestellt und mögliche Probleme besprochen werden. Die Aufbringung des Retroreflektors auf der Straße ist aus Sicht der Strassenmeisterei unproblematisch und auch die Betretung der Straße ist, da die Arbeiten im geschützten Bereich stattfinden und alle Personen entsprechende Schutzkleidung tragen, unbedenklich. Die Nutzung des Stromanschlusses an der Tunneleinfahrt der L 418 und der dazugehörige Zugang zum Tunnelgebäude wurden mit dem Leiter der Strassenmeisterei Leverkusen abgesprochen.

Da bei allen ausgewählten Standorten eine Fahrstreifensperrung zur Montage des EDAR-Systems notwendig wird, gilt es eine Verkehrssicherungsfirma zu beauftragen. Bei der Auswahl der Verkehrssicherungsfirma wurde viel Wert darauf gelegt, dass diese ein weit ausgebautes Netzwerk und große Kapazitäten sowie großzügige Anpassungsfähigkeit für das vorliegende Vorhaben besitzt. Zudem wurde bereits bei den Anfragen mitgeteilt, dass ein zusätzliches Abholen und Transportieren des EDAR-Systems inklusive des Traversensystems eine sehr große Unterstützung darstellen würde. Letztendlich ist die Wahl auf die AVS Verkehrssicherung GmbH mit einem nahen Standort in Overath gefallen. Zudem hat die AVS Verkehrssicherung zugesagt, den zuvor beschriebenen Transport des Traversenssystems zu übernehmen.

4.5 Verlauf des Genehmigungsverfahrens

Das Genehmigungsverfahren erstreckte sich über einen großen Zeitraum, da die Zustimmung des BfDI zu dem Datenschutzkonzept sehr langwierig war und die Corona-Pandemie einen anschließend verspäteten Aufbau des Systems bedingte. Erschwerend hatte die Autobahn GmbH des Bundes ihren Betrieb aufgenommen. Damit konnten nicht alle in 2019 bereits angefragten Genehmigungen wiederaufgenommen werden. Die verkehrsrechtliche Anordnung wurde bei der Stadt Wuppertal und die straßenrechtliche Erlaubnis beim Landesbetrieb Straßenbau NRW angefragt. Der Landesbetrieb Straßenbau NRW hat sich sowohl mit dem Polizeipräsidium Düsseldorf als auch mit der Straßenmeisterei Solingen und der Landesverkehrszentrale Leverkusen Referat Tunnel ausgetauscht. Das Tunnelmanagement sprach sich jedoch abschließend gegen den Standort aus. Hauptgrund dafür war, dass der ausgewählte Standort als Anfahrpunkt zur Brandmeldezentrale dient und von der Feuerwehr im Brandfall schnellstmöglich erreicht werden muss. Um das Messsystem an dieser Fläche aufstellen zu dürfen hätte der Alarm- und Gefahren-Abwehrplan abgeändert werden müssen. Dies hätte den Zeitplan für die Messung um mehrere Monate verschoben und so wurde während des Genehmigungsverfahrens der Standort L 418 bei dem Tunnelportal Burgholz als potenzielle Messstelle ausgeschlossen. Weitere Standorte konnten aus zeitlichen Gründen nicht kurzfristig als Ersatz benannt werden.

Zeitgleich zu der Anfrage bezüglich der L418 wurde sowohl die verkehrsrechtliche Anordnung als auch die straßenrechtliche Erlaubnis für den Standort A 61 bei der Autobahn GmbH des Bundes Niederlassung West angefragt. Diese hat sich mit der Außenstelle in Montabaur, der Autobahnmeisterei in Mendig, dem Polizeipräsidium in Köln und der Polizeiautobahnstation in Mendig ausgetauscht. Es sind strikte Auflagen von den einzelnen Behörden ausgearbeitet worden, aber einem grundsätzlichen Aufbau des EDAR-Systems ist nicht widersprochen worden. Durch die Autobahn GmbH des Bundes Niederlassung West ist eine verkehrsrechtliche Anordnung in Verbindung mit einer Ausnahmegenehmigung zum Aufbringen des Retroreflektorstreifens erteilt worden.

Das EDAR-System konnte damit für den vorgesehenen Zeitraum nur an einem Standort aufgebaut werden. Eine Verlängerung der Messzeit an dem genehmigten Standort wurde vereinbart um den fehlenden zweiten Standort zu ersetzen. Die erteilten Genehmigungen erlaubten den Aufbau des Messsystems am 15.06.2022

zwischen 9:00 und 13:30 Uhr und den Abbau am 27.06.2022 zwischen 9:00 und 13:30 Uhr. Insgesamt konnten 12 Tage gemessen werden.

5 Auf- und Abbau des Systems bei temporärer Nutzung

Nachdem der Messstandort feststand, dem Datenschutzkonzept zugestimmt worden war, die Ausnahmegenehmigung und die straßenverkehrsbehördliche Anordnung eingeholt waren, durfte das Messsystem für den genehmigten Zeitraum betrieben werden.

5.1 Systemaufbau

Das Messsystem wurde am 15.06.2022 an der A61 bei Betriebskilometer 187,40 aufgebaut. Dort besteht die Fahrbahn aus drei Fahrstreifen und einem auslaufenden Seitenstreifen. Der dritte Fahrstreifen weist dort noch nicht die Regelbreite auf, da dieser kurz zuvor beginnt und sich noch aufspannt.

Der rechte Fahrstreifen und der auslaufende Seitenstreifen wurden vor Beginn der Aufbauarbeiten durch eine Verkehrssicherungsfirma gesperrt. Dies war notwendig, um das Transportfahrzeug mit dem Messsystem abstellen zu können und den entsprechend ASR 5.2¹ vorgeschriebenen Sicherheitsabstand für die Arbeiten während der Installation des Messsystems zu gewährleisten.

Nachdem die Arbeitsstelle eingerichtet war, wurde die Bodenplatte, auf welcher der Mast bereits montiert ist, hinter der Schutzplanke positioniert. Die Traverse ist speziell nach europäischem Recht und einer Windlast mit Windböen von bis zu 320 km/h konzipiert und zertifiziert. Sie wird nach dem vollständigen Ausklappen mit Betonklötzen verbunden, um die Konstruktion gegen Windlasten zu sichern.

Anschließend wurde ein Stromgenerator aufgestellt. Dieser wurde zum einen dafür benötigt, um die Hydraulikpumpe zum Ausklappen der Traverse mit Energie zu versorgen und zum anderen, um das Messsystem selbst betreiben zu können. Andere Energiequellen, wie beispielsweise eine Dauerstromleitung oder eine regenerative Energiequelle, standen vor Ort nicht zur Verfügung. Danach wurde das horizontale Traversensystem ausgeklappt (linkes Element in Bild 11), damit die Kamera zur Kennzeichenerfassung und die Messsysteme montiert werden konnten.

Im nächsten Schritt wurde das System in die finale Position gebracht. Mittels Hydraulikpumpe, welche zwei am System befindliche Hydraulikstempel bewegt, wird das mittlere Traversenelement (siehe Bild 11) um 180° gedreht.



Bild 11: Zusammengeklappter Mast

¹ Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr – Straßenbaustellen, 2018

Als letzter Teil des Systemaufbaus wurde der Reflektorstreifen auf den rechten Fahrstreifen aufgebracht. Der Reflektorstreifen, welcher eine Breite von etwa 3,8 cm aufweist, wird auf die Fahrbahn geklebt, wobei spezielles Butyl für Hochgeschwindigkeitsstrecken verwendet wird.

Das vollständig installierte und sich im Betrieb befindliche Messsystem ist in Bild 12 zu sehen. Der Reflektorstreifen liegt vor dem Schattenwurf des Systems.



Bild 12: EDAR-System nach dem Aufbau im Messbetrieb

Schlussendlich wurden noch zwei Schilder aufgestellt, welche gemäß Datenschutzkonzept (siehe Kapitel 3) zum einen auf die Erhebung (siehe Bild 13) und zum anderen auf die Kameraaufnahmen hinweisen.



Bild 13: Hinweisschild zur Verkehrserhebung gemäß Datenschutzkonzept

5.2 Systemabbau

Der Abbau des Messsystems fand am 27.06.2022 statt. Auch hierzu wurde wieder durch eine Verkehrssicherungsfirma eine Arbeitsstelle kürzerer Dauer mit Sperrung des rechten Fahrstreifens eingerichtet.

Zunächst wurde das erste Traversenelement eingeklappt, indem es mittels Hydraulik um 180° gedreht wurde. Dann folgte die Demontage der Kamera und der Messsysteme. Auch wurde der Reflektorstreifen aufgenommen und die Bitumenstreifen entfernt. Die Straßenoberfläche wurde anschließend gereinigt. Es traten keine Schäden an der Straßenoberfläche durch das Aufbringen und Entfernen der Bitumenstreifen auf.

