



**Lufthygieneamt beider Basel**

Rheinstrasse 29, 4410 Liestal, T +41 61 552 56 19, [www.basler-luft.ch](http://www.basler-luft.ch)

## Bericht

Abteilung Luftqualität

# Abgasmessungen im Strassenverkehr mittels Remote Sensing (RSD)

Resultate Messkampagne Basel & Bottmingen (BL) 2023



## **Impressum**

Lufthygieneamt beider Basel (LHA)  
Abteilung Luftqualität

Version 1.0

## **Projektleitung**

René Glanzmann (LHA)

## **Autor**

Manuel Reinhardt (LHA)

## **Facharbeiten**

*Durchführung Messungen, Datenhandling, Qualitätskontrolle, Datenauswertung:*

Manuel Reinhardt (LHA)

*Datenauswertung, Erstellung Grafiken:*

Dr. Hannah Wey (InNET Monitoring AG), Silvia Reynolds (InNET Monitoring AG)

*Datenhandling, Datenaufbereitung:*

Benjamin Herger (InNET Monitoring AG), Silvia Reynolds (InNET Monitoring AG)

*Projektunterstützung:*

Mario Betschart (InNET Monitoring AG), Cosimo Todaro (LHA)

*Beschaffung deutscher und französischer Fahrzeugdaten:*

Sandra Andris-Ogorka (LHA), Raphaële Deprost (ATMO Grand Est), Dr. Reiner Wirth (LUBW)

*Unterstützung Messungen:*

David Lizarazo (OPUS RSE), Javier Buhigas (OPUS RSE), Sebastian Wey (InNET Monitoring AG)

*Fachliche Unterstützung:*

Gian-Marco Alt (AWEL)

## **Titelbild**

Messstelle Bottmingen, Basel-Landschaft (Quelle: LHA)

22.12.2023

## 1. Zusammenfassung

Der motorisierte Strassenverkehr ist in den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft für etwa 60 % der Stickoxid (NO<sub>x</sub>)–Emissionen verantwortlich. An urbanen und stark verkehrsbelasteten Standorten wird der Grenzwert für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) im Jahresmittel nach wie vor überschritten ([LHA, 2017; 2022](#)).

Im Jahr 2018 führte das Lufthygieneamt beider Basel (LHA) erstmals Abgasmessungen im Strassenverkehr mittels eines Remote Sensing Devices (RSD) durch. Das RSD-Messsystem ermöglicht die kontaktlose Messung einzelner Schadstoffkonzentrationen in den Abgasen vorbeifahrender Fahrzeuge. Es misst somit die Schadstoffemissionen in realen Verkehrssituationen.

Bis 2020 wurde festgestellt, dass die NO<sub>x</sub>-Belastung an verkehrsreichen Standorten nicht wie erwartet abnimmt, sondern auf hohem Niveau stagniert. Obwohl die Emissionsgrenzwerte für Fahrzeuge im Laufe der Jahre verschärft wurden, zeigten Messungen im Strassenverkehr in Zürich und Basel, dass die zulässigen Emissionen um ein Vielfaches überschritten wurden ([AWEL, 2021; LHA, 2018](#)). Der Grund dafür ist der Diesel-Abgasskandal ([Borken-Kleefeld et al., 2018b](#)).

Die Kampagne von 2018 umfasste die Messung von 100'000 Personen- (PW) und Lieferwagen (LW)<sup>1</sup>, von denen etwa 25'000 ausgewertet werden konnten. Der niedrige Auswertungsgrad ist unter anderem auf die damals technisch noch schwierige automatische Erkennung von Nummernschildern zurückzuführen. Ebenso konnten ausländische Kennzeichen nicht ausgewertet werden, von denen insbesondere aus Deutschland und Frankreich einige erfasst worden waren.

Die Ergebnisse der Messungen von 2018 in Basel zeigten weiter, dass benzinbetriebene Fahrzeuge hinsichtlich der NO<sub>x</sub>-Emissionen den allgemeinen Trends der Abgasnormverschärfungen folgten. Im Gegensatz dazu emittierten dieselbetriebene Personen- und Lieferwagen je nach Abgasnorm zwischen Euro 2 und Euro 6b etwa fünf bis zehnmal mehr NO<sub>x</sub> als Benzinfahrzeuge. Die damals neuste Abgasnorm Euro 6c zeigte erstmals substanzielle Verbesserungen der realen NO<sub>x</sub>-Emissionen.

Seit der letzten Messkampagne 2018 wurde eine weitere Abgasnorm Euro 6d eingeführt. Erste Messkampagnen des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich konnten zeigen, dass mittlerweile auch dieselbetriebene Fahrzeuge mit Abgasnorm Euro 6d im Strassenverkehr die Emissionsgrenzwerte grösstenteils einhalten ([AWEL, 2021](#)). Allerdings wird in der genannten Untersuchung darauf hingewiesen, dass die Stichprobe der Fahrzeuge mit Abgasnorm Euro 6d noch zu klein ist, um ein stichhaltiges Urteil abzugeben.

Im Rahmen der Erarbeitung des Luftreinhalteplans beider Basel 2024 sollte die Messkampagne von 2018 an zwei Standorten in Basel wiederholt und um einen Standort im Kanton Basel-Landschaft ergänzt werden. Zusätzlich wurde 2023 angestrebt, die Informationen zu den deutschen und französischen Fahrzeugen einzuholen und in die Auswertung miteinzubeziehen. Dies sollte in Zusammenarbeit mit den Partnerbehörden, der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) aus Deutschland und ATMO Grand Est aus Frankreich stattfinden.

---

<sup>1</sup> PW = Zur Personenbeförderung ausgelegte Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern bis zu 3.5t (M1)  
LW = Fahrzeuge zur Güterbeförderung bis zu 3.5t (N1).

Mit der Wiederholung der Kampagne von 2018 sollte geprüft werden, inwiefern sich die Verjüngung der Flotte und die zunehmende Immatrikulation von Fahrzeugen mit neuester Motorentechnologie (insbesondere Abgasnorm Euro 6d) und alternativen Antrieben begünstigend auf die Schadstoffemissionen auswirken.

Die Luftqualität ist an verkehrsreichen Standorten stark vom Verkehr abhängig ([LHA, 2022](#)). Um die Konzentration von NO<sub>2</sub> in der Umgebungsluft zu bestimmen, wurden bei der Messstation Passivsammler aufgestellt. Die Resultate der Immissionsmessungen bestätigen, dass die Luftqualität an den Messstandorten deutlich vom Verkehr beeinflusst wird und die NO<sub>2</sub>-Konzentration während der Untersuchungsperiode zeitweise Werte über 30 Mikrogramm pro Kubikmeter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) erreicht (zur Information: der Jahresmittelgrenzwert für NO<sub>2</sub> beträgt gemäss Luftreinhalte-Verordnung (LRV)  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Im Vergleich zu 2018 hat sich die Fahrzeugflotte verjüngt. Nach wie vor ist die Menge an älteren Dieselfahrzeugen mit Abgasnorm Euro 3–5 im Verkehrsmix der Region Basel aber von Bedeutung. Die Fahrzeugflotten aus Deutschland und Frankreich unterscheiden sich nicht wesentlich von der Gesamtflotte, auch bei Fahrzeugen aus dem Ausland zeigt sich eine langsame Verjüngung der Fahrzeuge.

Dieselbetriebene Fahrzeuge sind für 75 % der NO<sub>x</sub>-Emissionen verantwortlich, obwohl sie im Verkehrsmix nur 40 % ausmachen. Es wurde bestätigt, dass Dieselmotoren der Abgasnormen Euro 4 und insbesondere Euro 5 ein Vielfaches mehr an NO<sub>x</sub> ausstossen, als der Grenzwert bei der Typenprüfung verlangt. Erstmals konnte auch eine grosse Anzahl Fahrzeuge mit der neusten Abgasnorm Euro 6d gemessen werden. Die Auswertung zeigt, dass diese neuen Fahrzeuge die Grenzwerte im Strassenbetrieb grösstenteils einhalten, was für Dieselmotoren eine neue Entwicklung ist. Die untersuchten Fahrzeuge aus Frankreich und Deutschland unterscheiden sich in ihrem Emissionsverhalten nicht wesentlich von den in der Schweiz immatrikulierten Fahrzeugen.

Die Hypothek der im Strassenbetrieb erhöhten Emissionen von Dieselfahrzeugen der älteren Generationen wird jedoch noch einige Jahre bestehen. Es zeigt sich, dass die Flottenverjüngung bei dieselbetriebenen Lieferwagen, die grosse Beiträge an NO<sub>x</sub>-Emissionen leisten, schneller voranschreitet als bei Personenwagen und Benzinfahrzeugen.

Erstmals konnten Hybridfahrzeuge genauer untersucht werden. Während diese hinsichtlich ihrer NO<sub>x</sub>-Emissionen keine relevanten Unterschiede zu Benzin- und Dieselfahrzeugen aufweisen, wird deutlich, dass in über 80 % der Fälle im Verbrennungsmodus gefahren wird. Dies ist sowohl im Agglomerationsverkehr als auch im städtischen Verkehr der Fall. Somit ist nur ein kleiner Teil der Hybridfahrzeuge im Strassenverkehr mit dem eingebauten Elektromotor unterwegs.

## 2. Résumé

Dans les cantons de Bâle-Ville et de Bâle-Campagne, le trafic routier motorisé est responsable d'environ 60 % des émissions d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Dans les lieux urbains connaissant un fort trafic, la valeur limite en moyenne annuelle pour le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) continue d'être dépassée ([LHA, 2017 ; 2022](#)).

En 2018, l'Office de l'Hygiène de l'Air des deux Bâle (Lufthygieneamt beider Basel, LHA) a effectué pour la première fois des mesures des gaz d'échappement in situ dans le trafic routier au moyen d'un Remote Sensing Device (RSD). Le système de mesure RSD permet de mesurer sans contact les concentrations individuelles de polluants dans les gaz d'échappement des véhicules qui passent. Il mesure ainsi les émissions de polluants dans des situations de trafic réelles.

Jusqu'en 2020, on a constaté que la pollution par les oxydes d'azote dans les lieux à fort trafic ne diminuait pas comme prévu, mais stagnait à un niveau élevé. Bien que les valeurs limites d'émission pour les véhicules ont été renforcées au fil des ans, des mesures effectuées dans le trafic routier à Zurich et à Bâle ont montré que les émissions autorisées étaient plusieurs fois dépassées ([AWEL, 2021 ; LHA, 2018](#)). La raison en est le Diesel-Gate ([Borken-Kleefeld et al., 2018b](#)).

La campagne de 2018 comprenait la mesure de 100'000 voitures de tourisme (VP) et de livraison (VL), dont environ 25'000 ont pu être évaluées. Le faible taux d'exploitation s'explique notamment par la reconnaissance automatique des plaques d'immatriculation, encore difficile à l'époque sur le plan technique. De même, il n'a pas été possible d'évaluer les plaques d'immatriculation étrangères, dont certaines avaient été saisies en particulier en Allemagne et en France.

Les résultats des mesures effectuées en 2018 à Bâle ont en outre montré que les véhicules à essence suivaient les tendances générales de durcissement des normes antipollution en ce qui concerne les émissions de NO<sub>x</sub>. En revanche, les voitures de tourisme et les camionnettes à moteur diesel émettent environ cinq à dix fois plus de NO<sub>x</sub> que les véhicules à essence, selon la catégorie de gaz d'échappement comprise entre Euro 2 et Euro 6b. La norme antipollution 6c, la plus récente à l'époque, a montré pour la première fois des améliorations substantielles des émissions réelles de NO<sub>x</sub>.

Depuis la dernière campagne de mesure de 2018, une nouvelle norme européenne 6d a été introduite. Les premières campagnes de mesure de l'Office des déchets, de l'eau, de l'énergie et de l'air (AWEL) du canton de Zurich ont pu montrer qu'entre-temps, les véhicules à moteur diesel répondant à l'Euronorme 6d respectent eux aussi en grande partie les valeurs limites d'émission dans le trafic routier (AWEL, 2021). L'étude mentionnée indique toutefois que l'échantillon de véhicules répondant à l'Euronorme 6d est encore trop petit pour pouvoir émettre un jugement pertinent.

Dans le cadre de l'élaboration du plan de protection de l'air des deux Bâle 2024, la campagne de mesure de 2018 devait être répétée sur deux sites à Bâle et complétée par un site dans le canton de Bâle-Campagne. De plus, en 2023, l'objectif était d'obtenir des informations sur les véhicules allemands et français et de les inclure dans l'évaluation. Cela devait se faire en collaboration avec les autorités partenaires, la Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) d'Allemagne et ATMO Grand Est de France.

La répétition de la campagne de 2018 devait permettre de vérifier dans quelle mesure le rajeunissement de la flotte et l'immatriculation croissante de véhicules dotés des technologies de motorisation les plus récentes (notamment Euro 6d) et de propulsions alternatives avaient un effet favorable sur les émissions de polluants. La qualité de l'air dépend fortement du trafic dans les endroits à forte circulation (LHA, 2022). Afin de déterminer la concentration de NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant, des collecteurs passifs ont été placés près de la station de mesure. Les résultats des mesures des immissions confirment que la qualité de l'air aux emplacements de mesure est nettement influencée par le trafic et que la concentration de NO<sub>2</sub> atteint par moments des valeurs supérieures à 30 microgrammes par mètre cube ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pendant la période d'étude (pour information, la valeur limite moyenne annuelle pour le NO<sub>2</sub> est de 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  selon l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair)).

Par rapport à 2018, la flotte de véhicules s'est rajeunie. Cependant, la quantité de véhicules diesel anciens de classe Euro 3-5 reste importante dans le mix de transport de la région de Bâle. Les flottes de véhicules en provenance d'Allemagne et de France ne se distinguent pas de manière significative de la flotte totale, même pour les véhicules en provenance de l'étranger, on constate un lent rajeunissement des véhicules.

Les véhicules à moteur diesel sont responsables de 75 % des émissions d'oxyde d'azote, bien qu'ils ne représentent que 40 % du mix de transport. Il a été confirmé que les moteurs diesel des classes Euro 4 et surtout Euro 5 émettent plusieurs fois plus d'oxydes d'azote que la valeur limite exigée lors de l'homologation. Pour la première fois, un grand nombre de véhicules répondant à la toute nouvelle norme antipollution Euro 6d ont également pu être mesurés. L'évaluation montre que ces nouveaux véhicules respectent en grande partie les valeurs limites en usage routier, ce qui constitue un nouveau développement pour les moteurs diesel. Les véhicules français et allemands analysés ne se distinguent pas vraiment des véhicules immatriculés en Suisse en termes d'émissions.

L'hypothèque des émissions accrues des véhicules diesel d'ancienne génération en service sur route subsistera toutefois encore quelques années. Il s'avère que le rajeunissement de la flotte est plus rapide pour les camionnettes à moteur diesel, qui contribuent largement aux émissions de NO<sub>x</sub>, que pour les voitures de tourisme et les véhicules à essence.

Pour la première fois, les véhicules hybrides ont pu être examinés de plus près. Alors que ceux-ci ne présentent pas de différences pertinentes par rapport aux véhicules à essence et diesel en ce qui concerne leurs émissions d'oxyde d'azote, il apparaît clairement que dans plus de 80 % des cas, ils roulent en mode de combustion. C'est le cas aussi bien dans le trafic d'agglomération que dans le trafic urbain. Ainsi, seule une petite partie des véhicules hybrides circulant sur les routes sont équipés d'un moteur électrique intégré.

## Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung .....	3
2.	Résumé .....	5
3.	Zielsetzung .....	9
4.	Bedeutung von Typenprüfungen und Emissionen im Strassenverkehr .....	10
5.	Methodik .....	12
5.1.	Remote Sensing Device (RSD) .....	12
5.2.	Standorte.....	14
5.2.1.	Feldbergstrasse.....	16
5.2.2.	Zürcherstrasse.....	17
5.2.3.	Bottmingen.....	18
5.3.	NO <sub>2</sub> -Immissionsmessungen.....	19
5.4.	Auswertung (Daten) .....	20
5.5.	Analyse von Hybrid- und Elektrofahrzeugen .....	21
6.	Resultate.....	23
6.1.	Übersicht Verkehrsmix inklusive PHEV und EV .....	26
6.2.	Flottenzusammensetzung.....	27
6.2.1.	Flottenzusammensetzung deutscher Fahrzeuge .....	28
6.2.2.	Flottenzusammensetzung französischer Fahrzeuge.....	30
6.3.	Flotten-Emissionen nach Fahrzeug- und Treibstoffart.....	31
6.4.	Emissionen nach Fahrzeugjahr und Abgasnorm.....	32
6.4.1.	Emissionen nach Fahrzeugjahr deutscher Fahrzeuge.....	38
6.4.2.	Emissionen nach Fahrzeugjahr französischer Fahrzeuge .....	39
6.5.	Vergleich von Fahrzeug-Marken.....	41
6.6.	Hybridantriebe.....	47
6.7.	Resultate Hybridfahrzeuge im internationalen Vergleich.....	48
6.8.	Vergleich mit Kampagne 2018.....	49
7.	Fazit .....	50
8.	Ausblick .....	51
Anhang .....		52
	Abkürzungsverzeichnis .....	52
	Abbildungsverzeichnis .....	52

Tabellenverzeichnis .....	54
Anhang 1: Durchschnittlicher Tagesverkehr und Boxplot «VSP, Beschleunigung, Geschwindigkeit» .	55
Anhang 2: Umrechnungstabelle g/kg Treibstoff nach Abgasnorm .....	56
Anhang 3: Qualitätskontrolle PHEV-Analyse.....	57
Literaturverzeichnis .....	58

### 3. Zielsetzung

Der motorisierte Strassenverkehr ist eine wichtige Quelle von Luftschadstoffen. Er stellt durch die Verbrennung von Benzin und insbesondere Diesel die Hauptquelle für den Ausstoss von Stickoxiden ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ) dar. Schweizweit hat der Ausstoss von  $\text{NO}_x$  zwischen 2005 und 2020 um 44 % abgenommen. Das Ziel ist es, eine Reduktion von 50 % zu erreichen (BAFU, 2023). Für Stickstoffdioxid ist in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) ein Jahresmittel-Grenzwert von  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  festgelegt (Bundesrat, 1985). An den verkehrsreichen Orten in der Nordwestschweiz wird dieser nach wie vor überschritten, z. B. 2022 an der Feldbergstrasse in Basel mit  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (LHA, 2022).

Mit seinem Beitrag zur Luftverschmutzung ist der Verkehr eine der Ursachen für Herz-Kreislauf sowie Atemwegs-Erkrankungen und Lungenkrebs (Vienneau et al., 2023; Felber-Dietrich, 2014). Neben Gesundheitsfolgen verursacht die Luftverschmutzung weitere Umweltprobleme, zum Beispiel indem sie zu übermässigen Stickstoffeinträgen in empfindliche Ökosysteme beiträgt (Rihm und Künzle, 2023). Deshalb wird die Regulierung verkehrsbezogener Schadstoffemissionen laufend verschärft und dem Stand der Technik angepasst (Hooftman et al., 2018). Um die Emissionsgrenzwerte zu kontrollieren, werden neue Fahrzeugtypen bei der Typenzulassung unter Laborbedingungen auf einem Rollenprüfstand getestet. Seit der Abgasnorm Euro 6d auch im realen Fahrbetrieb. Im Zuge des sogenannten Dieselskandals wurde allerdings deutlich, dass durch die Motorensteuerungssoftware Manipulationen am Abgasreinigungssystem von Dieselfahrzeugen vorgenommen wurden. Diese führen vor allem bei Fahrzeugen der Abgasnormen Euro 4 und Euro 5 zu einem erhöhten  $\text{NO}_x$ -Ausstoss im Strassenverkehr (Europäische Kommission, 2017).

Die vergangenen Entwicklungen zeigen, dass eine Charakterisierung der Emissionen im Strassenverkehr notwendig ist, um Fehlentwicklungen zu identifizieren und eine realistische Grundlage für die Beschreibung der Emissionen zu gewährleisten. Das LHA kam nach einer Messkampagne von Fahrzeugen im Strassenverkehr 2018 zum Schluss, dass ohne Abgasmanipulationen an den Dieselfahrzeugen deutlich weniger  $\text{NO}_x$  im Strassenverkehr ausgestossen würde. Die  $\text{NO}_2$ -Belastung in städtischen Gebieten und entlang von Hauptverkehrsstrassen könnte deutlich tiefer sein. Die Emissionsüberschreitungen von Dieselfahrzeugen bewirkten eine Verzögerung bezüglich des Absenkpfeils der  $\text{NO}_2$ -Belastungen um etliche Jahre (LHA, 2018). Deshalb lohnt es sich, Kenntnisse über die Verjüngung der Fahrzeugflotte sowie über die zunehmende Verbreitung alternativer Antriebe in der Stadt Basel und Agglomeration zu haben. Gleichzeitig gilt es, die Entwicklung der Emissionen jüngerer Fahrzeuge weiterhin zu beobachten. Insbesondere wird untersucht, in wie vielen Fällen der im Strassenverkehr emissionsarme Elektromotor der Hybridfahrzeuge verwendet wird.

Um den aktuellen Schadstoffausstoss aus dem Strassenverkehr zu bestimmen, führte das LHA eine Wiederholungskampagne der Abgasmessungen mit einem «Remote Sensing Device» (RSD) durch. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen unter anderem als Grundlage für die Planung und den Vollzug von Luftreinhalte-Massnahmen in Form des Luftreinhalteplans (LRP 2024). Die Ergebnisse der RSD-Messkampagne 2023 sind Bestandteil des LRP 2024.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Messreihe des LHA und deren Methodik. Er orientiert sich stark am Bericht der Kampagne 2018 ([LHA, 2018](#)) sowie dem AWEL-Bericht zu den langjährigen RSD-Messungen in Zürich ([AWEL, 2021](#)). Die wichtigsten Erkenntnisse werden mit dem Fokus auf NO<sub>x</sub> in einen fachlichen Kontext gesetzt.

#### 4. Bedeutung von Typenprüfungen und Emissionen im Strassenverkehr

Ein neuer Fahrzeugtyp muss bei der Marktzulassung ein Typenprüfungsverfahren erfolgreich durchlaufen haben. In der Schweiz sind in der Regel Fahrzeugtypen zulässig, welche die Zulassung zum Markt in der Europäischen Union erhalten haben. Bei der Typenprüfung dürfen die Grenzwerte zum Schadstoffausstoss nicht überschritten werden. Diese Abgasvorschriften wurden in den letzten Jahrzehnten laufend verschärft (Tabelle 1). Im September 2017 wurde zudem der langjährige Testzyklus namens "Neuer Europäischer Fahrzyklus" (engl.: NEDC) durch den auf realeres Fahrverhalten angepassten "Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle" (WLTC) abgelöst ([Tutuianu et al., 2015](#); [Pavlovic et al., 2018](#)): Bis 2017 wurden die Emissionen unter Laborbedingungen auf dem Rollenprüfstand geprüft. Seit September 2017 müssen neue Fahrzeugtypen die Abgasvorschriften zusätzlich auch unter definierten Bedingungen im realen Fahrbetrieb einhalten ([Zimmermeyer et al., 2017](#)).

Bei den Prüfstandmessungen werden bestimmte Fahrsituationen auf eine standardisierte, vereinfachte Art durch die Testzyklen nachgestellt. Zwar werden die Prüfbedingungen so vergleichbar, allerdings wird nicht das gesamte relevante Spektrum an realen Fahrbedingungen abgebildet ([Bernard et al., 2018](#); [Zimmermeyer, 2017](#); [ICCT, 2016](#)).

Im täglichen Strassenverkehr hingegen trifft man ein Spektrum an verschiedenen Umständen an, die sich auf die Motorlast und damit auf den Treibstoffverbrauch und Schadstoffausstoss der Fahrzeuge auswirken ([Dallmann et al., 2018](#); [Franco et al., 2013](#)). Massgebliche Faktoren sind zum Beispiel das Fahrzeuggewicht, die Steigung der Strasse, Geschwindigkeit, Verkehrsfluss und Fahrweise.

Unter der Bezeichnung "reale Emissionen" werden im vorliegenden Bericht die Schadstoff-Emissionen aus dem Auspuff zusammengefasst, welche im Strassenverkehr in unterschiedlichen Fahrsituationen tatsächlich anfallen. Es ist wichtig sich zu vergegenwärtigen, dass alle zum Markt zugelassenen Fahrzeugtypen die Grenzwerte bei der Typenprüfung eingehalten haben. Die Emissionen auf der Strasse können aber von den Grenzwerten abweichen, weil die Typenprüfungen bis September 2017 nur bei Laborbedingungen auf dem Rollenprüfstand stattgefunden haben. Allerdings sollten, dem Grundgedanken des Gesetzgebers zufolge, die realen Emissionen im Durchschnitt nicht substanziell von den Grenzwert-Vorgaben abweichen. Aufgrund der Verschärfung der Emissionsgrenzwerte über die Jahre sollte auch im Strassenverkehr eine vergleichbare Entwicklung zu beobachten sein.

Für neuere Fahrzeuge gilt seit Ende 2019 die Abgasnorm Euro 6d mit RDE Test (Messen von Emissionen im praktischen Fahrbetrieb. Im RDE Test wird mit einem mobilen Abgasmessgerät (PEMS) direkt am Auspuff gemessen). Dabei darf die reale NO<sub>x</sub>-Emission um den Faktor 2.1 (bis 2021) bis 1.43 (ab 2021) von den Grenzwerten abweichen (in Tabelle 1 unter CF-Faktor RDE gekennzeichnet). Eine neue Abgasnorm Euro 7

wird aktuell diskutiert und ist frühestens ab 2025 geplant (*Europäische Kommission, 2023*). Die verschiedenen Abgasnormen, Testzyklen und Emissionsgrenzwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

**Tabelle 1: EU- Abgasnormen, Umrechnung von NO<sub>x</sub> in g/kg wurde vom AWEL von Hausberger (2010) abgeleitet (AWEL, 2021; Chen, 2014; Europäische Kommission, 2020)**

Abgasnorm	Typengenehmigung	Erstzulassung	Prüfverfahren	CF-Faktor RDE (NO <sub>x</sub> )	NO <sub>x</sub> (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/kg Treibstoff)
<b>Benzin</b>						
Euro 1	Jun 92	Jan 93	NEDC			8.3
Euro 2	Jan 96	Jan 97				3.6
Euro 3	Jan 00	Jan 01		0.15	2.6	
Euro 4	Jan 05	Jan 06		0.08	1.4	
Euro 5a	Sep 09	Jan 11		0.06	1	
Euro 6a,b	Sep 14	Sep 15		0.06	1	
Euro 6c	Sep 17	Sep 18	WLTC		0.06	1
Euro 6d-TEMP	Sep 17	Sep 19	WLTC + RDE (PEMS)	2.1	0.06	1
Euro 6d	Jan 20	Jan 21		1.43	0.06	1
Euro 7	Geplant					
<b>Diesel</b>						
Euro 1	Jun 92	Jan 93	NEDC			20
Euro 2, PFI	Jan 96	Jan 97				10.9
Euro 2, GDI	Jan 96	Jan 97				10.9
Euro 3	Jan 00	Jan 01		0.5	10.3	
Euro 4	Jan 05	Jan 06		0.25	4.4	
Euro 5a	Sep 09	Jan 11		0.18	3.5	
Euro 5b	Sep 11	Jan 13		0.18	3.5	
Euro 6a,b	Sep 14	Sep 15		0.08	1.6	
Euro 6c	Sep 17	Sep 18	WLTC		0.08	1.6
Euro 6d-TEMP	Sep 17	Sep 19	WLTC + RDE (PEMS)	2.1	0.08	1.6
Euro 6d	Jan 20	Jan 21		1.43	0.08	1.6
Euro 7	Geplant					

Bei der Analyse der Messkampagne in diesem Bericht (Kapitel 6) werden Abgasnormen mit gleichen Grenzwerten oder Prüfverfahren zusammen betrachtet. Somit werden Euro 5a und Euro 5b zusammengefasst als Euro 5. Ähnlich zusammengefasst werden die verschiedenen Abgasnormen der Euro 6-Klassen. Euro 6a–c werden zusammen betrachtet. Da ab Abgasnorm Euro 6d-TEMP mit dem PEMS gemessen wird, werden beide 6d Klassen gemeinsam analysiert.

Mit der zunehmenden Verbreitung von Hybridfahrzeugen (PHEV) in der Schweiz<sup>2</sup> lohnt es sich, neben der Betrachtung der NO<sub>x</sub>-Emissionen, auch aufzuzeigen, in welchem Modus die Fahrzeuge fahren. Denn PHEV weisen im realen Fahrbetrieb oft einen höheren Verbrauch auf, als bei der Typengenehmigung deklariert (*Plötz et al., 2020*). Der Hauptgrund für die Abweichung ist, dass die Fahrzeuge im Strassenverkehr häufiger mit Verbrennungsmotor und weniger elektrisch fahren als bei der Typengenehmigung angenommen (*Jöhrens et al., 2020*). Mit der RSD-Technologie kann bestimmt werden, welcher Fahrmodus bei Hybridfahrzeugen aktiviert ist, wenn diese durch die Messstation fahren. Das genaue Vorgehen wird im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

## 5. Methodik

Die Emissionsmessungen im Strassenverkehr erfolgten auf eine berührungslose Weise durch den Einsatz von Absorptionsspektroskopie, unter Verwendung von Ultraviolett (UV)- und Infrarot (IR)-Strahlen. Die Messgeräte, die für diese Kampagne verwendet wurden, wurden von der Firma OPUS RSE in Spanien entwickelt und dem LHA zur Verfügung gestellt. Die Funktionsweise des Messgeräts und die Datenanalyse werden in den folgenden Kapiteln zusammengefasst.

### 5.1. Remote Sensing Device (RSD)

Emissionen im Strassenverkehr können mittels "Remote Sensing" gemessen werden. Das Messgerät «RSD5700» von OPUS erfasst Fahrzeugemissionen, indem es ein unsichtbares Lichtbündel über die Fahrbahn projiziert während Fahrzeuge durchfahren (Abbildung 1). Der Prozess der Fernmessung von Emissionen beginnt, wenn das Lichtquellen- und Spektrometer-Modul einen IR- und UV-Lichtstrahl über die Fahrbahn sendet. Das Modul misst die spektroskopische Absorption von Kohlenwasserstoffen (HC, engl. für hydrocarbons), Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Stickstoffmonoxid und -dioxid (NO und NO<sub>2</sub> getrennt, kombiniert als NO<sub>x</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Feinstaub (PM<sub>1</sub>). Es berechnet die Verhältnisse der verschiedenen Schadstoffe zu CO<sub>2</sub> und kann durch Anwendung stöchiometrischer Regeln und anderer Umrechnungsfaktoren Emissionswerte g/kg verbrannter Kraftstoff berechnen. Während dieses Prozesses misst das Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmodul die Geschwindigkeit und Beschleunigung jedes Fahrzeugs, während die Kamera ein Bild des Kennzeichens des Fahrzeugs aufnimmt. Emissionskonzentrationswerte und andere relevante Daten werden in einem Computer gespeichert und per eingebauter SIM Karte direkt an OPUS gesendet. Der gesamte Prozess dauert weniger als eine Sekunde, wodurch auch bei hohem Verkehrsaufkommen viele Fahrzeuge in kurzer Zeit aufgenommen werden können.