Nachdem auch die Hinweisschilder demontiert waren, konnte die Arbeitsstelle zurückgebaut und der rechte Fahrstreifen wieder für den Verkehr freigegeben werden.

6 Auswertung der Messungen

Das EDAR Messgerät liefert die instantanen Emissionen sowie Geschwindigkeit und Beschleunigung des gemessenen Fahrzeuges. Über Kennzeichenabfrage werden für die inländischen Fahrzeuge (Fahrzeuge mit Zulassung in Deutschland) die technischen Daten aus dem Zentralen Fahrzeugregister (ZFZR) beim KBA zugespielt. Damit können im Folgenden u.a. die Emissionen von NO_x und Partikel nach Fahrzeugschicht ausgewertet werden.

Für die ausländischen Fahrzeuge (nicht in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge) sind keine technischen Daten verfügbar; weshalb in diesem Fall nicht nach Fahrzeugschicht, Euro-Stufe oder auch nur Antriebsart unterschieden werden kann. Allerdings misst EDAR auch die Höhe des vorbeifahrenden Fahrzeuges. Diese Information wird daher als Anhaltspunkt genommen, um Lkw-ähnliche Fahrzeuge mit einer Höhe größer als 3,5 m von anderen (also kleiner als 3,5 m) zu unterscheiden. Die Emissionen nach diesem Unterscheidungsmerkmal werden im Weiteren in einem eigenen Abschnitt dargestellt.

6.1 Gültige Messungen und Datenaufbereitung

Insgesamt wurden bei zwölf Tagen Dauerbetrieb mehr als 120'000 Messwerte erfasst (Tabelle 3). Davon sind 84% gültig, also mit allen Emissionswerten, den fahrdynamischen Daten und den benötigten technischen Daten versehen. Das ist als hohe Ausbeute zu betrachten. Damit zeigt EDAR hier erstmals in Deutschland, dass es auch auf Autobahnen bei Geschwindigkeiten um die 100 km/h eingesetzt werden kann.

Bei den 16% ungültigen Messungen können folgende Gründe vorliegen:

- Die Schadstoffkonzentration ist zu klein für eine gültige Messung. Das kommt häufig vor, wenn das Fahrzeug nicht unter Last oder mit negativer Beschleunigung an der RSD-Messstelle vorbeifährt, so dass in dem Abschnitt nur ganz wenig Abgas ausgestoßen wird.
- Abgasfahnen verschiedener Fahrzeuge überschneiden sich und daher wird die Messung als ungültig gekennzeichnet.
- Das Kennzeichen wird nicht gültig erfasst. Dies kann vorkommen, wenn der Winkel zur Kamera ungünstig ist, Lichtreflexion bzw. Schatten oder Verschmutzung das Auslesen verhindern oder wenn das Fahrzeug gerade die Spur wechselt.
- Die Messungen könnten auch durch Regen oder Schneefall (leicht) beeinträchtigt werden, aber das war in der hier berichteten Messkampagne nicht der Fall.

Von den gültig erfassten Fahrzeugen haben fast zwei Drittel (67.900) eine Zulassung in Deutschland. Für diese Fahrzeuge wurden die technischen Daten dem ZFZR des KBA abgefragt. Benötigt werden die Fahrzeugklasse, Antriebsart, die Schadstoffklasse; wünschenswert für eine detaillierte Analyse sind ferner das Alter des Fahrzeuges bzw. das Datum der Erstzulassung, der Hersteller und das Fahrzeugmodell, die installierte Motorleistung und das Fahrzeugleergewicht. Der Rücklauf enthielt 13.500 Datensätze ohne eine Zuordnung zu einer der UN-ECE Fahrzeugklasse M oder N (zur Personen- oder zur Güterbeförderung). Diese Datensätze konnten jedoch über das zulässige Höchstgewicht und die Höchstgeschwindigkeit einer Fahrzeugklasse zugeordnet werden. Bei 4.600 von ihnen ist nicht entscheidbar, ob diese Fahrzeuge der Personen- oder Güterbeförderung dienen. Sie werden daher einer Mischkategorie zugeordnet, im Folgenden als „MN1“, „MN2“ oder „MN3“ bezeichnet, aber nicht weiter ausgewertet, um die Ergebnisse für die eindeutig zugeordneten Kategorien nicht zu verfälschen (vgl. Tabelle 3). Ausserdem liegen von 32 Motorrädern Messdaten vor; da die Kennzeichenerfassung aber ausschließlich über die Fahrzeugfrontseite erfolgte, konnten für Motorräder keine technischen Daten abgefragt werden. Sie werden daher nicht weiter ausgewertet.

	Gesamt	gültige	Anteil an Gesamt
Alle	123402	103265	84%
mit Zulassung in D	82806	67877	82%
	davon Fahrzeugklasse		nach Zuordnung
	M1	31642	33621
	N3	16181	21217
	N1	2635	2947
	N2	488	1448
	M2	15	549
	M3	207	224
	andere	3271	3271
	ohne Klasse	13438	
		MN1	4143
		MN2	295
		MN3	162

Tabelle 3: Aufteilung der gültigen Messwerte mit inländischen Kennzeichen auf EU-Fahrzeugklassen. „Andere“ enthalten auch 32 Messwerte von Motorrädern, für die aber keine technischen Daten vorliegen.

Die Ursache für die 20 Prozent ausgeschlossenen Datensätze ist möglicherweise auf eine unvollständige Zuordnung der nationalen zu den europäischen Fahrzeugklassen zurückzuführen. Die verfügbaren Datensätze könnten unter Einbeziehung des Verzeichnisses zur Systematisierung von Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern in zukünftigen Projekten vervollständigt werden. Im Folgenden erfolgt exemplarisch eine Auswertung der Pkw (Klasse M1) und der Schwere Nutzfahrzeugen (Klasse N3), weil hierzu die meisten Messpunkte vorliegen und damit die Aussagen am genauesten sind. Zum anderen ist der Informationsgehalt gerade bei den Lkw am interessantesten, da diese in dieser Zahl und im Autobahnbetrieb bisher in Deutschland noch nie gemessen wurden.

6.2 Charakteristika der gemessenen inländischen Pkw-Flotte

Die mehr als 33.000 Messpunkte der Pkw verteilen sich ungefähr zur Hälfte auf Fahrzeuge mit Otto- und Dieselantrieb mit sehr ähnlichen Eigenschaften. Sie sind zum Zeitpunkt der Messung im Mittel acht Jahre alt (Baujahr 2014). 4,3% der Pkw haben einen Hybridantrieb; sie sind im Durchschnitt drei Jahre alt. In 68 Fällen wurden batterie-elektrische Pkw erfasst. Die Pkw mit Ottomotoren haben im Durchschnitt 94 kW Motorleistung bei durchschnittlich 1800 kg zulässigem Gesamtgewicht. Bei den Pkw mit Dieselantrieb ist die durchschnittliche Motorleistung mit 113 kW um ein Fünftel höher, das durchschnittliche Gesamtgewicht beträgt 2400 kg.

Im Durchschnitt durchfahren die Pkw die Messstelle mit konstant 100 km/h; die instantane Beschleunigung ist leicht positiv bzw. negativ. Aufgrund der Steigung am Messstandort und der Fahrwiderstände ist der Motor aber unter Last. Die Anzahl und Charakteristika für die einzelnen Fahrzeugschichten (also nach Abgasnorm) sind im Anhang ausgewiesen (Tabelle 4 und Tabelle 5).

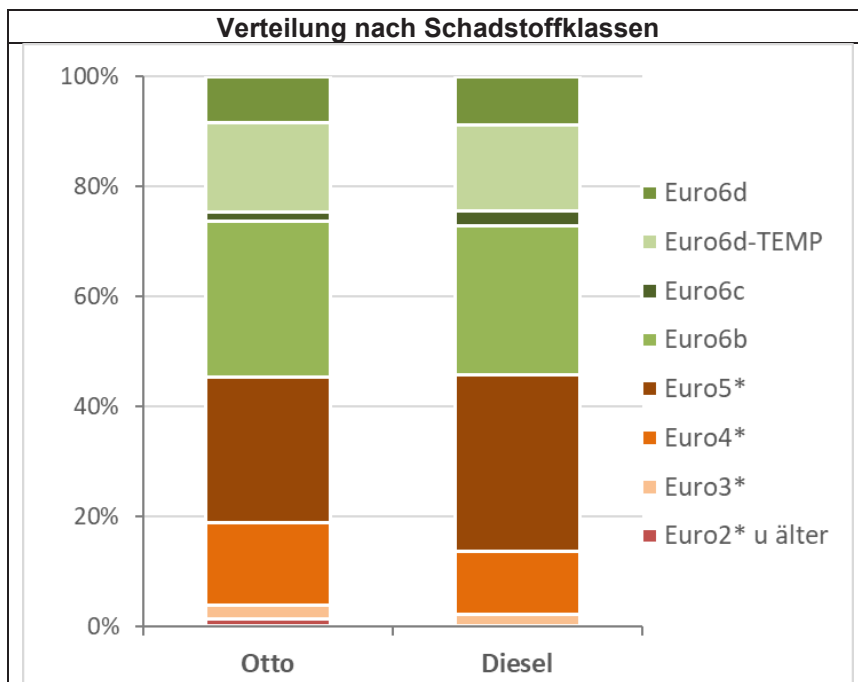


Bild 14: Verteilung der gültig gemessenen inländischen Pkw mit Otto- oder Diesel-Antrieb nach Schadstoffklasse. Mit * gekennzeichnete Schadstoffklassen sind hilfsweise über das Jahr der Erstzulassung zugeordnet.