Die Tatsache, dass nicht absolute Emissionswerte, sondern Verhältnisse gemessen werden, kann zu negativen Konzentrationen führen. Wenn sich die Abgasfahne des vorherigen Fahrzeugs nicht vollständig verflücht-

---

<sup>2</sup> Hybridfahrzeuge waren 2022 nach Benzinfahrzeugen mit 33 % die am häufigsten neu in den Verkehr gesetzten Personwagen in der Schweiz (*BFS, 2023*)

tigt, bevor die Front des nächsten Fahrzeugs eintrifft, kann es zu negativen Messwerten kommen. Die Bewegung des nächsten Fahrzeugs kann dann die Zerstreung der Abgasfahne des vorherigen Fahrzeugs vervollständigen. In diesem Fall sind die Umgebungsbedingungen an der Vorderseite des Fahrzeugs schadstoffbelasteter als die tatsächlichen Umgebungsbedingungen an der Rückseite des Fahrzeugs, was zu einer negativen Differenz führen kann.

Ausserdem können Fahrzeuge, die nur wenig der gemessenen Gase ausstossen (Ausstoss nahe an null), auf Grund der Toleranz des Messgeräts negative Messwerte verursachen (siehe Kapitel 5.4). Obschon negative Emissionen physikalisch unmöglich sind, werden diese Messwerte in der Analyse verwendet, da die Daten ansonsten bei der grossen Anzahl einzelner Messungen eine Verzerrung zum Positiven enthalten (ASTRA, 2022). Die Aufnahme des Kennzeichens der Fahrzeuge dient zur Identifikation technischer Fahrzeugmerkmale, nachfolgend als Metadaten bezeichnet (Kraftstoffart, Datum der Erstinverkehrsetzung (Fahrzeugjahr), Emissionsstandard und Automarke).

Das System zeichnet ausserdem die Umgebungsbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und barometrischer Druck) zum Zeitpunkt der Emissionsmessung auf.

Um statistisch aussagekräftige Resultate zu erhalten, werden viele Fahrzeuge gemessen und zu Gruppen zusammengefasst. So kann man also die Emissionen vieler verschiedener Fahrzeuge an ausgewählten Orten charakterisieren.

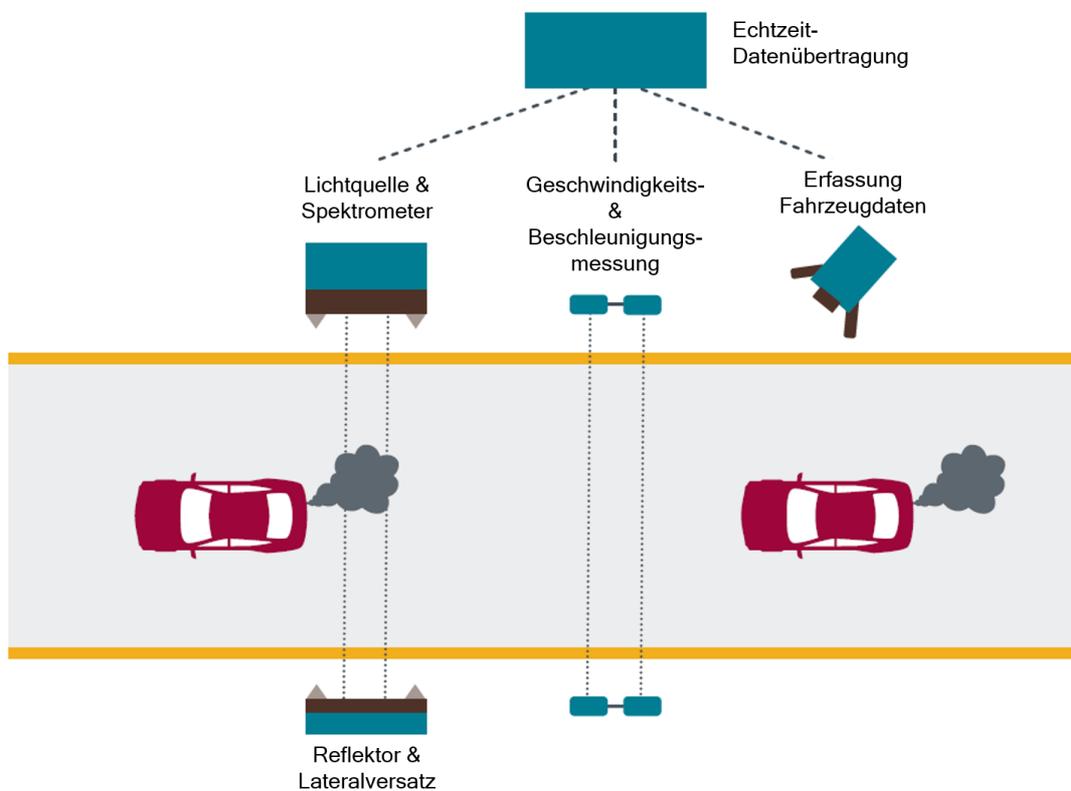


Abbildung 1: Messaufbau des RSD-Systems (Borken-Kleefeld und Dallmann, 2018a)

Im vorliegenden Bericht werden nur die Ergebnisse zu NO<sub>x</sub>-Emissionen präsentiert. NO<sub>x</sub>-Emissionen bestehen aus direkt ausgestossenem NO und NO<sub>2</sub>.

Die Ergebnisse der RSD-Messungen werden in diesem Bericht an einigen Stellen den Emissionsgrenzwerten der Typenprüfung gegenübergestellt. Da der Grenzwert unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Treibstoffverbrauchs in eine für die RSD-Messungen vergleichbare Grösse (in g/kg Treibstoff) umgerechnet wird (Anhang 2), erfolgt der Vergleich indirekt (Tabelle 1).

Ein weiteres potenzielles Einsatzgebiet von RSD-Messungen ist die Identifikation von einzelnen Fahrzeugen mit stark erhöhten Emissionen, sogenannten «High Emitters». Wenige «High Emitters» haben einen grossen Einfluss auf die Gesamtemissionen einer Fahrzeugflotte eines Gebiets (*Borken-Kleefeld und Dallmann, 2018a*). Die Identifizierung von «High Emitters» steht jedoch bei dieser Messkampagne nicht im Vordergrund. Ausserdem empfiehlt das Bundesamt für Strassen (ASTRA) bei der Erkennung von «High Emitters» zwei RSD-Messgeräte hintereinander zu verwenden, um Fehlmessungen zu vermeiden (*ASTRA, 2022*).

## 5.2. Standorte

Das Messsystem von OPUS RSE verlangt gewisse Anforderungen an den Standort der berührungslosen Messung. OPUS legt bestimmte Anforderungen fest, wobei die Wichtigste davon ist, dass der Standort eine Steigung aufweisen muss. Diese führt dazu, dass die vorbeifahrenden Fahrzeuge beschleunigen müssen. Erst durch diese Beschleunigung werden ausreichend Abgase aus dem Verbrennungsprozess des Motors freigesetzt, um eine aussagekräftige Messung zu ermöglichen. Das ASTRA hat in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) RSD-Geräte getestet und Kriterien an den Standort entwickelt (Tabelle 2) (*ASTRA, 2022*). Während der Messkampagne von 2018 wurde festgestellt, dass insbesondere der Standort Zürcherstrasse optimal geeignet ist (*LHA, 2018*). In der aktuellen Messkampagne wurden erneut die beiden Standorte Feldbergstrasse und Zürcherstrasse verwendet. Darüber hinaus wurde anstelle des Standorts bei der Wettsteinbrücke ein Messort in Bottmingen (Kanton Basel-Landschaft) auf der Bruderholzstrasse identifiziert, der den festgelegten Kriterien in hohem Masse entspricht (siehe Tabelle 3 und Abbildung 2: Übersicht Messstandorte 2023). Der Standort bei der Wettsteinbrücke erwies sich 2018 aufgrund vieler passierender Velos, welche die Messung beeinträchtigen, als ungeeignet. Er wurde deshalb für die Kampagne 2023 nicht mehr berücksichtigt.

**Tabelle 2: Anforderungen an Messstandorte (*ASTRA 2022*)**

Anforderungen der Messgeräte von OPUS für optimale RES-Messungen	
Kriterium	Optimaler Bereich / Erläuterung
Anzahl Fahrspuren	Aufgrund des Messsystems sind Messungen nur über eine Fahrspur möglich.
Sicherheit	Es braucht auf beiden Fahrbahnseiten genügend Platz für die Messeinheit, Reflektor und Beschleunigungsmesser, damit der Verkehr nicht gestört wird und entsprechende Sicherheitsmarkierungen.

Energie	Für die zur Verfügung stehenden Messgeräte ist ein externer Stromanschluss zwingend.
Steigung	Eine leichte Steigung > 0° ist empfehlenswert, damit die Fahrzeuge möglichst unter Last fahren.
Geschwindigkeit	Geschwindigkeiten zwischen 40–70 km/h sind optimal. Höhere oder tiefere Geschwindigkeiten sind möglich.
Platz	Idealerweise besteht die Möglichkeit ein Messtechnikfahrzeug mit Kalibriergas und Laptop in unmittelbarer Nähe zu den Messgeräten hinzustellen.



Abbildung 2: Übersicht Messstandorte 2023 (Quelle: MapBS)

Tabelle 3: Charakterisierung der Messstandorte

Messstation	Gemeinde	Kanton	PLZ	Nord	Ost	Steigung [°]
Zürcherstrasse	Basel	Basel-Stadt	4057	1'267'043.129	2'612'850.137	2.334
Feldbergstrasse	Basel	Basel-Stadt	4052	1'268'319.580	2'611'203.806	3.556
Bruderholzstrasse	Bottmingen	Basel-Landschaft	4103	1'263'551.115	2'610'193.782	4.125

### 5.2.1. Feldbergstrasse

Die Feldbergstrasse in Basel liegt an einem verkehrsintensiven Standort (siehe Anhang 1). Auf Grund des vielen Verkehrs und der schlechten Durchlüftung werden seit Jahren in der Nähe dieses Messstandorts hohe Stickoxidwerte gemessen (LHA, 2022). Dieser Standort eignet sich nur bedingt für eine Messkampagne, denn die Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge ist deutlich unter 40 km/h, was zu vielen ungültigen Messwerten führt. Die zentrale Lage gibt jedoch einen sehr guten Überblick über die Flottenzusammensetzung im städtischen Strassenverkehr und weil es sich bei der Feldbergstrasse um eine Strasse mit permanenter Immissionsmessung handelt, ist die Nutzung der Strasse für die Messkampagne sinnvoll.



Abbildung 3: Messstation Feldbergstrasse (Quelle: LHA)

### 5.2.2. Zürcherstrasse

Ähnlich wie die Feldbergstrasse ist die Zürcherstrasse städtisch geprägt, mit leicht geringer ausgeprägtem Verkehr (siehe Anhang 1). Auch hier ist die Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge tief, aber dank guten Erfahrungen aus der letzten Kampagne wurde der Standort beibehalten. Auf Grund einer defekten Steckdose konnte 2023 jedoch nur eine Woche lang gemessen werden, wodurch nur wenige Daten erhoben wurden.



Abbildung 4: Messstation Zürcherstrasse (Quelle: LHA)

### 5.2.3. Bottmingen

Als neuer Standort für den 2018 als ungeeignet befundenen Standort am Wettsteinplatz kommt 2023 die Bruderholzstrasse in Bottmingen (Kanton Basel-Landschaft) hinzu. Die Strasse hat das grösste Verkehrsaufkommen aller drei Standorte (siehe Anhang 1) und eignet sich messtechnisch sehr gut (über 80 % valide Messungen). Auf Grund der weniger zentralen Lage fahren weniger Velos und die Durchschnittsgeschwindigkeit ist höher (gegen 40 km/h).

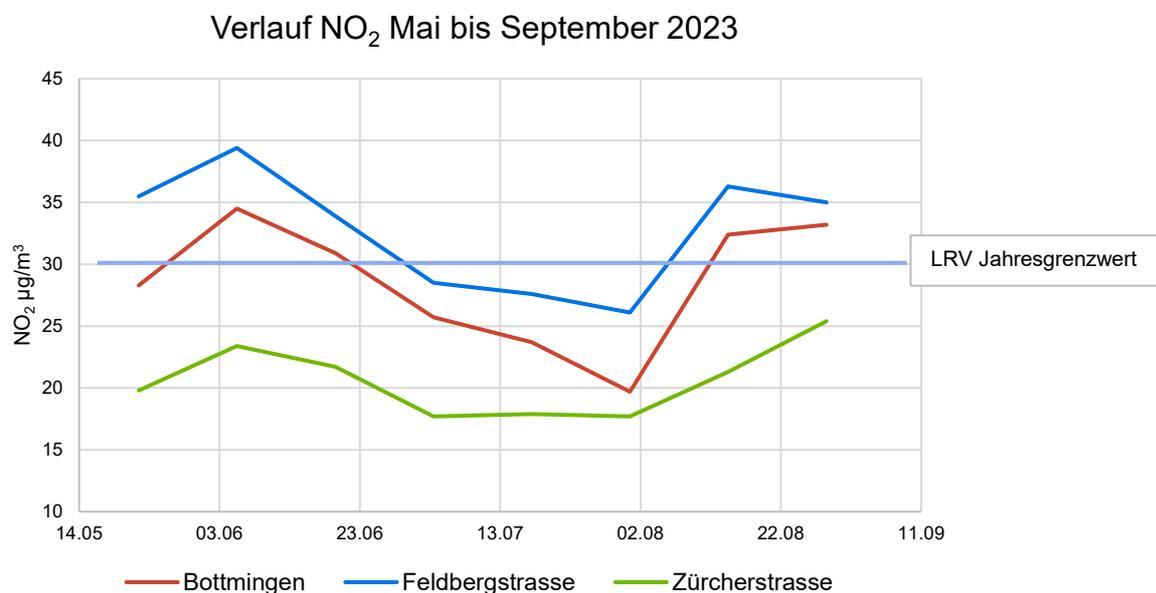


Abbildung 5: Messstation Bottmingen (Quelle: LHA)

### 5.3. NO<sub>2</sub>-Immissionsmessungen

Während des Zeitraums der Messperiode (vom 22. Mai bis zum 11. September 2023) wurden die NO<sub>2</sub>-Immissionen an den drei Messstandorten mittels Passivsammlern erfasst, um die Luftqualität zu charakterisieren (Abbildung 6). Die Ergebnisse zeigen, dass es sich bei allen Standorten um verkehrsreiche Gebiete handelt. Insbesondere vor und nach den Sommerferien sind die NO<sub>2</sub>-Werte hoch. Besonders deutlich zu sehen ist die Abnahme der Konzentrationen im Verlauf des Julis und der steile Wiederanstieg Anfang August. Dies widerspiegelt die Abnahme des Verkehrs im Juli auf Grund der Schulferien und dem Ende der Schulferien im August.

An der Feldbergstrasse wurden regelmässig Werte gemessen, die über dem durchschnittlichen, jährlichen Grenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup> lagen. Auch in Bottmingen lagen die Werte im Juni und August zeitweise über dem Grenzwert.



**Abbildung 6: Immissionsmessungen an Messstandorten**

Im Allgemeinen sind die NO<sub>2</sub>-Werte an der Zürcherstrasse niedriger. Dies ist zum einen auf geringeren Verkehr an diesem Standort zurückzuführen, zum anderen kann aufgrund der relativ offenen Lage eine bessere Luftzirkulation stattfinden.

### 5.4. Auswertung (Daten)

Während des Betriebs sendet das «RSD5700»-System per SIM Karte die Messdaten an die «OPUS RS Digital Platform» in der Microsoft Azure Cloud. Die Daten werden in Echtzeit gesendet, Datensatz für Datensatz. Während ein Fahrzeug durch die Messstation fährt, löst dies eine Kameraaufnahme des Kennzeichens aus (Abbildung 1). Die Software im «RSD5700» erkennt anhand der Aufnahme die Buchstaben und Ziffern der Kennzeichen und speichert diese in der «OPUS Digital Platform» ab. Nach Abschluss eines Messungstags wurden die Kennzeichen anhand der Kameraaufnahmen manuell überprüft. Ebenfalls manuell wurde zusätzlich die Landesherkunft des Fahrzeugs erfasst. Die Überprüfung des Kennzeichens und die Erfassung der Landesherkunft erfolgt über eine Benutzeroberfläche der «OPUS Digital Platform», den sogenannten «Tag Editor».

Zur Erhebung der notwendigen Metadaten für schweizerische Kennzeichen erfolgte ein Abgleich der erfassten Kennzeichen mit der Datenbank des ASTRA. Auf diese Weise konnten die für die Auswertung erforderlichen Metadaten (Kraftstoffart, Datum der Erstinverkehrsetzung (Fahrzeugjahr), Emissionsstandard und Automarke) erlangt werden. Um an die Metadaten für deutsche Kennzeichen zu gelangen, wurde nach Abschluss des letzten Messtages ein Datensatz mit allen deutschen Kennzeichen an das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) übermittelt, woraufhin das KBA die Metadaten für die erfassten Kennzeichen ergänzte. Für französische Kennzeichen wurde von der Behörde Agence nationale des titres sécurisés (ANTS) ein Datensatz für drei Departemente (Bas-Rhin, Haut-Rhin, Territoire de Belfort) bereitgestellt (Abbildung 7).

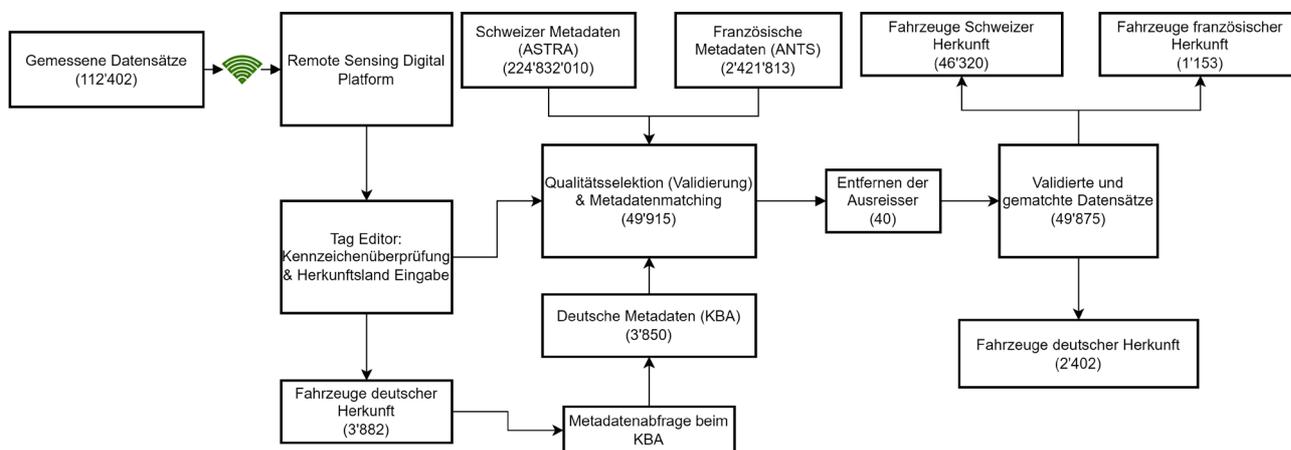


Abbildung 7: Datenfluss RSD-Projekt 2023

Daten, die tatsächlich für die Abgasauswertung verwendet wurden, mussten folgenden Qualitätskriterien bestehen:

- Abgasnorm ab Euro 1
- Fahrzeuge aus der Schweiz, aus Deutschland und den französischen Departementen Bas-Rhin, Haut-Rhin, Territoire de Belfort
- Ausschliesslich Personen- und Lieferwagen
- Benzin- und Dieselfahrzeuge
- Hybridfahrzeuge; wenn der Motor im Verbrennungsmodus fährt (Details siehe Kapitel 5.5)
- Qualitätsflags aller Schadstoffe einer Messung müssen gültig sein<sup>3</sup>
- Geschwindigkeit: 5 bis 60 km/h
- Beschleunigung: -2 bis 4 km/h/s
- Vehicle Specific Power (Motorlast)<sup>4</sup>: 1 bis 35 kW/t

In einem weiteren Schritt wurden Messungen aus Daten entfernt, bei denen der NO<sub>x</sub> in g/kg Treibstoff extrem hoch (über 600 g/kg) oder extrem tief (unter -600 g/kg) gemessen wurde. Diese Messungen deuten auf Grund der extremen Werte auf Messfehler hin und würden die Auswertungen stark beeinflussen. Insgesamt handelt es sich dabei um nur 40 Messungen, die entfernt wurden.

## 5.5. Analyse von Hybrid- und Elektrofahrzeugen

Hybridfahrzeuge oder PHEV werden in diesem Bericht als Fahrzeuge definiert, die sowohl einen Diesel-, respektive Benzinmotor, als auch einen Elektromotor eingebaut haben. Dabei wird nicht zwischen Elektro-Hybriden mit oder ohne Plug-In unterschieden<sup>5</sup>. Eines der Kriterien für die Abgasauswertung verlangt, dass alle gemessenen Gase gültige Werte aufweisen müssen. Eine Voraussetzung dafür ist, dass eine genügend grosse Abgaswolke beim vorbeifahrenden Fahrzeug entsteht.

Damit Hybridfahrzeuge auf deren Emissionen getestet werden können, darf der Motor nicht im elektrischen Modus laufen, da ansonsten das Messgerät keine Abgaswolke messen kann und die Messung als ungültig deklariert wird.

---

<sup>3</sup> Das RSD- Messgerät misst Werte von CO, CO<sub>2</sub>, Kohlenwasserstoffen, NO, NO<sub>2</sub> und NH<sub>3</sub>. Wenn die Messungen all dieser Stoffe korrekt abgelaufen sind, wird das Fahrzeug für die Auswertung verwendet.

<sup>4</sup> Die Motorlast oder «Vehicle Specific Power» (VSP) ist ein Mass, das die Kraftnachfrage des Motors während des Fahrens beschreibt. Ein hoher VSP-Wert bedeutet, dass der Motor einer hohen Belastung ausgesetzt ist. Fahrbedingungen, also der VSP, können Emissionen stark beeinflussen; höhere VSP-Werte gehen in der Regel mit höheren Emissionswerten einher. Der VSP ist eine Funktion verschiedener Faktoren und wird vom Messgerät näherungsweise mit den Faktoren Geschwindigkeit und Beschleunigung des Fahrzeugs und der Steigung der Strasse berechnet ([Jiménez et al., 1999](#)).

<sup>5</sup> Die Einteilung in Hybridfahrzeuge basiert auf den Treibstoffarten des ASTRA diesel-elektrisch und benzin-elektrisch. Eine Unterscheidung zwischen Plug-In und normal hybrid wird in der Kategorie «Treibstoff» nicht gemacht. Für deutsche und französische Fahrzeuge wurde entsprechend die gleiche Einteilung vorgenommen.

Neben den Emissionen von Hybridfahrzeugen wird der Anteil elektrisch betriebener Fahrzeuge an der Gesamtflotte bestimmt und der Anteil von Hybridfahrzeugen, die im elektrischen Modus fahren und solcher, die im Verbrennungsmodus fahren.

Diese Analyse verlangt eine gesonderte Datenverarbeitung, da Fahrzeuge betrachtet werden müssen, die nicht den Qualitätskriterien für eine Abgasauswertung entsprechen. Dafür wurden die Metadaten direkt mit allen gemessenen Datensätzen verknüpft, was eine grössere Gesamtflotte ergibt (siehe Abbildung 8). Diese Gesamtflotte wird ausschliesslich bei der Analyse der PHEV und EV verwendet, alle anderen Auswertungen werden nach den Daten der vollständigen Qualitätsselektion erstellt.

Daten, aus denen sich die Gesamtflotte inklusive Elektro- und Hybridfahrzeuge ergeben, müssen folgende Kriterien einhalten:

- Fahrzeuge aus der Schweiz, aus Deutschland und den französischen Departementen Bas-Rhin, Haut-Rhin, Territoire de Belfort
- Ausschliesslich Personen- und Lieferwagen
- Eintrag folgender Treibstoffarten in den Metadaten
  - Diesel
  - Benzin
  - PHEV
  - EV

Bei den Hybridfahrzeugen (nur PHEV) wird die Unterscheidung zwischen Verbrennungs- und Elektromodus folgendermassen unterschieden. Ein Fahrzeug befindet sich dann im Verbrennungsmodus, wenn das Messgerät CO<sub>2</sub> misst (Messung > 0%-cm). Ist dies nicht der Fall, gibt es keine Abgaswolke. Das Fahrzeug emittiert somit keine Abgase und fährt im Elektromodus. Damit die Anzahl Fahrzeuge im Elektromodus nicht überschätzt wird, sollten Messstandorte so gewählt werden, dass möglichst viele Fahrzeuge beschleunigen. Beschleunigung entsteht durch die Betätigung des Gaspedals, wodurch viele Messungen gültig werden.

Eine Erläuterung der Überprüfung dieser Methode befindet sich im Anhang 3.

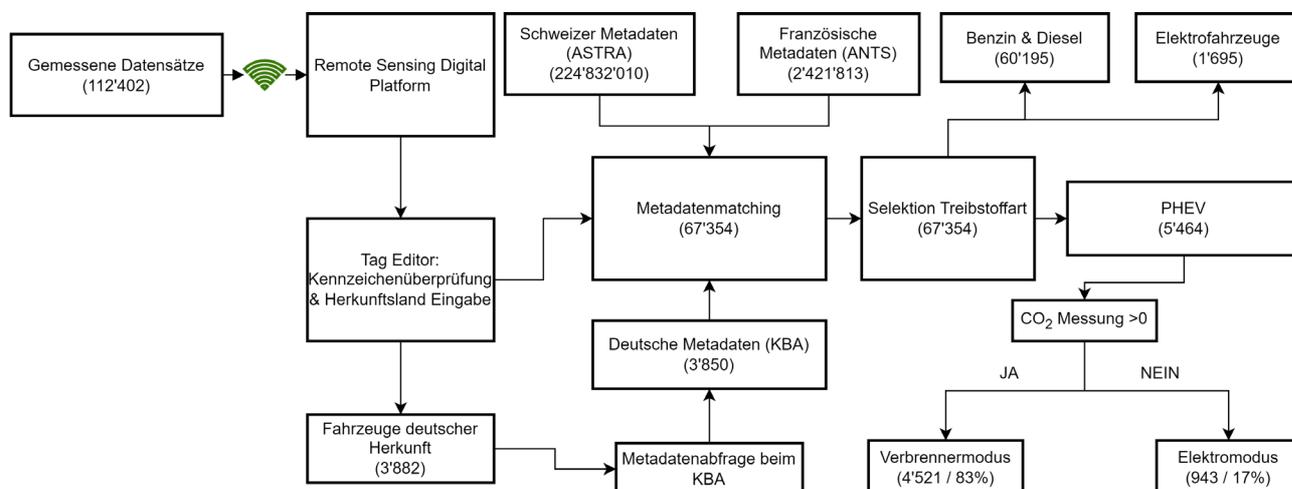


Abbildung 8: Datenfluss Auswertung EV & PHEV

## 6. Resultate

Über die drei Monate Juni bis August 2023 konnten an insgesamt 42 Tagen 112'402 Messungen gemacht werden (Tabelle 4). Davon sind 49'875 Datensätze mit Metadaten versehen (Kennzeichen-Erkennung) und entsprechen den Qualitätskriterien (gemäss Kapitel 5.4).

### valide Messung mit Metadaten

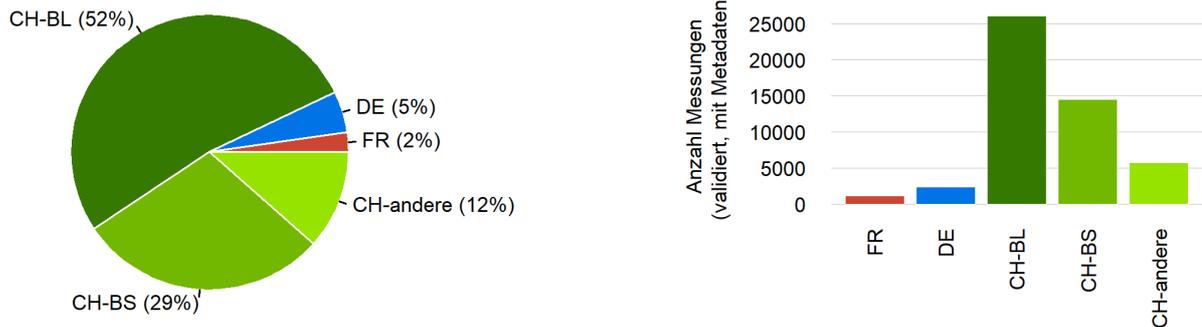


Abbildung 9: Herkunft der Fahrzeuge, valide Messungen mit Metadaten

Die grosse Mehrheit dieser gut 50'000 Fahrzeuge stammt aus der Schweiz und 25'000 davon aus dem Kanton Basel-Landschaft (Abbildung 9). Dieser Umstand ist auf die Auswahl der Messstandorte zurückzuführen.

Tabelle 4: Übersicht über die erhobenen Daten

Kategorien		Anzahl	%
gemessene Datensätze (vor QS)		112'402	100
Datensätze mit Metadaten (vor QS)		67'354	60
Treibstoffart	Benzin	33'130	49.19
	Diesel	27'065	40.18
	PHEV	5'464	8.11
	EV	1'695	2.52
Datensätze für Auswertung (nach QS)		49'875	44
Standorte	Zürcherstrasse	3'345	6.71
	Feldbergstrasse	17'645	35.38
	Bottmingen	28'885	57.91
Herkunftsland	Schweiz	46'320	92.87
	Deutschland	2'402	4.82
	Frankreich	1'153	2.31
Abgasnormen	Euro 1	292	0.59
	Euro 2	633	1.27
	Euro 3	1'409	2.83
	Euro 4	7'102	14.24
	Euro 5	340	0.68
	Euro 6	545	1.09
	Euro 5a	4'252	8.53
	Euro 5b	8'515	17.07
	Euro 6a	14	0.03
	Euro 6b	12'523	25.11
	Euro 6c	1'062	2.13
	Euro 6d	13'188	26.44
Treibstoffart	Benzin	26'298	52.73
	Diesel	19'983	40.07
	PHEV	3'594	7.21
Fahrzeugart	Personenwagen	41'994	84.20
	Lieferwagen	7'881	15.80
Personenwagen	Benzin	25'258	60.15
	Diesel	13'168	31.36
	PHEV	3'568	8.50
Lieferwagen	Benzin	1'040	13.20
	Diesel	6'815	86.47
	PHEV	26	0.33

In Bottmingen konnten mit Abstand am meisten Fahrzeuge ausgewertet werden. An diesem Standort ist der Anteil deutscher und französischer Fahrzeuge erwartungsgemäss geringer als in der Stadt. Fahrzeuge aus Deutschland konnten rund 2'400 gemessen und ausgewertet werden, ungefähr 1'100 aus Frankreich.

Über die Hälfte der Fahrzeuge nach Qualitätsselektion werden mit Benzin angetrieben, rund 40 % mit Diesel (Abbildung 10). Plug-In-Hybrid und Hybridfahrzeuge (PHEV) machen nur einen kleinen Teil aus, reine Elektrofahrzeuge und Fahrzeuge mit weiteren alternativen Antrieben entsprechen keine der Qualitätskriterien. Dasselbe gilt für PHEV, die im elektrischen Modus fahren. Dies liegt daran, dass elektrisch betriebene Fahrzeuge keine Abgase ausstossen und somit bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden können.

Für die weiteren Abgasauswertungen werden ausschliesslich die rund 50'000 Daten verwendet, die den Qualitätskriterien entsprechen und ein Kennzeichen-Abgleich stattgefunden hat. PHEV und EV werden separat ausgewertet.