Die Pkw verteilen sich nach Schadstoffklasse wie folgt (Bild 14): Von den Pkw mit Otto-Motor sind 25% nach der Abgasnorm Euro 5 zugelassen, 55% nach der Euro 6 Norm. Bei mehr als 20% der Pkw mit Otto-Motor ist keine Abgasnorm im abgefragten ZFZR beim KBA eingetragen. Nach dem Jahr ihrer Erstzulassung entsprechen aber 10% dem Gültigkeitsbereich von Euro 4, weitere 2,5% werden über ihr Zulassungsjahr der Euro 3 Norm zugeordnet.

Bei den Pkw mit Diesel-Motor sind 31% nach der Abgasnorm Euro 5 zugelassen, 30% nach der Euro 6b und 6c Norm, 25% nach Euro 6d-TEMP und 6d. 14% der Pkw mit Diesel-Motor haben keine Abgasnorm eingetragen. Ihr durchschnittliches Baujahr ist 2006, was dem Gültigkeitsbereich von Euro 4 entspricht.

Pkw mit LPG Antrieb wurden 334-mal gemessen, was einem gemessenen Flottenanteil von 1% entspricht; Fahrzeuge mit CNG-Antrieb wurden 50-mal gemessen. Dieser Umfang ist für eine detaillierte Auswertung zu gering. Im Folgenden werden daher nur die Emissionen von Otto- und Diesel-Pkw dargestellt. Der Fokus liegt auf den Emissionen von Stickoxiden (NO_x) und Partikeln, weil sie für die Luftqualität die größte Bedeutung haben. Die Emissionswerte für die anderen Schadstoffe (CO und HC sowie NO und NO₂ getrennt) sind im Anhang D (Tabelle 6 und Tabelle 7) ausgewiesen.

6.3 Emissionen der gemessenen inländischen Pkw

Die durchschnittlichen NO_x-Emissionen der (inländischen) Pkw mit Otto- bzw. Diesel-Antrieb liegen im Durchschnitt bei 1,7 bzw. 9,2 g/kg Kraftstoff, was umgerechnet einer Emission von etwa 100 bzw. 500 mg NO_x je km Autobahnfahrt entspricht. Die durchschnittlichen Emissionen nehmen mit fortschreitender Schadstoffklasse ab, wobei die Emissionen der Pkw mit Diesel-Antrieb bis einschließlich Euro 6b um ein Vielfaches über den Emissionen der Pkw mit Otto-Antrieb liegen (Bild 15); Mit Euro 6c, 6d-TEMP und letztlich Euro 6d sind deutliche Minderungen der Emissionen auf umgerechnet ca. 100 mg NO_x, 60 mg NO_x und 30 mg NO_x je Kilometer Autobahnfahrt zu beobachten. Damit haben sich die durchschnittlichen NO_x-Emissionen von Pkw mit Diesel-Antrieb der Stufe Euro 6d denen von Otto-Pkw angeglichen. Der aktuelle Durchschnitt über alle gemessenen Pkw liegt für die hier untersuchte Ortslage und erfassten Verkehrssituationen aber immer noch bei ca. 300 mg NO_x je Kilometer.

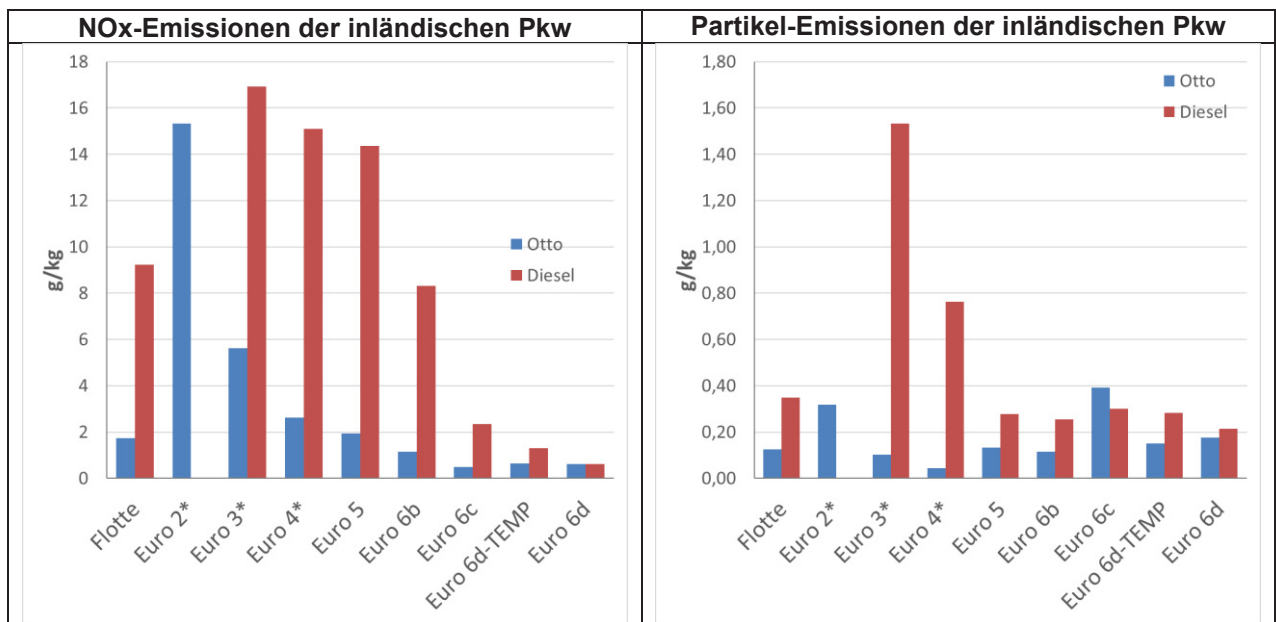


Bild 15: Durchschnittliche NOx- und Partikel Emissionen der gemessenen inländischen Otto- und Diesel-Pkw differenziert nach Schadstoffklasse.

Die gemessenen partikelförmigen Emissionen der Otto- bzw. Diesel-Pkw liegen bei 0,13 bzw. 0,35 g/kg Kraftstoff bzw. umgerechnet bei etwa 7 bzw. 20 mg je km Autobahnfahrt. Ältere Diesel-Pkw der Schadstoffklassen Euro 3 und 4 zeigen durchschnittliche Emissionen von umgerechnet 90 bzw. 45 mg/km. Diese Werte zeigen das Niveau von Fahrzeugen ohne Partikelfilter. Ab Euro 5 sind die Emissionen der Diesel-Pkw aber auf ähnlich niedrigem Niveau wie die Emissionen der Otto-Pkw. Die verbleibenden kleinen Unterschiede liegen im Bereich der Messunsicherheit dieses optischen Verfahrens. Die scheinbare Erhöhung der Partikel-Emissionen für Otto-Pkw der Schadstoffklasse Euro 6c ist auf einen extrem hohen Einzelwert zurückzuführen. Ohne diesen Wert ist der Durchschnitt von Euro 6c so wie die anderen Euro 6 Schadstoffklassen, und damit unauffällig.

6.4 Charakteristika der gemessenen inländischen Lkw-Flotte

Erstmals wurden mit der hier ausgewerteten Kampagne RSD-Messungen an einer Autobahn in Deutschland gemacht. Die hohe Zahl von mehr als 20.000 gültigen Messwerten von Lkw (Klasse N3) ist besonders hilfreich, weil zu dieser Fahrzeugklasse viel weniger Messungen aus dem Realbetrieb vorliegen als bei den M1- (Pkw) oder auch N1-Fahrzeugen (Leichte Nutzfahrzeuge).

Die Lkw-Flotte an der Messstelle ist im Durchschnitt vier Jahre alt, mit einer Motorleistung von im Mittel 350 kW und einer mittleren technisch zugelassenen Gesamtmasse von knapp 21 t. Die Fahrzeuge durchfahren die Messstelle durchschnittlich mit etwas mehr als 80 km/h und leicht negativer nomineller Beschleunigung. Aufgrund der Steigung am Messstandort und der Fahrwiderstände ist der Motor aber unter Last. Diese Charakteristika unterscheiden sich nur unwesentlich zwischen den unterschiedlichen Euro-Abgasstufen. 97% der Lkw fahren mit einem Diesel-Antrieb, der kleine Rest mit unterschiedlichen Formen von Gas-Antrieben. Die gemessenen inländischen Lkw sind fast alle nach der Euro VI-Schadstoffklasse zugelassen. Nur 2% sind nach Euro V registriert; 0,7% haben ein durchschnittliches Baujahr 2012 und sind nach der Zwischenstufe mit der Emissionsklasse EEV² registriert (Bild 16). Nur für diese drei Schadstoffklassen liegen mindestens 100 gültige Messwerte vor, die im Bild 22 dargestellt werden. Die Anzahlverteilung und technischen Charakteristika sind im Anhang (Tabelle 8 und Tabelle 9) ausgewiesen.

10% der Messwerte hatten keine Schadstoffklasse in den Zulassungsdaten eingetragen. Diese Daten wurden anhand des Datums der Erstzulassung fast vollständig der Euro VI-Schicht zugeordnet.

² EEV: Environmentally Enhanced Vehicle, eine Stufe zur freiwilligen Zertifizierung, hier zwischen Euro V und Euro VI angesiedelt.

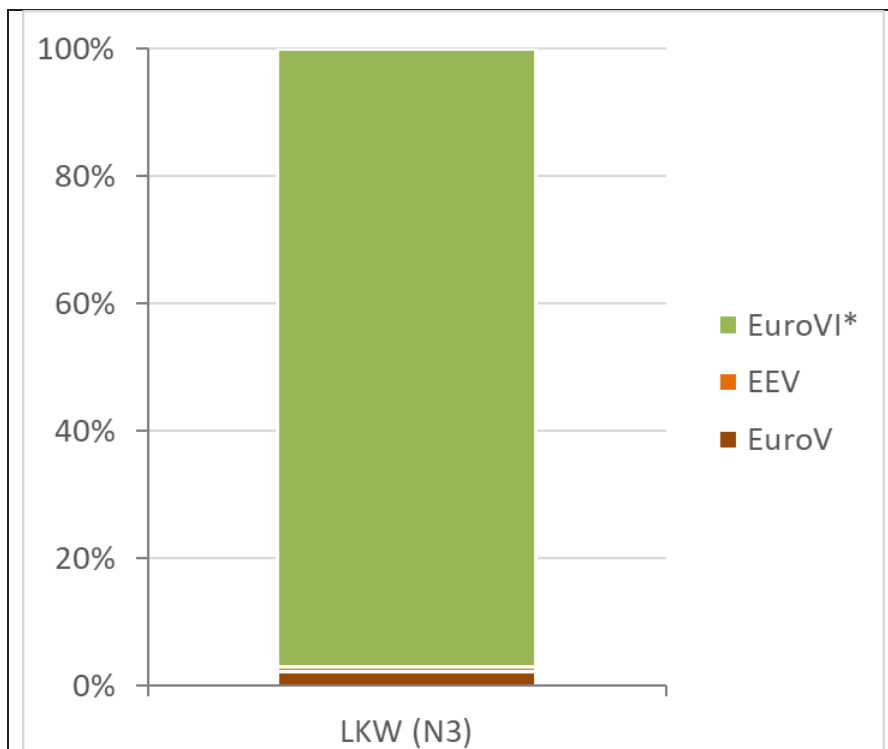


Bild 16: Verteilung der gültig gemessenen inländischen Lkw nach Schadstoffklasse. Die mit * gekennzeichnete Schadstoffklasse Euro VI enthält 10% Fahrzeuge, die hilfsweise über das Jahr der Erstzulassung zugeordnet wurden.

6.5 Emissionen der gemessenen inländischen Lkw

Die NO_x-Emissionen der gemessenen inländischen Lkw liegen bei 8,5 g je kg Kraftstoff; das entspricht umgerechnet etwa 1,7 g NO_x je kWh (Bild 17). Dieser Wert wird durch die nach Euro VI zugelassenen Lkw bestimmt. Die durchschnittliche Emission der Euro V und EEV Lkw ist drei- bis viermal höher, und liegt damit bei mehr als 4,5 bzw. 7 g NO_x je kWh.

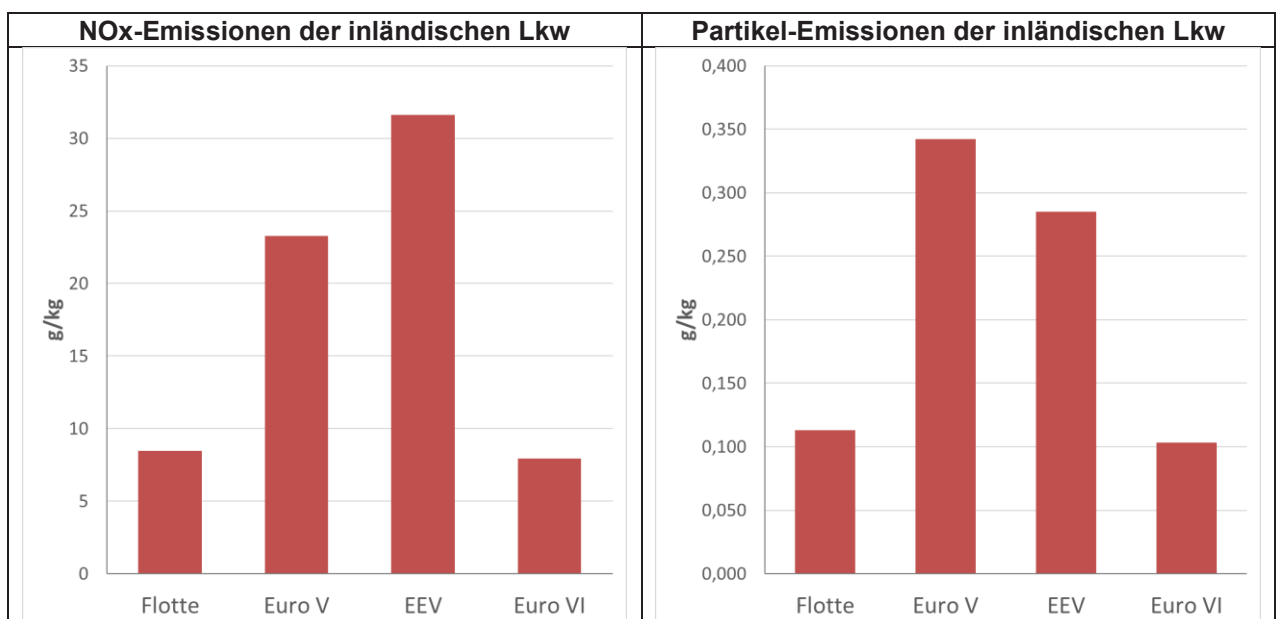


Bild 17: Durchschnittliche NO_x- und Partikel-Emissionen der gemessenen inländischen Lkw differenziert nach Schadstoffklasse.

Die durchschnittlichen Partikel-Emissionen der gemessenen inländischen Lkw-Flotte liegen bei 0,1 g je kg Kraftstoff oder umgerechnet 23 mg je kWh. Die Emissionen der Euro V bzw. EEV Lkw liegen im Durchschnitt etwa dreimal höher (Bild 17).

Lkw, die nach EEV Vorgaben (Environmentally Enhanced Vehicles) zugelassen sind, sollten nicht mehr NO_x und weniger Partikel-Emissionen als Euro V-Lkw haben. In den vorliegenden Daten sind ihre Partikel-Emissionen jedoch nur wenig geringer, während die NO_x-Emissionen deutlich höher sind.

Die Emissionswerte für die anderen Schadstoffe (CO und HC sowie NO und NO₂ getrennt) sind im Anhang (Tabelle 10) ausgewiesen.

6.6 Emissionen der Fahrzeuge mit ausländischem Kennzeichen

Mehr als 35.000 erfasste Fahrzeuge haben ein ausländisches Kennzeichen. Über die Kennzeichen wurde nur ihre Nationalität ausgelesen. Die Angabe nach Antriebsart, Gewichtsklasse und Abgasnorm hätte man möglicherweise bei den Lkw durch Abfrage bei den zuständigen Stellen in den jeweiligen Ländern erhalten können, dies war in dem Umfang dieses Projektes jedoch nicht vorgesehen. Daher liegen für diese Auswertung hier keine Daten vor.

Das EDAR-Messgerät erfasst aber auch Höhe und Profil der Fahrzeuge. Anhand der bekannten technischen Daten von (inländischen) Lkw wurden Fahrzeuge mit einer Höhe von mehr als 3,5 m als Lkw-ähnlich klassifiziert, die niedrigeren Fahrzeuge als Pkw-ähnlich. In dieser Aufteilung entspricht die Fahrdynamik auch den inländischen Pkw und Lkw. 75% der gemessenen Fahrzeuge ausländischen Kennzeichens sind höher als 3,5 m und werden im Folgenden als Lkw betrachtet.