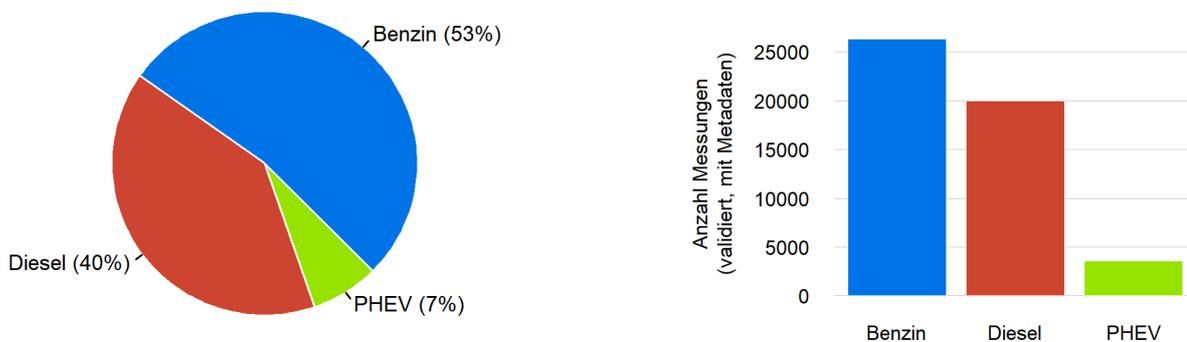


Abbildung 10: Verkehrsmix Antrieb

### 6.1. Übersicht Verkehrsmix inklusive PHEV und EV

Wenn alle Messungen berücksichtigt werden, bei denen ein Kennzeichenabgleich in den Metadaten gefunden wurde, werden auch ungültige Messungen einbezogen. Dies ermöglicht die Darstellung des Anteils elektrisch betriebener Fahrzeuge sowie der Hybride im elektrischen Modus. Von insgesamt rund 67'000 Fahrzeugen sind 49 % benzinbetrieben, 40 % fahren mit Diesel, 8 % sind Hybridfahrzeuge und vollelektrische Fahrzeuge machen lediglich 3 % des Verkehrsmixes aus (Abbildung 11). Fahrzeuge mit anderen alternativen Antrieben konnten nur vereinzelt gemessen werden und werden deshalb nicht berücksichtigt.

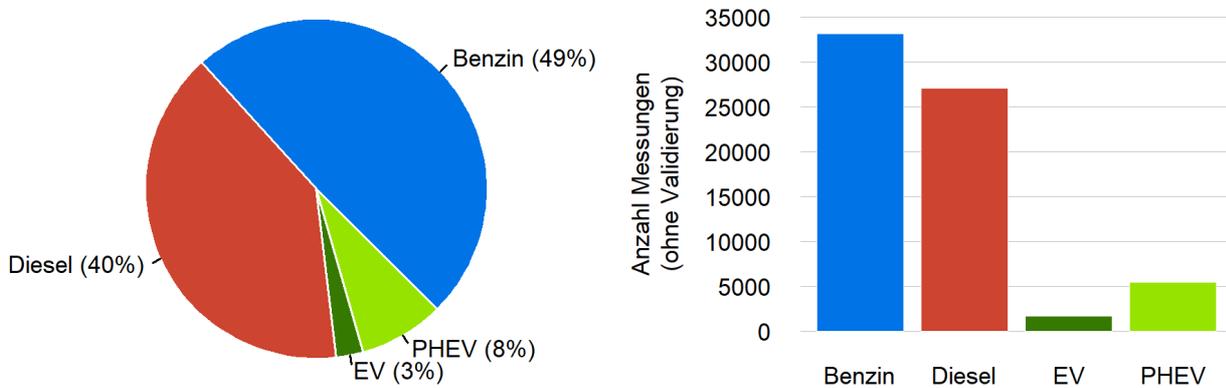


Abbildung 11: Verkehrsmix Antrieb mit Elektrofahrzeugen

## 6.2. Flottenzusammensetzung

Im Jahr 2023 sind an den drei Standorten die häufigsten Fahrzeuge mit der Motortechnologie der aktuellen Abgasnormen Euro 6a–c oder Euro 6d unterwegs (Abbildung 12). Ähnlich viele Fahrzeuge sind Euro 5 zertifiziert, während Euro 4 Fahrzeuge deutlich weniger gezählt wurden. Fahrzeuge mit älteren Abgasnormen sind mittlerweile nur noch wenige im Verkehr. Insbesondere Lieferwagen haben viele mindestens Euro 5 (Abbildung 14). Bei Personenwagen verteilt es sich regelmässiger auf ältere Abgasnormen (Abbildung 14). Fahrzeuge mit alternativem Antrieb sind häufig neu und die Mehrheit fährt mit Euro 6d. Lieferwagen sind über 80 % dieselbetrieben und der Anteil alternativer Antriebe ist viel geringer als bei den Personenwagen.

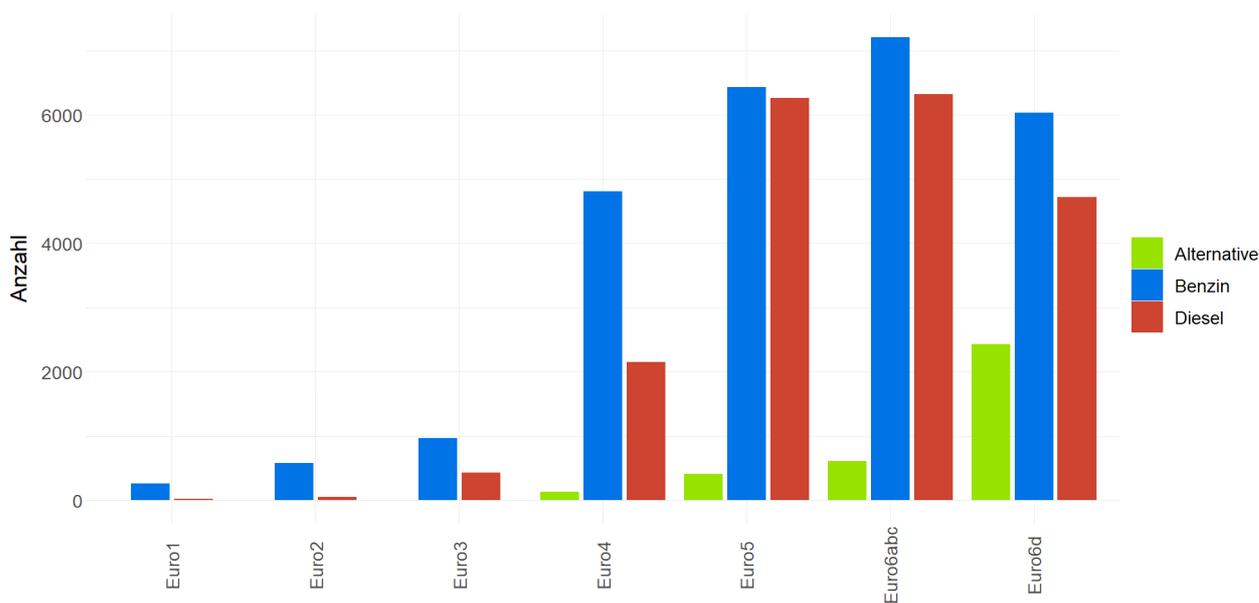


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm

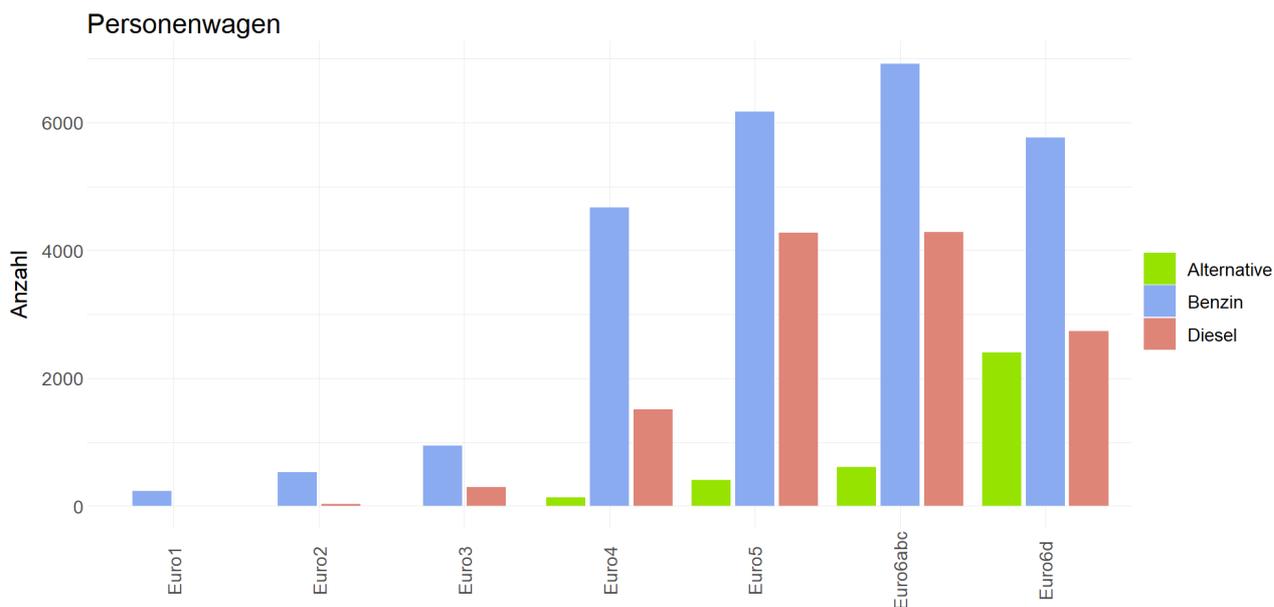


Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Personenwagen

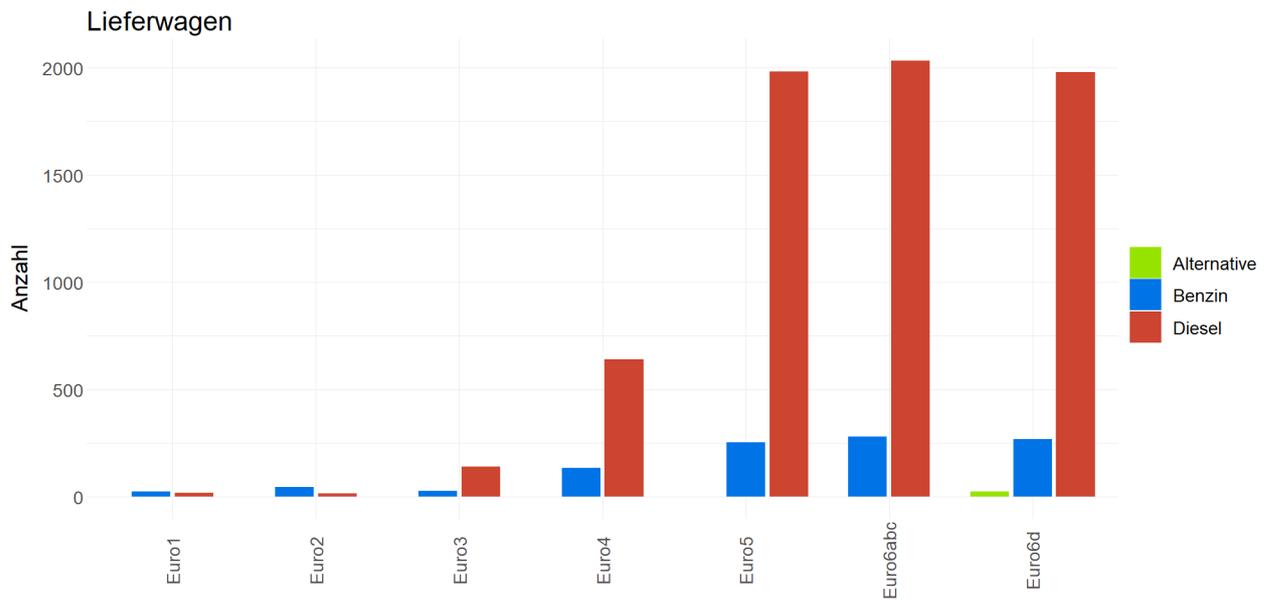


Abbildung 14: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Lieferwagen

### 6.2.1. Flottenzusammensetzung deutscher Fahrzeuge

Die Flottenzusammensetzung deutscher Personenwagen unterscheidet sich nicht wesentlich von der Gesamtflotte (Abbildung 15). Euro 6d Fahrzeuge sind stark präsent, während nur noch wenige ältere Fahrzeuge mit Abgasnorm 1–3 unterwegs sind. Verhältnismässig wurden mehr Euro 4 Benzin- und Euro 5 Dieselfahrzeuge erfasst. Lieferwagen aus Deutschland wurden deutlich weniger erfasst als Personenwagen (Abbildung 16). Davon sind die Mehrheit der dieselpetriebenen Lieferwagen Euro 5 klassifiziert, während Euro 6d im Verhältnis mit der Gesamtflotte weniger stark vertreten ist. Ebenfalls sind auffallend viele dieselpetriebene Euro 3 Lieferwagen unterwegs. Benzinbetriebene Lieferwagen aus Deutschland wurden nur vereinzelt gemessen, davon ist die Mehrheit Euro 6d klassifiziert.

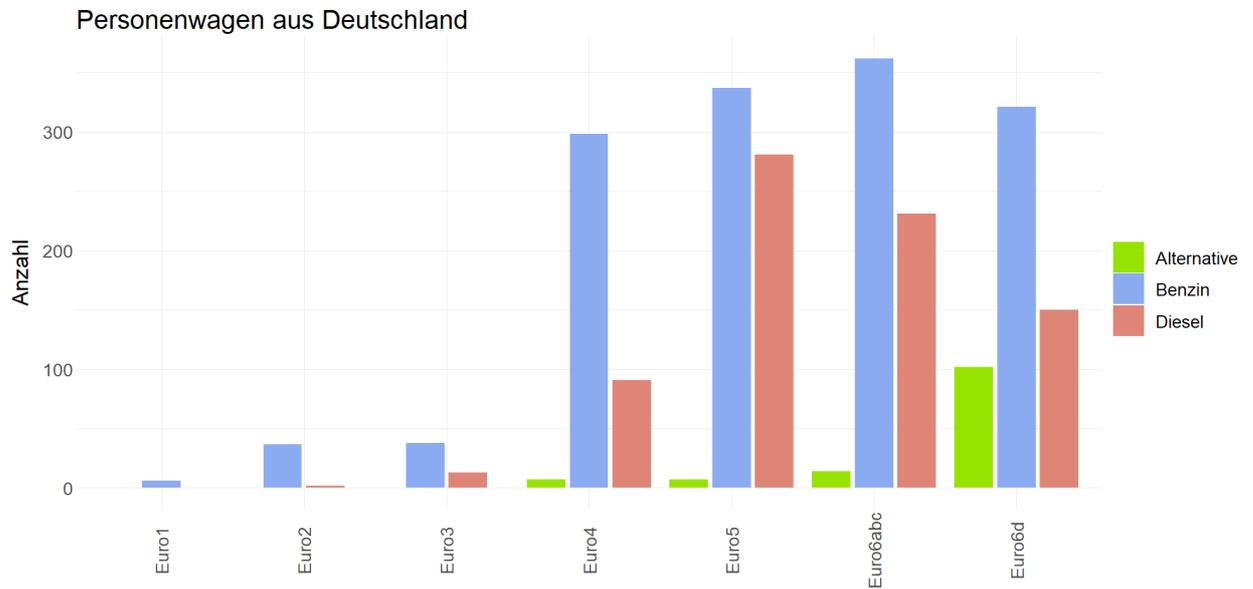


Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Personenwagen aus Deutschland