Die NO_x-Emissionen der Fahrzeuge mit ausländischen Nationalitätenkennzeichen sind bei den Pkw um fast 60%, höher als bei den inländischen Pkw. Die ausländischen Lkw haben mehr als 25% höhere NO_x Emissionen als die inländischen Lkw. Bei den Partikeln sind die um 70% höheren Partikel-Emissionen der ausländischen Pkw auffällig, während die Partikel-Emissionen der Lkw auf ähnlichem Niveau liegen wie die inländischen (Bild 18).

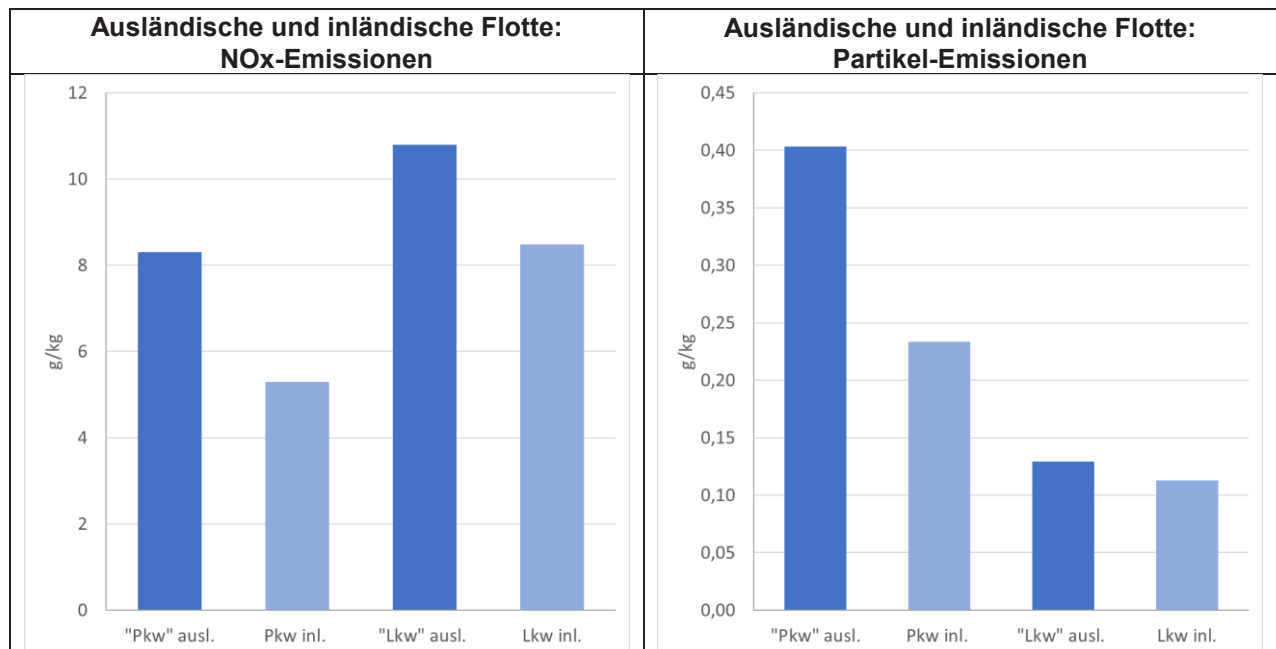


Bild 18: Durchschnittliche NO_x- und Partikel-Emissionen der Fahrzeuge mit aus- bzw. inländischen Kennzeichen. Ausländische Fahrzeuge anhand ihrer Höhe als „Pkw“ oder „Lkw“ angesehen.

Eine Interpretation der Messergebnisse kann seriöserweise erst unter Einzug der technischen Charakteristika und möglicherweise stichprobenartigen Inspektionen erfolgen.

6.7 Vergleich mit den Emissionen nach HBEFA 4.2

Für Deutschland werden die Emissionen des Straßenverkehrs mithilfe des Handbuchs für Emissionsfaktoren (HBEFA, Version 4.2) berechnet. Die mittlere Flotte in typischen Verkehrssituationen können hiermit abgebildet werden. Bisher konnten die Annahmen für Autobahnfahrten in Deutschland noch nie mit Emissionsmessungen aus dem laufenden Betrieb verglichen werden.

Die vorliegenden Messungen an einem einzigen Messquerschnitt sind nicht repräsentativ für das Emissionsverhalten der deutschen Flotte gemittelt über alle Autobahnfahrten, wie es mit HBEFA abgebildet werden soll. Dennoch sollte der Mittelwert plausibel mit den Annahmen im Emissionsmodell zusammenpassen. Am Messquerschnitt liegen die durchschnittlichen Emissionen der inländischen Lkw bei 8,4 g NO_x je kg Diesel bzw. 0,11 g Partikeln je kg Diesel. (Bild 19).

Bei den Euro V Lkw bestimmt allerdings die vorherrschende Abgasreinigungstechnik die resultierenden NO_x Emissionen. Wenn beispielsweise nur eine Abgasrückführung (AGR) eingesetzt wird, liegt der mittlere Wert nach HBEFA 4.2 umgerechnet bei ca. 28 g NO_x je kg Kraftstoff; wird dagegen ein SCR-Katalysator mit Harnstoffeinspritzung eingesetzt, dann liegt der Wert bei umgerechnet nur 13 g NO_x je kg Kraftstoff. Entsprechend kann also der RS-Mittelwert für Euro V Lkw in Höhe von 23 g NO_x je kg Kraftstoff durch einen deutlich höheren Anteil von AGR bei den Euro V Lkw abgebildet werden, als aktuell im HBEFA 4.2 angenommen wird. Das ändert aber am modellierten Partikelwert nichts.

Bei den Euro VI Lkw gibt es mehrere Grenzwertstufen, die auch im HBEFA abgebildet werden. Hier reicht die Spanne von 1 bis 5 g NO_x je kg Kraftstoff; damit lässt sich der RS-Mittelwert für Euro VI Lkw von fast 8 g NO_x je kg Kraftstoff nicht abbilden.

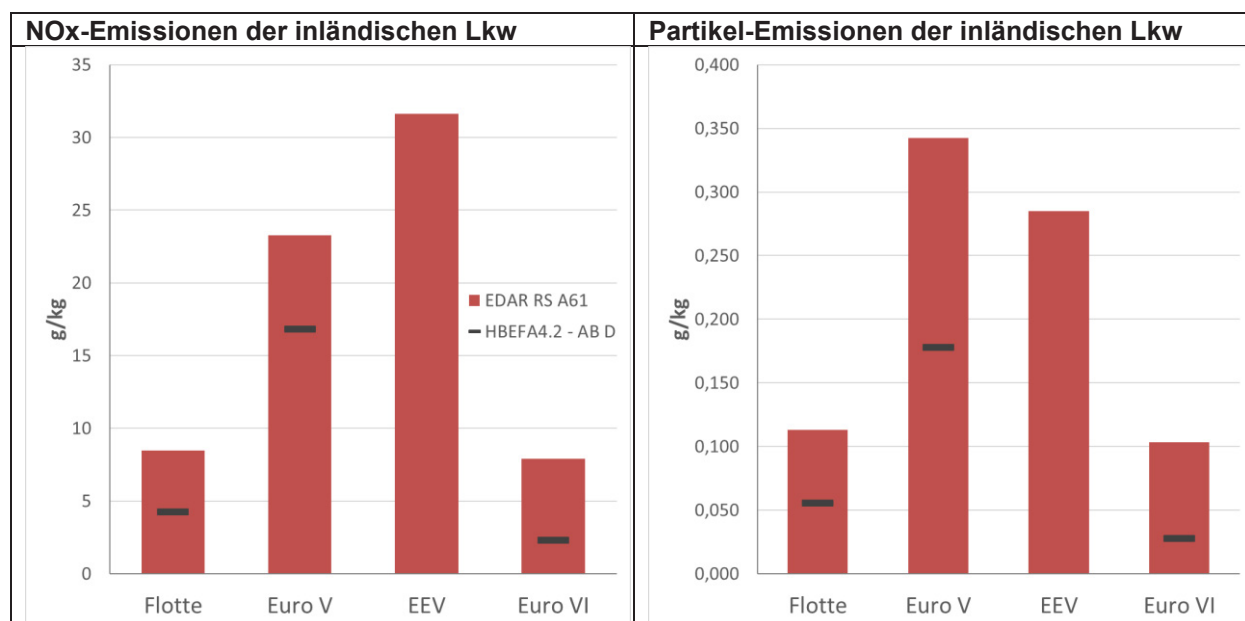


Bild 19: Vergleich der NO_x- und Partikel-Emissionen der inländischen Lkw nach RSD-Messung mit den Durchschnittswerten des HBEFA 4.2 für Lkws auf Autobahnen in Deutschland, differenziert nach Schadstoffklasse.

7 Zusammenfassung und Empfehlungen

Die vorliegenden Messungen sind die ersten Remote Sensing Messungen der Fahrzeugemissionen im laufenden Betrieb auf einer Autobahn in Deutschland.