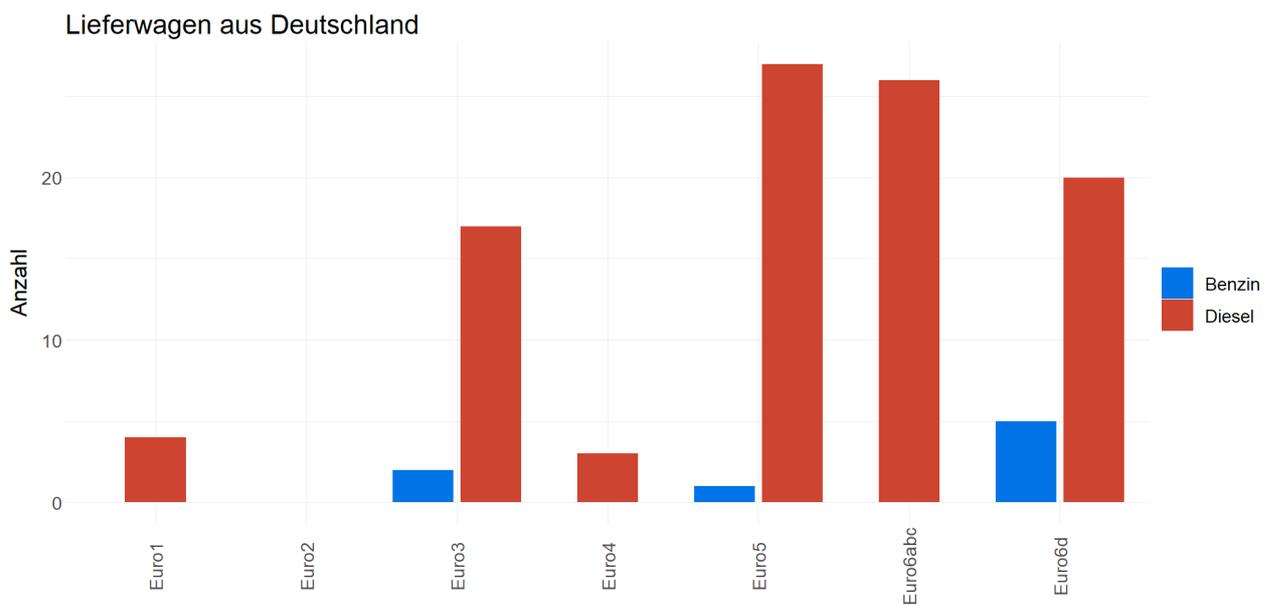


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Lieferwagen aus Deutschland

### 6.2.2. Flottenzusammensetzung französischer Fahrzeuge

Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen die Flottenzusammensetzung französischer Fahrzeuge. Bei Personenwagen aus Frankreich dominieren ebenfalls neuere Abgasnormen. Euro 6d Fahrzeuge wurden keine erfasst, dies liegt jedoch an der fehlenden Klassifikation in den französischen Metadaten. Dabei werden alle Euro 6 Unterklassen als eine einzige erfasst, wodurch hier alle unter Euro 6abc klassifiziert sind. Auffallend ist, dass bei Personenwagen Dieselfahrzeuge der Abgasnorm 3–5 stärker vertreten sind als Benzinfahrzeuge. Lieferwagen aus Frankreich wurden nur vereinzelt gemessen. Die grosse Mehrheit der erfassten Fahrzeuge ist mit Euro 5 oder Euro 6 unterwegs.

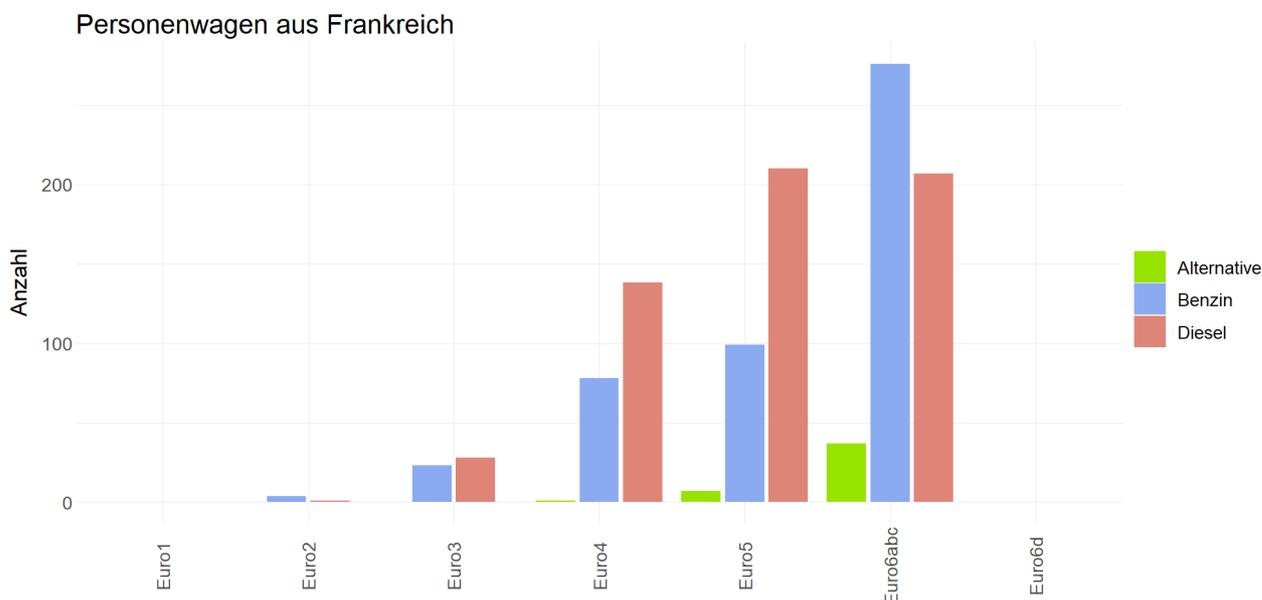


Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Personenwagen aus Frankreich

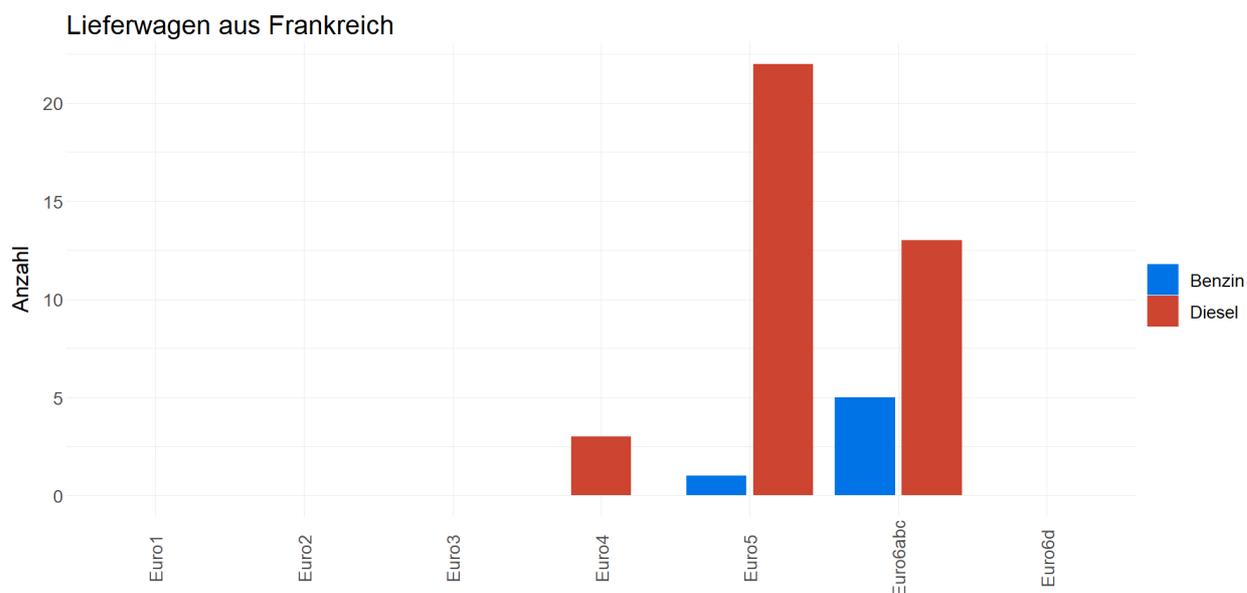


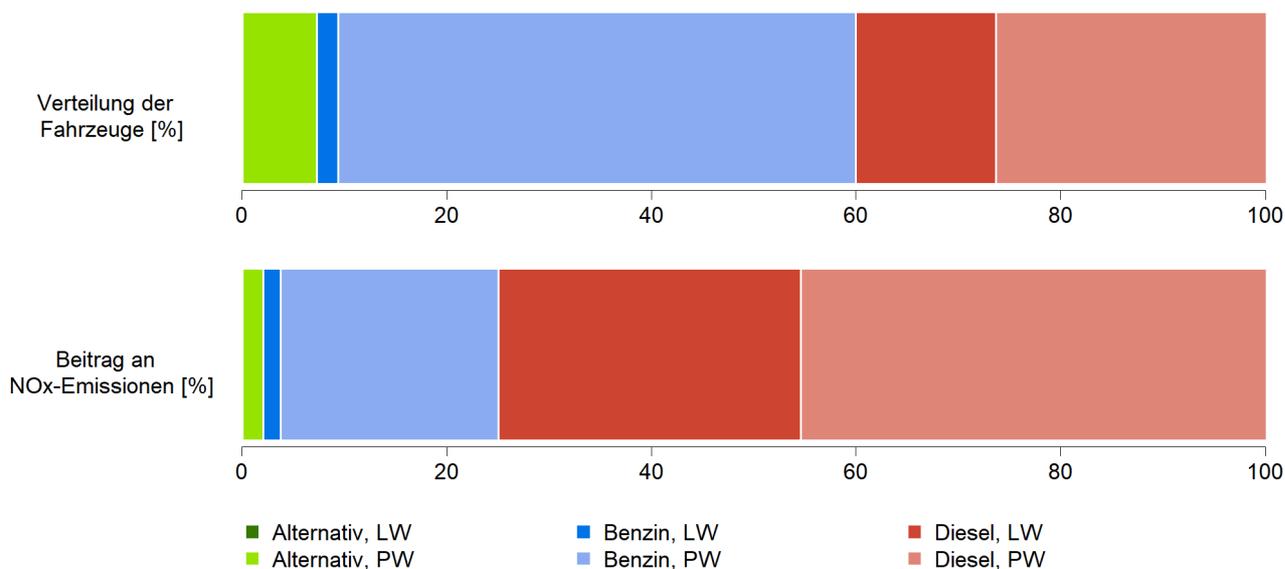
Abbildung 18: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Lieferwagen aus Frankreich

### 6.3. Flotten-Emissionen nach Fahrzeug- und Treibstoffart

Die Abbildung 19 zeigt die relative Verteilung der Fahrzeuge nach Antriebs- und Fahrzeugart (oberer Balken). Der untere Balken zeigt den Anteil an NO<sub>x</sub>-Emissionen. Obwohl nur 40 % Dieselfahrzeuge im Verkehrsmix fahren, sind diese für rund drei Viertel der NO<sub>x</sub>-Emissionen verantwortlich. Davon sind rund 30 % der Emissionen auf dieselbetriebene Lieferwagen zurückzuführen. Lieferwagen machen einen Anteil von weniger als etwa 20 % der Fahrzeuge im Verkehrsmix aus und sind hauptsächlich dieselbetrieben (Abbildung 14).

Die Verbrennung von Diesel in Dieselfahrzeugen produziert deutlich mehr NO<sub>x</sub> als dies bei Benzinfahrzeugen mit Katalysator der Fall ist<sup>6</sup>. Moderne Dieselfahrzeuge müssen deshalb Abgasreinigungs-Systeme verwenden um den NO<sub>x</sub>-Ausstoss zu regulieren. Dies geschieht zum Beispiel indem Reduktionsmittel wie adBlue (Harnstoff) in das Abgasreinigungssystem eingespeist werden ([Zimmermeyer, 2017](#)).

Trotz dieser Abgasreinigung tragen die hohen NO<sub>x</sub>-Emissionen der Dieselfahrzeuge im Strassenverkehr überproportional stark zu den Gesamtemissionen der Fahrzeugflotte bei (Abbildung 19). Dieselfahrzeuge leisten somit einen grossen Beitrag zur verkehrsbezogenen Luftbelastung durch Stickoxide und ihrer negativen Auswirkungen.



**Abbildung 19: Verteilung der Fahrzeuge nach Antriebsart (Flottenzusammensetzung, oberer Balken). Relativer Beitrag zu NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Antriebsart (unterer Balken)**

<sup>6</sup> Dieselmotoren erzeugen prozessbedingt mehr Stickoxide als Benzinmotoren. Der permanent hohe Luftüberschuss in der Flamme und höhere Verbrennungstemperaturen begünstigen die chemischen Reaktion, die zur Oxidation des Stickstoffs in der angesaugten Luft führt ([UBA 2020](#)).

#### 6.4. Emissionen nach Fahrzeugjahr und Abgasnorm

Die Abbildung bis Abbildung 23 zeigen die mittleren realen NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Treibstoff und Fahrzeugjahr. Die Emissionen werden nach Personen- und Lieferwagen, sowie nach Diesel- und Benzinfahrzeugen differenziert betrachtet. Als weitere Grösse ist zudem der Emissionsgrenzwert aus der Typenzulassung mit seiner Verschärfung über die Zeit in den Abbildungen eingetragen (schwarzer Balken).

Die realen NO<sub>x</sub>-Emissionen dieselbetriebener Liefer- und Personenwagen stagnierten zwischen Ende der 90er-Jahre und 2012 trotz der verschärfenden Grenzwertentwicklung auf hohem Niveau. Erst seit 2013 sinken die Emissionen bei Personenwagen, während bei Lieferwagen erst ab 2015 eine Verringerung der Emissionen einsetzt (Abbildung ). Diese Beobachtungen decken sich mit vergangenen Messkampagnen ([AWEL, 2021](#); [LHA, 2018](#)).

Erst die Dieselfahrzeuge der neusten Generation (ab 2020 oder Euro 6d) zeigen im Durchschnitt eine starke Abnahme und halten die Grenzwerte auch im Strassenverkehr annähernd ein. Dieser Trend konnte bereits vom AWEL entdeckt werden ([AWEL, 2021](#)). Allerdings merkten die Autoren an, dass die Stichprobe der Fahrzeuge mit der neusten Generation von Motoren noch klein war.

In der vorliegenden Messperiode werden erstmals annähernd gleich viele Fahrzeuge mit Abgasnorm Euro 6d gemessen wie Euro 5 und Euro 6a–c, was die hier gemessenen Resultate besser stützt.

Umgekehrt verhält es sich in diesem Bericht mit den Resultaten der Fahrzeuge mit Euro 1 bis Euro 3. Fahrzeuge dieser Kategorie wurden weniger gemessen als 2018, was die Resultate durch wenige Ausreisser stark beeinflusst. Gleichwohl werden Fahrzeuge älterer Generation weiterhin in die Analyse einbezogen, gerade auch weil diese sowohl bei vergangenen Messkampagnen ([AWEL, 2021](#); [LHA, 2018](#)), als auch bei dieser Kampagne hohe NO<sub>x</sub>-Emissionen verursachen.

Deutlich über dem Emissionsgrenzwert sind Euro 5 Fahrzeuge, insbesondere Lieferwagen. Da bei diesen Fahrzeugen die Anzahl im Verkehr noch immer sehr hoch ist, tragen diese viel zu den Gesamtemissionen des Strassenverkehrs bei (Abbildung 19).