Der Datenschutz ist bei dieser Erhebungsmethodik besonders wichtig, da Fahrzeugkennzeichen erfasst werden müssen. Diese Kennzeichen sind notwendig, um technische Daten der Fahrzeuge, insbesondere die Fahrzeugklasse, die Antriebsart und die Schadstoffklasse, den Emissionsdaten zuzuordnen. Die Erstellung eines Datenschutzkonzepts, welches allen Anforderungen entspricht, war sehr aufwendig und konnte nur mit Hilfe der BAST erfolgen.

Für die Messstandorte wird eine Steigung gewünscht und, bei mehrspurigen Straßen, die Möglichkeit das Messsystem über der Fahrbahn anzubringen. Der Messaufbau ist jedoch bei ausreichenden Platzverhältnissen und Montagemöglichkeiten an vielen Orten unbedenklich. Da sich der ausgewählte Standort für die vorliegende Erhebung außerorts befinden sollte, waren die Anforderungen an die Verkehrssicherheit hoch und im Rahmen des Genehmigungsverfahrens mussten mehrere Behörden dem Erhebungskonzept zustimmen.

An zwölf Messtagen wurden mehr als 120'000 Messwerte erfasst. Eine Rate von 84% gültigen Messungen zeigt die Eignung der EDAR Technologie bei Geschwindigkeiten im Bereich von 100 km/h. Pkw und Lkw wurden gleichermaßen zuverlässig erfasst. Bei den hohen Verkehrsmengen auf Autobahnen lassen sich also bis zu 10.000 Fahrzeuge pro Tag erfassen, was eine hohe Produktivität bedeutet und damit einen zeitlich begrenzten Messaufwand, um statistisch hinreichend viele Daten zu erhalten.

Die Auswertung liefert ein differenziertes Bild der Emissionen je Fahrzeugschicht für in in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge bei Autobahnfahrten. Im Vergleich zu den vergleichbaren Werten nach HBEFA 4.2 liegen die RSD-Werte höher. Diese Abweichungen sollten näher untersucht werden.

Ein Drittel der gültigen Werte stammt von ausländischen Fahrzeugen, für die im Rahmen dieser Untersuchung keine technischen Daten verfügbar waren, die aber immerhin nach ihrer Bauhöhe in Pkw und Lkw eingeteilt werden konnten. Deren durchschnittliche Emissionen sind bei NOx und Partikeln z.T. deutlich höher als bei der inländischen Flotte. Es würde sich lohnen, die Ursachen hierfür zu untersuchen.

Für eine Validierung der in der Studie ermittelten Messdaten wäre es wünschenswert, die Unterschiede zwischen den gemessenen Emissionen und den vergleichbaren Werten von HBEFA zu verstehen. Mit dem Wissen ließe sich auch die darunterliegende Modellierung anpassen. Für künftige Remote Sensing Messungen in vergleichbarem Rahmen wie der hier vorliegenden Studie sollte ein Weg gefunden werden, wie für ausländische Fahrzeuge die technischen Daten zur Verfügung gestellt werden können. Desweiteren stehen rechtliche Fragen zu klären, bevor Remote Sensing Messungen als behördliches Überwachungsinstrument im Feld eingesetzt und ob Fahrzeuge mit auffällig hohen Emissionswerten direkt einer technischen Untersuchung zugeführt werden können.

Literatur

Bundesdatenschutzgesetz (BDSG). (30. Juni 2017): Bundesdatenschutzgesetz vom 30. Juni 2017 (BGBl. I S. 2097), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 23. Juni 2021 (BGBl. I S. 1858; 2022 I 1045) geändert worden ist.

Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO). (27. April 2016). Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG. OJ L 119,

HEAT (2017): EDAR Pilot Program. Prepared for Eas Central Scotland Vehicle Emissions Partnership. 8 Sept 2017. [https://www.westlothian.gov.uk/media/18035/Real-Time-Vehicle-Emissions-Pilot-Project-Edinburgh-Broxburn-March-2017/pdf/055034_Real_Time_Vehicle_Emissions_pilot_project_Edinburgh_Broxburn_March_2017_\(A8208869\).pdf](https://www.westlothian.gov.uk/media/18035/Real-Time-Vehicle-Emissions-Pilot-Project-Edinburgh-Broxburn-March-2017/pdf/055034_Real_Time_Vehicle_Emissions_pilot_project_Edinburgh_Broxburn_March_2017_(A8208869).pdf)

HEAT (2018): Paris Project with ICCT. 7 Dec 2018. https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/01/HEAT-Paris-Report-Final_20190904.pdf

VG Hannover, Urteil vom 12.03.2019 – 7 A 849/19: Section Control.

Tabellen

Tabelle 1: Messgenauigkeiten je Schadstoff

Tabelle 2: Zuständigkeiten

Tabelle 3: Aufteilung der gültigen Messwerte mit inländischen Kennzeichen auf Fahrzeugkategorien. „Andere“ enthalten auch 32 Messwerte von Motorrädern, für die aber keine technischen Daten vorliegen.

Tabelle 4: Anzahl der gültigen Messwerte für Pkw nach Antriebsart und Abgasnorm

Tabelle 5: Charakteristika und Fahrdynamik der gültig vermessenen Otto- und Diesel-Pkw nach Antriebsart und Abgasnorm (Mittelwerte)

Tabelle 6: Durchschnittliche Emissionen der Otto-Pkw (M1) differenziert nach Schadstoffklasse

Tabelle 7: Durchschnittliche Emissionen der Diese-Pkw (M1) differenziert nach Schadstoffklasse

Tabelle 8: Anzahl der gültigen Messwerte für Lkw (N3) nach Antriebsart und Abgasnorm

Tabelle 9: Charakteristika und Fahrdynamik der gültig vermessenen Lkw (N3) nach Antriebsart und Abgasnorm (Mittelwerte)

Tabelle 10: Durchschnittliche Emissionen der Lkw (N3) differenziert nach Schadstoffklasse

Bilder

Bild 1: Systemkomponenten (HEAT 2018)

Bild 2: Erfassung der gesamten Abgasfahne (HEAT 2017)

Bild 3: Retroreflektor auf Straße

Bild 4: Mobiles EDAR Traversensystem (HEAT 2017)

Bild 5: EDAR & Retroreflektor im Betrieb

Bild 6: Mögliche Erhebungsstrecken; Quelle: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Bild 7: Geprüfte Erhebungsstandorte; Quelle: © OpenStreetMap-Mitwirkende

Bild 8: Erhebungsstandort L 418

Bild 9: Erhebungsstandort A 61

Bild 10: Erhebungsstandort A 61; Wirtschaftsweg neben Autobahn

Bild 11: Zusammengeklappter Mast

Bild 12: EDAR-System nach dem Aufbau im Messbetrieb

Bild 13: Hinweisschild zur Verkehrserhebung gemäß Datenschutzkonzept

Bild 14: Verteilung der gültig gemessenen inländischen Pkw mit Otto- oder Diesel-Antrieb nach Schadstoffklasse. Mit * gekennzeichnete Schadstoffklassen sind hilfsweise über das Jahr der Erstzulassung zugeordnet.

Bild 15: Durchschnittliche NOx- und Partikel Emissionen der gemessenen inländischen Otto- und Diesel-Pkw differenziert nach Schadstoffklasse

Bild 16: Verteilung der gültig gemessenen inländischen Lkw nach Schadstoffklasse. Die mit * gekennzeichnete Schadstoffklasse Euro VI enthält 10% Fahrzeuge, die hilfsweise über das Jahr der Erstzulassung zugeordnet wurden.

Bild 17: Durchschnittliche NOx- und Partikel-Emissionen der gemessenen inländischen Lkw differenziert nach Schadstoffklasse.

- Bild 18: Durchschnittliche NOx- und Partikel-Emissionen der Fahrzeuge mit aus- bzw. inländischen Kennzeichen. Ausländische Fahrzeuge anhand ihrer Höhe als „Pkw“ oder „Lkw“ angesehen.
- Bild 19: Vergleich der NOx- und Partikel-Emissionen der inländischen Lkw nach RSD-Messung mit den Durchschnittswerten des HBEFA 4.2 für Lkws auf Autobahnen in Deutschland, differenziert nach Schadstoffklasse.

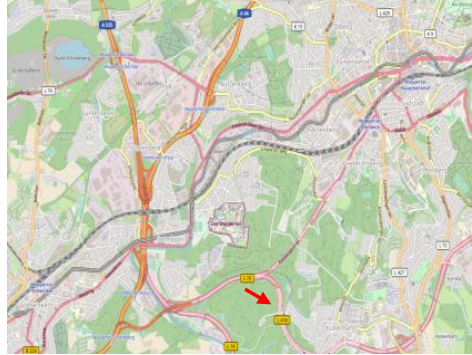
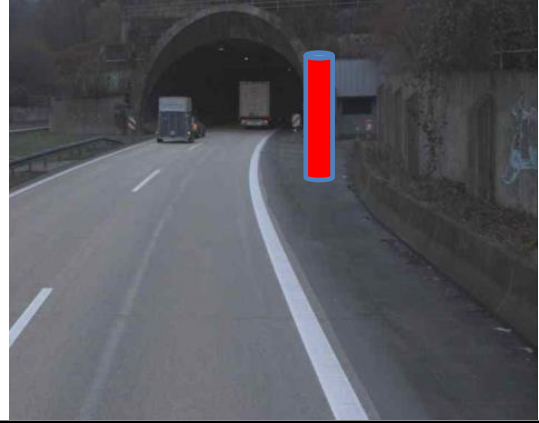




Anhang A – Formular zur Auswahl eines Messstandortes (EDAR)

Site Selection Form - Field Engineer

The purpose of this form is for detailed reporting on visual site inspection for site selection. Please, be thorough and answer all questions to the best of your ability. Confirm any information such as ADT, Speed, Street Names, etc... with DOT sources after visual inspection.

<p>1. Name _____</p> <p>2. Date _____ <i>Example: December 15, 2012</i></p> <p>3. Start Time _____ <i>Example: 8:30 AM</i></p> <p>4. Site Code and Location _____</p> <p>5. Street _____</p> <p>6. Cross Street _____</p> <p>7. Nearest Mile Marker or Exit Number if Applicable _____</p> <p>8. Single Lane, Multi-lane, or Ramp? <i>Check all that apply.</i></p> <p><input type="checkbox"/> Single Lane <input type="checkbox"/> Multi-lane <input type="checkbox"/> Ramp <input type="checkbox"/> Other: _____</p> <p>9. Is the Road on an Incline? <i>Mark only one oval.</i></p> <p><input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No</p> <p>10. Grade/Slope? _____</p> <p>11. Is there Adequate Area for Trailer Placement <i>Mark only one oval.</i></p> <p><input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No <input type="radio"/> Maybe <input type="radio"/> Other: _____</p>	<p>12. Are there Any Obstructions? <i>Mark only one oval.</i></p> <p><input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No <input type="radio"/> Maybe</p> <p>13. If yes, please describe _____</p> <p>14. Shoulder Measurement (please include unit of measure) _____</p> <p>15. Is there Adequate Traffic Flow? <i>Mark only one oval.</i></p> <p><input type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No</p> <p>16. Please, describe the traffic flow and characteristics (i.e. fast, free flowing, backed up, traffic light before or after site, heavy, local traffic, etc...) _____</p> <p>17. Speed _____</p> <p>18. Additional Site Details and Description _____</p> <p>19. Overall Site Rating <i>Mark only one oval.</i></p> <table border="0" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Not a Good Site</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td style="text-align: right;">Excellent Site!</td> </tr> </table> <p>20. Please, upload any photos (max 10 files) Files submitted: _____</p> <p>21. End Time _____ <i>Example: 8:30 AM</i></p>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Not a Good Site	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Excellent Site!
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10															
Not a Good Site	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Excellent Site!														

Anhang B – Steckbrief der betrachteten Standorte

Standortauswahl / site selection untergeordnetes Netz		
L 418		
Straße:	L 418	
zwischen und	Wuppertal Cronenberg Tunnel Burgholz GPS: 51.233430, 7.120298	
Landkreis:	Stadt Wuppertal	
Erfassungsrichtung (Ri 1):	FR Küllenhahn	
Gegenrichtung (Ri 2):	FR Sonnborn	
Beschreibung gewählter Standort:		
Standort auf der L 418, vor der Tunnelleinfahrt.		
		
		
Standortprüfung		
Steigung:	nein / ja	
Geschwindigkeit:	60 km/h	
Befestigungsmöglichkeit:	Portal HEAT	
Ansprechpartner:	Straßen.NRW Herr Sommer	
Stromanschluss:	nein / ja	
Verkehrsstärke (DTV 2015):	Querschnitt: 29.598 Kfz/24h	
Lichtsignalanlage:	nein / ja	
Haltemöglichkeit:	nein / ja auf dem Standstreifen	
		
Quellenvermerk: @GeoportalNRW (2023), https://www.geoportal.nrw .		
Auftraggeber:  Bundesanstalt für Straßenwesen Brüderstraße 53 51427 Bergisch Gladbach	Bearbeitung:  Hager Environmental & Atmospheric Technologies (HEAT) 539 Milwaukee Way Knoxville Tennessee TN 37932	in Zusammenarbeit mit:  DTV-Verkehrsconsult GmbH Pascalstraße 53 52076 Aachen
Erstellt am: 03.02.2023		

Standortauswahl / site selection

Autobahn / highway

A 61 (Heimersheim)

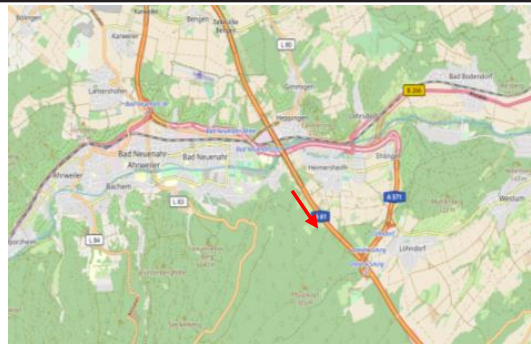
Straße: A 61 (Heimersheim)
 zwischen AD Bad Neuenahr- und AD Sinzig GPS: 50.538036, 7.169532
 Landkreis: Ahrweiler

Erfassungsrichtung (Ri 1): FR Koblenz

Gegenrichtung (Ri 2): FR Köln

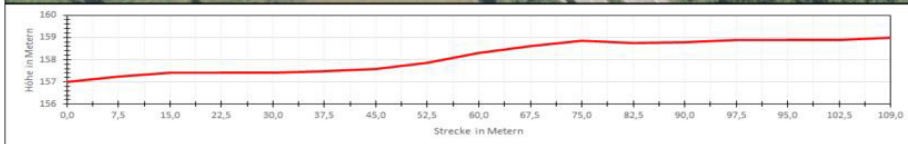
Beschreibung gewählter Standort:

Standort zwischen o.g. Anschlussstellen, zwischen Ahrthalbrücke und Dreieck Sinzig.



Standortprüfung

Steigung: nein / ja
 Geschwindigkeit: 130 km/h
 Befestigungsmöglichkeit: Portal HEAT (5,5m über Fahrbahn)
 Ansprechpartner: Autobahn GmbH
 Stromanschluss: nein / ja
 Verkehrsstärke (DTV): Ri 1: -
 Ri 2: -
 Lichtsignalanlage: nein / ja
 Haltemöglichkeit: nein / ja Wirtschaftsweg



Quellenvermerk: ©GeoBasis-DE / LVermGeoRP (2023), dl-de/by-2-0, <http://www.lvermgeo.rlp.de> [Daten bearbeitet].

Auftraggeber:



Bundesanstalt für Straßenwesen
 Brüderstraße 53
 51427 Bergisch Gladbach

Bearbeitung:



Hager Environmental & Atmospheric
 Technologies (HEAT)
 539 Milwaukee Way Knoxville
 Tennessee TN 37932

in Zusammenarbeit mit:



DTV-Verkehrsconsult GmbH
 Pascalstraße 53
 52076 Aachen

Erstellt am: 03.02.2023

Anhang C – Detaillierte Tabellen zur Datenauswertung

Tabelle 4: Anzahl der gültigen Messwerte für Pkw nach Antriebsart und Abgasnorm

Pkw (M1)	Otto	Diesel	Hybrid	Elektrisch*	LPG	NG	E85	Alle
Alle	15813	15978	1439	0	334	50	6	33621
preEuro1	26	2	0	0	0	0	0	28
Euro1	48	7	0	0	6	0	0	61
Euro2	137	11	0	0	5	0	0	153
Euro3	393	313	0	0	23	0	0	729
Euro4	2372	1824	17	0	92	12	2	4319
Euro5	4161	5116	82	0	91	11	4	9465
Euro6	1	61	0	0	0	0	0	62
Euro6b	4496	4297	163	0	37	8	0	9001
Euro6c	271	435	44	0	20	0	0	770
Euro6d-TEMP	2565	2484	310	0	32	15	0	5406
Euro6d	1328	1417	823	0	25	4	0	3597
unbekannt	15	11	0	0	3	0	0	58

*68 gemessene Pkw wurden voll-elektrisch angetrieben. Da ohne Emissionsdaten, werden sie vom Gerät als ungültig klassifiziert.