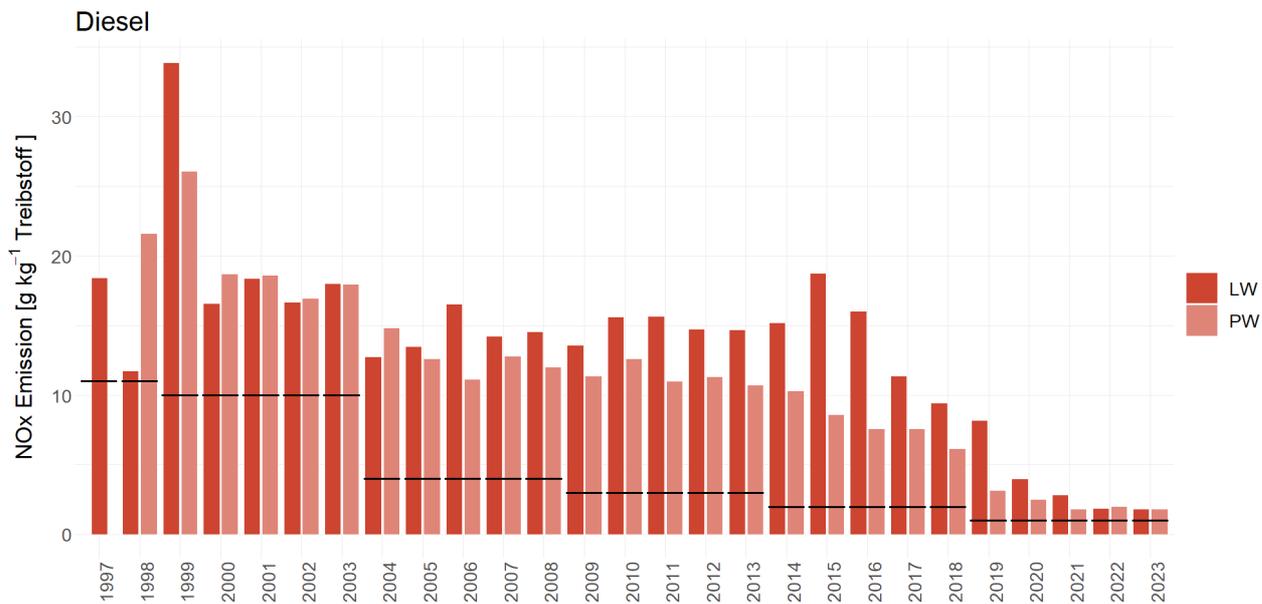


Abbildung 20: Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge nach Fahrzeugjahr über die gesamte Dauer. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO<sub>x</sub>-Emissionen an.

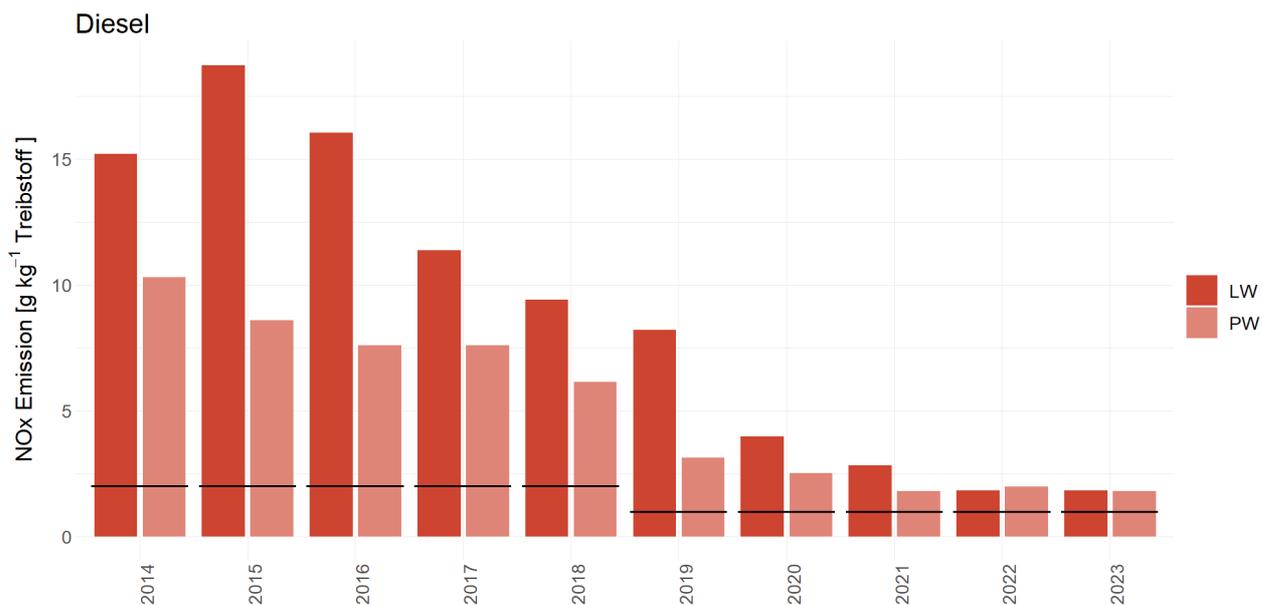


Abbildung 21: Zoom aus obenstehender Abbildung. Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO<sub>x</sub>-Emissionen an.

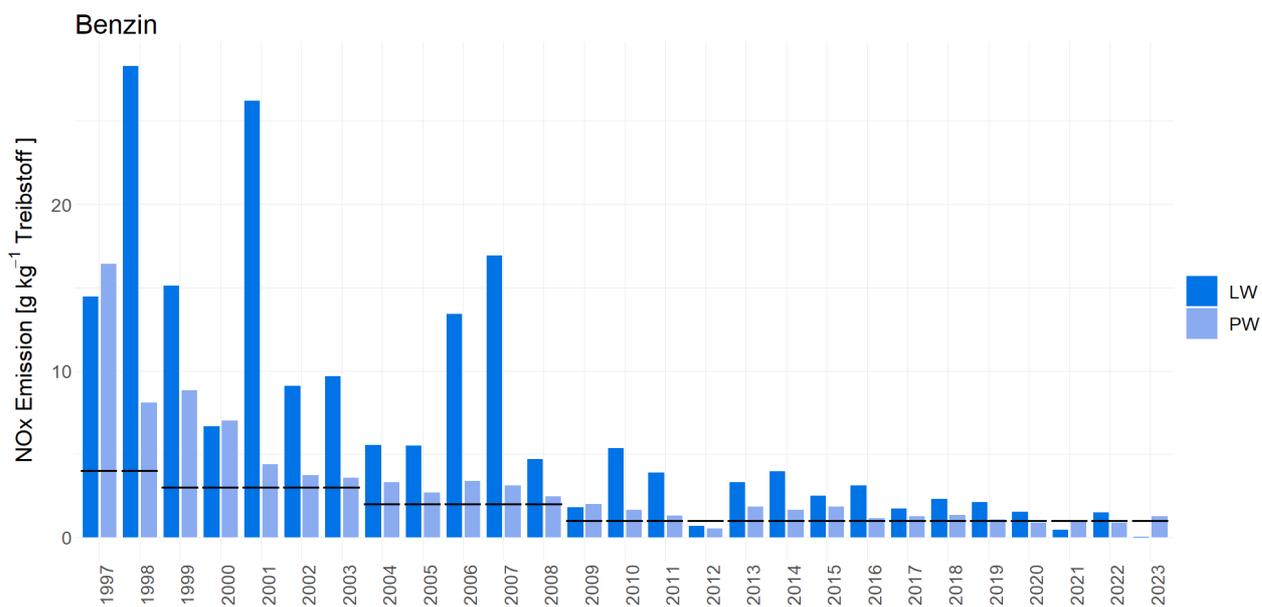


Abbildung 22: Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen benzinbetriebener Fahrzeuge nach Fahrzeugjahr über die gesamte Dauer. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO<sub>x</sub>-Emissionen an.

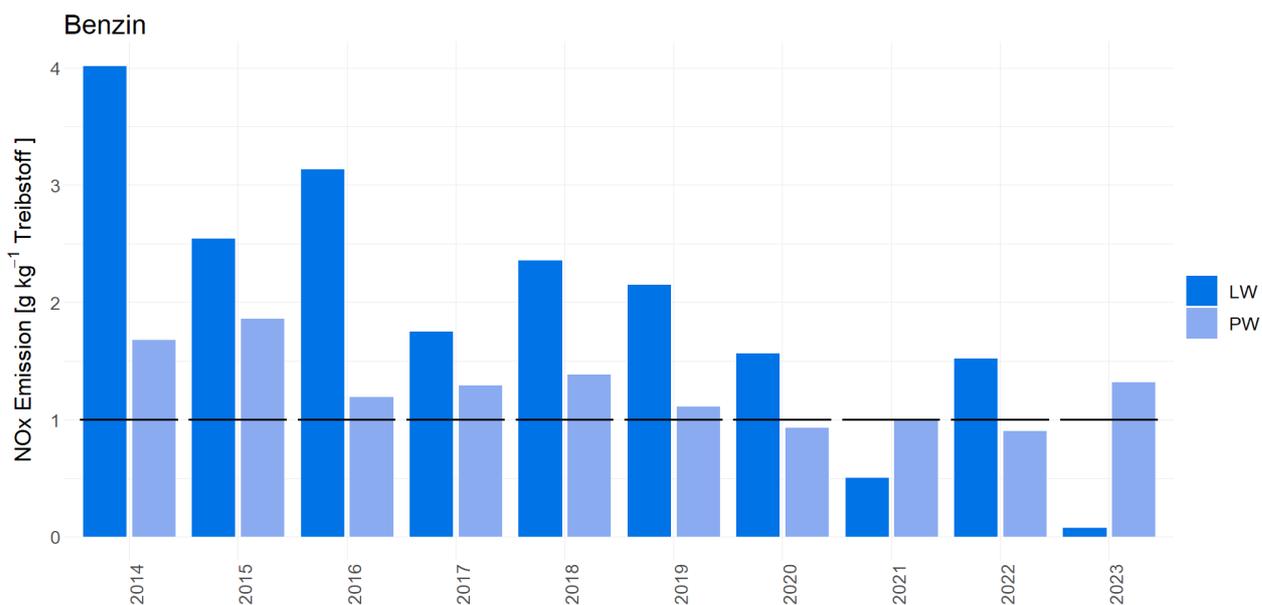
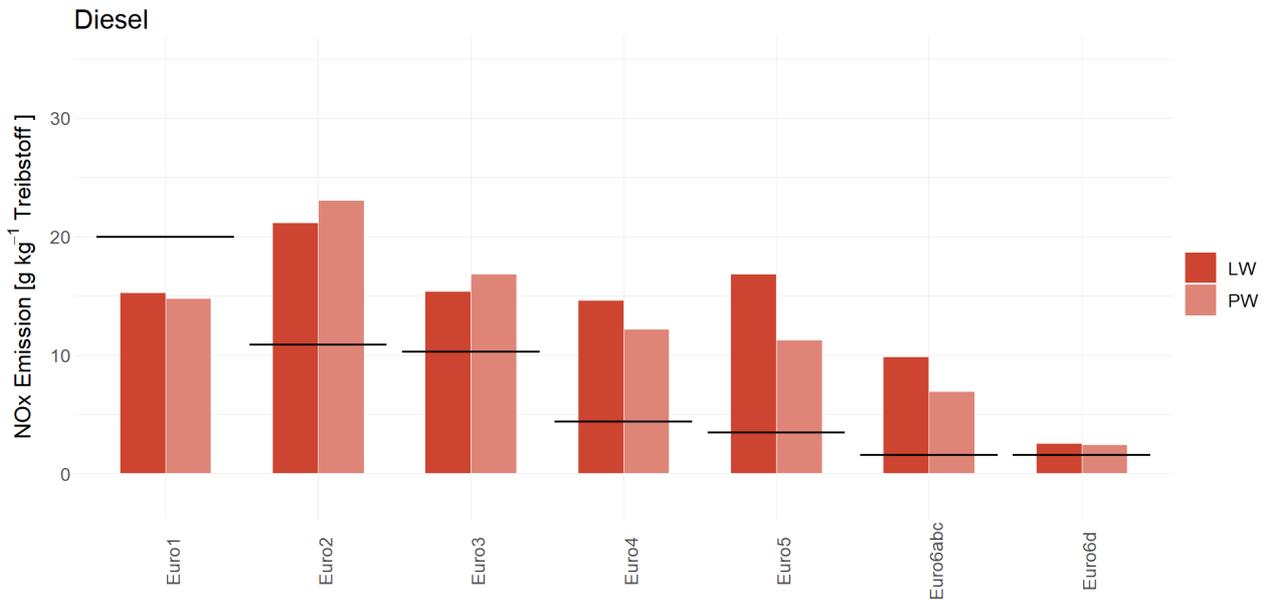
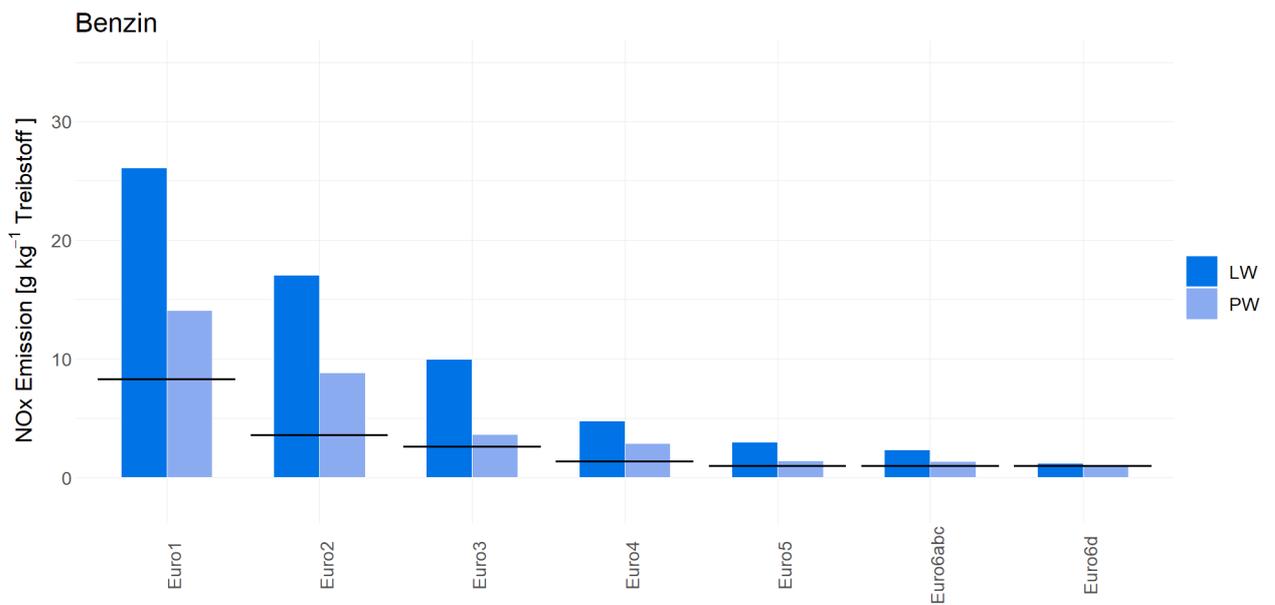


Abbildung 23: Zoom aus obenstehender Abbildung. Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen benzinbetriebener Fahrzeuge nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO<sub>x</sub>-Emissionen an.