Tabelle 5: Charakteristika und Fahrdynamik der gültig vermessenen Otto- und Diesel-Pkw nach Antriebsart und Abgasnorm (Mittelwerte)

Pkw (M1)	Otto	Otto	Otto	Otto	Otto	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
	Baujahr	Motorleistung	max. Gewicht	Geschwindigkeit [km/h]	Beschleunigung [km/h/s]	Baujahr	Motorleistung	max. Gewicht	Geschwindigkeit [km/h]	Beschleunigung [km/h/s]
Flotte	2014,2	94	1797	100	-0,1	2014,8	113	2398	101	-0,1
preEuro1										
Euro1	1994,0	107	1837	94	-0,2					
Euro2	1997,8	99	1778	98	-0,2					
Euro3	2002,3	98	1762	97	-0,1	2005,6	100	2728	96	-0,2
Euro4	2007,5	81	1732	98	-0,2	2007,4	106	2304	100	-0,2
Euro5	2011,9	85	1764	99	-0,1	2012,3	106	2300	100	-0,1
Euro6						2018,9	118	3472	96	-0,1
Euro6b	2016,5	97	1820	100	-0,1	2016,4	116	2377	101	-0,1
Euro6c	2018,2	92	1692	101	-0,1	2018,2	130	2405	104	0,0
Euro6d-TEMP	2019,2	106	1869	102	-0,1	2019,5	120	2515	101	-0,1
Euro6d	2021,0	105	1832	102	-0,2	2021,1	118	2604	101	-0,1
unbekannt	2018,7	191	1982	105	0,1	2020,7	114	3367	98	-0,1

Tabelle 6: Durchschnittliche Emissionen der Otto-Pkw (M1) differenziert nach Schadstoffklasse

Pkw (M1)	Otto	Otto	Otto	Otto	Otto	Otto
	CO	NO	NO2	NOx	HC	Partikel
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Flotte	9,71	0,981	0,224	1,73	0,077	0,126
preEuro1						
Euro1	21,79	10,539	0,433	16,59	0,126	0,094
Euro2	19,04	9,939	0,092	15,33	0,355	0,317
Euro3	12,87	3,341	0,495	5,62	0,172	0,101
Euro4	14,85	1,606	0,159	2,62	0,106	0,043
Euro5	11,93	1,052	0,313	1,93	0,071	0,133
Euro6						
Euro6b	9,40	0,622	0,183	1,14	0,066	0,114
Euro6c	6,09	0,186	0,215	0,50	0,082	0,392
Euro6d-TEMP	4,74	0,305	0,174	0,64	0,056	0,151
Euro6d	2,57	0,255	0,225	0,62	0,057	0,175
unbekannt	2,58	0,318	-0,407	0,08	0,057	0,054

Tabelle 7: Durchschnittliche Emissionen der Diese-Pkw (M1) differenziert nach Schadstoffklasse

Pkw (M1)	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
	CO	NO	NO2	NOx	HC	Partikel
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Flotte	0,581	4,886	1,748	9,240	0,114	0,349
preEuro1						
Euro1						
Euro2						
Euro3	0,779	8,636	3,697	16,94	0,262	1,534
Euro4	0,786	7,635	3,385	15,09	0,135	0,763
Euro5	0,444	7,723	2,524	14,37	0,072	0,277
Euro6	-0,015	1,433	0,157	2,36	0,029	0,320
Euro6b	0,904	4,404	1,556	8,31	0,160	0,254
Euro6c	0,605	1,289	0,377	2,35	0,126	0,301
Euro6d-TEMP	0,388	0,675	0,258	1,29	0,116	0,284
Euro6d	0,123	0,335	0,106	0,62	0,065	0,213
unbekannt	0,387	1,33	0,790	2,84	0,065	0,318

Tabelle 8: Anzahl der gültigen Messwerte für Lkw (N3) nach Antriebsart und Abgasnorm

Lkw (N3)	Diesel	Otto	LNG-diesel	LNG	NG	Multi*	Alle
Flotte	20663	8	172	90	266	4	21217
EuroI	0	0	0	0	0	0	0
EuroII	0	0	0	0	0	0	0
EuroIII	26	1	0	0	0	0	27
EuroIV	24	0	0	0	0	0	24
EuroV	447	0	0	0	0	0	447
EEV	146	0	0	0	0	1	147
EuroVI*	20007	7	172	90	266	3	20559
davon EuroVix	2082	0	25	48	28	0	2183
NA	13	0	0	0	0	0	13

Tabelle 9: Charakteristika und Fahrdynamik der gültig vermessenen Lkw (N3) nach Antriebsart und Abgasnorm (Mittelwerte)

Lkw (N3)	Baujahr	Motorleistung [kW]	Geschwindigkeit [km/h]	Beschleunigung [km/h/s]	Achsenzahl	max Gewicht [kg]
Flotte	2018,5	348	81	-0,34	2,2	20866
EuroI						
EuroII						
EuroIII	2004,5	313	82	-0,19	2,4	21258
EuroIV	2007,2	292	80	-0,25	2,6	23438
EuroV	2011,5	335	82	-0,43	2,3	20938
EEV	2012,3	341	81	-0,25	2,3	21580
EuroVI*	2018,8	348	81	-0,34	2,2	20855
Davon EuroVix	2021,7	363	82	-0,36	2,2	20735

Tabelle 10: Durchschnittliche Emissionen der Lkw (N3) differenziert nach Schadstoffklasse

Lkw (N3)	CO	NO	NO2	NOx	HC	Partikel
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Flotte	0,178	5,067	0,710	8,480	0,026	0,113
EuroI						
EuroII						
Euro III	5,89	16,76	1,86	27,55	0,009	1,239
Euro IV	2,21	14,71	1,08	23,63	0,006	1,203
Euro V	3,37	15,08	0,15	23,27	0,051	0,342
EEV	3,05	20,17	0,67	31,61	0,067	0,285
Euro VI	0,07	4,70	0,72	7,92	0,025	0,103
Euro Vix	0,06	2,34	0,55	4,14	0,013	0,103

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2022

F 143: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbags

Holtz, Heidt, Müller, Johannsen, Jänsch, Hammer, Büchner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 144: Entwicklung eines Verfahrens zur Generierung eines Safety Performance Indikators aus der Bewertung von Euro NCAP

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 145: Regeneration von Partikelfiltern bei Benzin- und Dieselmotorkraftfahrzeugen

Langwald

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 146: Analysis of options for the creation of safety-related traffic information based on vehicle-generated data

Margalith, Sickenberger, Wohak

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 147: Automatische Notbremssysteme für Motorräder

Merkel, Pleß, Winner, Hammer, Schneider, Will

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 148: Analyse glättebedingter Unfälle von Güterkraftfahrzeugen mit mehr als 12 t zulässigem Gesamtgewicht

Müller, Thüring, Jänsch, Epple, Kretschmer, Gottwald, Oehring, Winkenbach

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 149: Evidenzorientierte Ableitung von sicherheitsrelevanten Grundscenarien für die Fahrdomäne Bundesautobahn

Weber, Eckstein, Tenbrock, König, Bock, Zlocki

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2023

F 150: Fahrerassistenzsysteme für die Geschwindigkeitsreduzierung bei schlechten Bedingungen

Pohle, Günther, Schütze, Trautmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 151: Integration von öffentlichem und privatem Parkraummanagement

Höpping, Jonas, Becker, Krüger, Freudenstein, Krampe, Godschachner, Inninger, Scholz, Hüttner, Grötsch, Stjepanovic

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 152: On-Board-Diagnose (OBD) – Analyse der OBD in Bezug auf zukünftig verfügbare Emissionsdaten für die Periodische Technische Inspektion (PTI)

Hausberger, Matzer, Lipp, Blassnegger, Hametner, Prosenc

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2024

F 153: Zusammenstellung geeigneter Sicherheitsindikatoren für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion von Level 3 Systemen

Yan, Pichen, Schmitz, Sklorz, Baumann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 153b: Compilation of suitable safety indicators for the evaluation of Human-Machine Interaction of level 3 systems

Yan, Pichen, Schmitz, Sklorz, Baumann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 154: Systematisierung geeigneter fahrfremder Tätigkeiten für automatisiertes Fahren von schweren Güterkraftfahrzeugen

Flämig, Beck, Hoffmann, Tjaden, Höger, Brandt, Haase, Wolter, Müller, Damer, Hettich, Schnücker

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 155: Handbuch Rollstuhlbeförderung bei Ausschreibungen

Boenke, Deuster

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 156: Entwicklung eines Konzepts und Lastenheftes für eine Szenariendatenbank zur Bewertung der Sicherheitswirkung hochautomatisierter Fahrfunktionen

Klinge, Krampitz, Ehrich, Siemon, Wiegand, Lassowski, Stavesand, Simon

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 157: Statistischer und methodischer Ansatz zur Erhebung vertiefter Verkehrsunfalldaten

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 158: Wissenschaftliche Begleitung der Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr

Unger, Grosche, Rößler, Uhlenhof, Bierbach, Huster, Panwinkler, Straßgütli, Suing, Zelazny

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.


F 159: Pilotprojekt zu Emissionsmessungen mittels Remote Sensing Devices

Hager, Kathmann, Brandt, Roggendorf, Scharrenbroich, Borken-Kleefeld

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen · Tel.+(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48
Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.
www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.



ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-95606-814-0
<https://doi.org/10.60850/bericht-f159>

www.bast.de