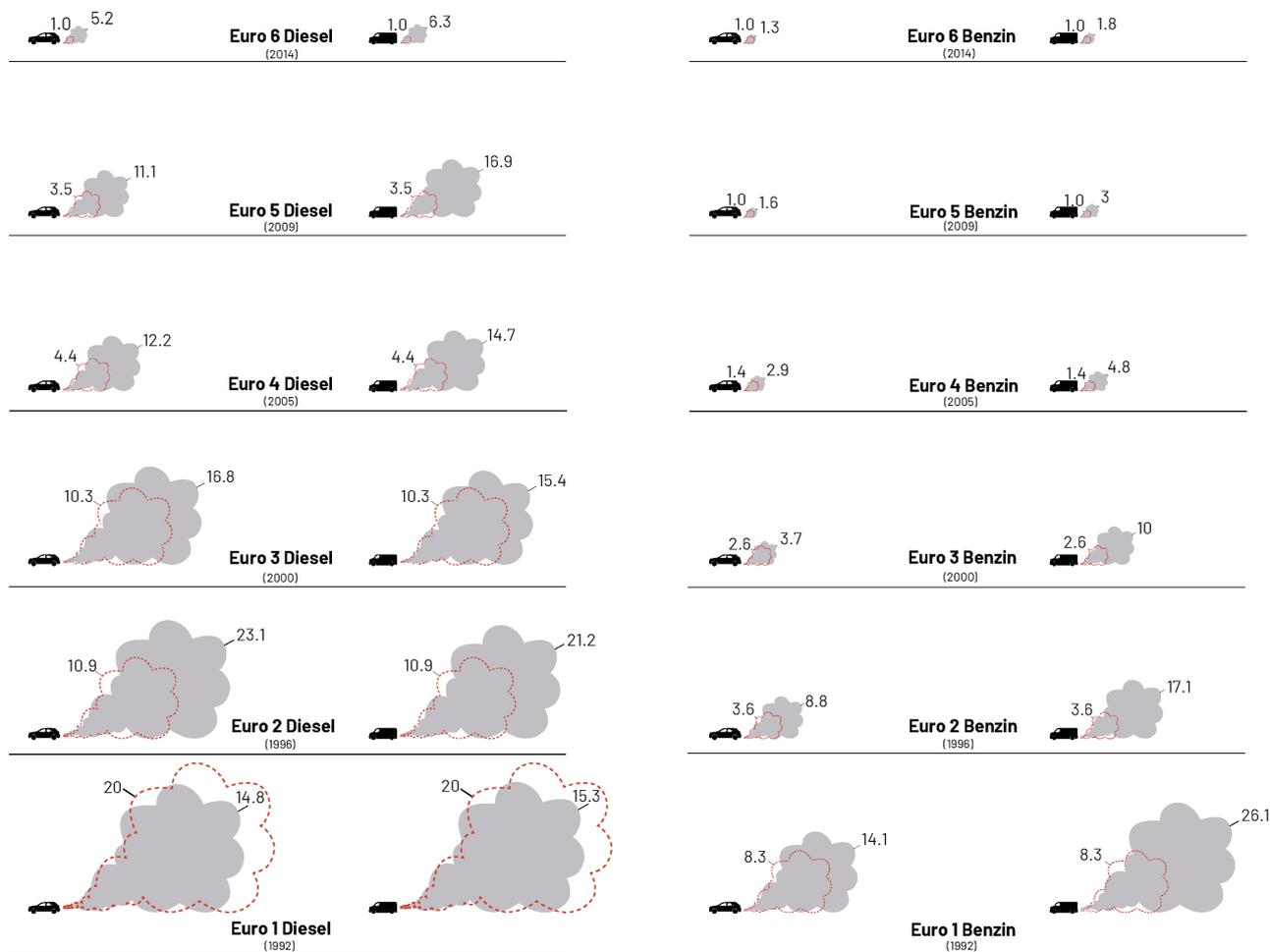
**Abbildung 24: Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge nach Abgasnorm. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO<sub>x</sub>-Emissionen an.**



**Abbildung 25: Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen benzinbetriebener Fahrzeuge nach Abgasnorm. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO<sub>x</sub>-Emissionen an.**

Die Emissionen der Benzinfahrzeuge folgen über die Jahre den Vorgaben der Grenzwerte, wenn auch leicht darüber (Abbildung 22). Auffallend hoch sind die Stickoxidemissionen bei älteren Personenwagen (bis 2000) und Lieferwagen (bis 2010). Dies liegt einerseits an der geringen Anzahl Fahrzeuge mit diesem Alter. Wenige Ausreisser wirken sich stark auf die Resultate aus. Grundsätzlich sind nur wenige Lieferwagen benzinbetrieben, weshalb das schlechte Abschneiden in den Emissionswerten dieser Fahrzeuge auch durch die geringe Stichprobenzahl beeinflusst wird.

Trotzdem zeigt sich, dass benzinbetriebene Lieferwagen im Durchschnitt deutlich mehr  $\text{NO}_x$  ausstossen als Personenwagen, auch deutlich über dem Grenzwert der Emissionsklasse. Erst bei neueren Lieferwagen sinkt die Differenz, sprich die Emissionen im realen Strassenverkehr nähern sich den Grenzwerten an.

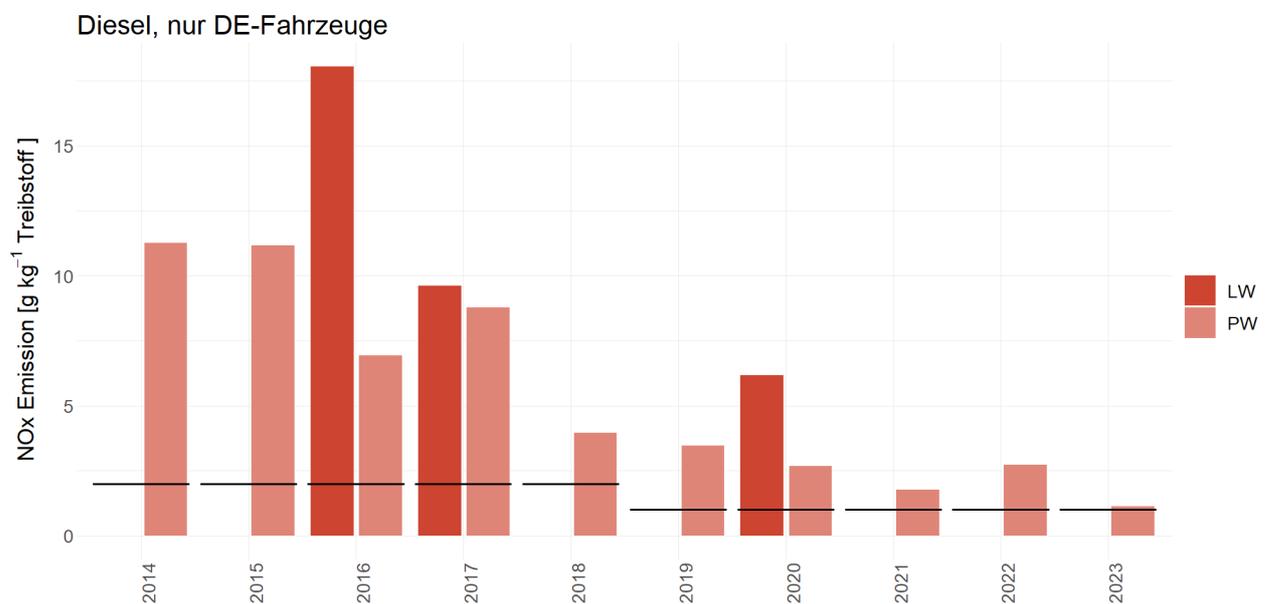


**Abbildung 26: Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen in g/kg Treibstoff als schematische Übersicht; ausgefüllte graue Abgaswolken symbolisieren die mittlere NO<sub>x</sub> Emission aus dem Strassenverkehr. Offene, rote Abgaswolken zeigen die Grenzwerte aus der Typenzulassung an (umgerechnet in g/kg Treibstoff). Zahlen rechts über der grauen Abgaswolke = reale NO<sub>x</sub> Emission (g/kg Treibstoff), Zahlen links über der roten Abgaswolke = Grenzwert aus der Typenzulassung (g/kg Treibstoff).**

Abbildung 26 fasst die NO<sub>x</sub>-Emissionen im Strassenverkehr als Mittelwerte über die Abgasnorm-Hauptkategorien schematisch zusammen (Euro 1 bis Euro 6). Die vorliegenden RSD-Messungen verdeutlichen, dass es über mehr als 20 Jahre, bis zur Einführung der Abgasnorm Euro 6, keine nennenswerte, abnehmende Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen von Dieselfahrzeugen im Strassenverkehr gibt. Die Emissionen liegen auf der Strasse um Faktoren höher als bei der Typenzulassung auf dem Rollenprüfstand. Dies wird durch weitere, internationale Remote Sensing Messungen bestätigt (*Sjödin et al., 2018; Dallmann et al., 2018; AWEL, 2021*). Auffällig bei dieser Messkampagne sind die Benzinfahrzeuge der älteren Abgasnormen 1, 2 und bei Lieferwagen zusätzlich Euro 3. NO<sub>x</sub>-Emissionen sind insbesondere bei Euro 1 ähnlich hoch wie bei Dieselfahrzeugen. Ausserdem ist die Überschreitung des Grenzwerts der Typenzulassung der Abgasnorm Euro 2 und bei Lieferwagen mit Euro 3 beträchtlich und teils höher als bei den Dieselfahrzeugen.

### 6.4.1. Emissionen nach Fahrzeugjahr deutscher Fahrzeuge

Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Treibstoff und Fahrzeugjahr ab 2014 aus Deutschland werden in der Abbildung 27 und Abbildung 28 dargestellt. In den Abbildungen werden nur Balken dargestellt, wenn diese aus mindestens 10 Messungen (Fahrzeugen) bestehen, damit einzelne Messunregelmässigkeiten weniger Einfluss haben. Dieseltreibene Personenwagen bis 2017 emittieren im Strassenverkehr deutlich mehr Stickoxide als der Grenzwert vorsieht. Ab 2018 nähern sie sich dem Grenzwert an, wobei es bei Personenwagen aus 2022 einen Ausreisser gibt. Diese Personenwagen emittieren im Durchschnitt mehr als das Doppelte des Grenzwerts, wobei jedoch verglichen mit den älteren Modellen seit 2017 weniger NO<sub>x</sub> in g/kg Treibstoff ausgestossen wird.

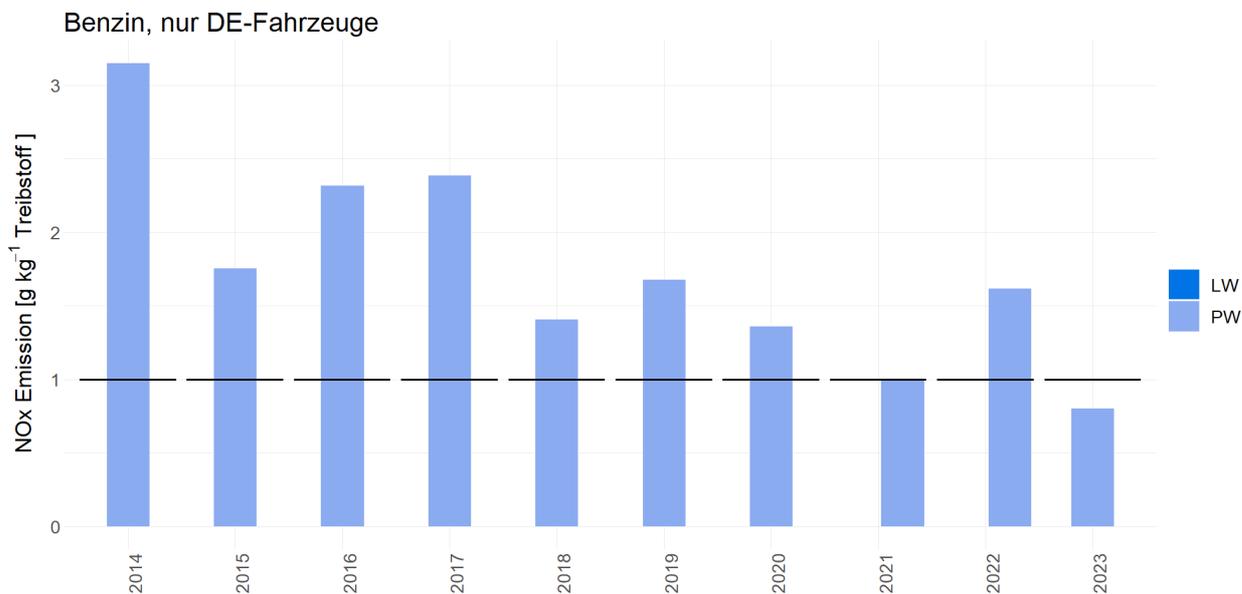


**Abbildung 27: Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen dieseltreibener Fahrzeuge aus Deutschland nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO<sub>x</sub> Emissionen an. Balken werden nur dargestellt, wenn mehr als 10 Messungen pro Jahr vorliegen.**

Auch bei den Lieferwagen ist eine Abnahme der Emissionen über die Zeit sichtbar. Die Grenzwerte hingegen werden in jedem Fahrzeugjahr deutlich überschritten, besonders 2016. Lieferwagen aus 2016 zeigen auch in der Gesamtflotte auffällig hohe durchschnittliche Emissionswerte (Abbildung 23), allerdings tiefer als Lieferwagen aus Deutschland. Grundsätzlich verlaufen die Emissionswerte über die Jahre heterogener als bei der Gesamtflotte, was in erster Linie an der geringeren Anzahl Messungen deutscher Fahrzeuge liegt. Benzinbetriebene Personenwagen aus Deutschland mit Fahrzeugjahr ab 2014 emittieren im Strassenverkehr im Durchschnitt mehr Stickoxide als der Grenzwert vorsieht, wenn auch auf tieferem Niveau als Dieselfahrzeuge. Lediglich Personenwagen aus den Jahren 2021 und 2023 halten den Grenzwert ein. Bemerkenswert sind die Abweichungen der Emissionen gegenüber der Gesamtflotte in den Jahren 2014 und 2022. Hingegen liegt der Durchschnitt der Emissionen deutscher Personenwagen aus dem Jahr 2023 unter dem Mittelwert der Gesamtflotte.

Benzinbetriebene Lieferwagen aus Deutschland wurden pro Fahrzeugjahr nie mehr als 10 gemessen, weshalb diese in der Grafik fehlen.

Insgesamt weichen die Emissionen deutscher Fahrzeuge gegenüber der Gesamtflotte (und somit im Vergleich zu den in der Schweiz immatrikulierten Fahrzeuge) nicht wesentlich ab.



**Abbildung 28: Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen benzinbetriebener Fahrzeuge aus Deutschland nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO<sub>x</sub>-Emissionen an. Balken werden nur dargestellt, wenn mehr als 10 Messungen pro Jahr vorliegen.**

#### 6.4.2. Emissionen nach Fahrzeugjahr französischer Fahrzeuge

Die mittleren realen NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Treibstoff und Fahrzeugjahr ab 2014 werden aus Frankreich in den Abbildung 29 und Abbildung 30 dargestellt. In den Abbildungen werden wiederum nur Balken gezeigt, wenn diese aus mindestens 10 Messungen (Fahrzeugen) bestehen, damit einzelne Messunregelmässigkeiten weniger Einfluss haben. Dieselpetriebene Personenwagen zeigen im Trend über die Jahre eine Abnahme der Emissionen und eine Annäherung an die Grenzwerte. Fahrzeuge aus den Jahren 2022 und 2023 konnten nicht genügend gemessen werden. Über dem Durchschnitt der Gesamtflotte liegen Personenwagen aus dem Jahr 2014 und 2015, allerdings sind die Abweichungen geringer als bei Fahrzeugen aus Deutschland.

Dieselpetriebene Lieferwagen aus Frankreich werden auf Grund der zu geringen Stichprobe nicht dargestellt. Benzinbetriebene Personenwagen aus Frankreich überschreiten den Emissionsgrenzwert im Strassenverkehr in den Fahrzeugjahren 2014 und 2015 stärker im Vergleich mit dem Mittelwert der Gesamtflotte. Allerdings liegen die Emissionen von Stickoxiden der Fahrzeugjahre 2016–2019 tiefer als in der Gesamtflotte. Benzin-fahrzeuge aus den Jahren 2020–2022 liegen wiederum über dem Grenzwert, 2021 deutlich.

Auf eine Interpretation benzinbetriebener Lieferwagen aus Frankreich wird auf Grund der nur einzeln gemessenen Fahrzeuge und den oben genannten Gründen verzichtet.

Insgesamt weichen die Emissionen französischer Fahrzeuge gegenüber der Gesamtflotte (und somit im Vergleich zu den in der Schweiz immatrikulierten Fahrzeugen) ebenfalls nicht wesentlich ab.

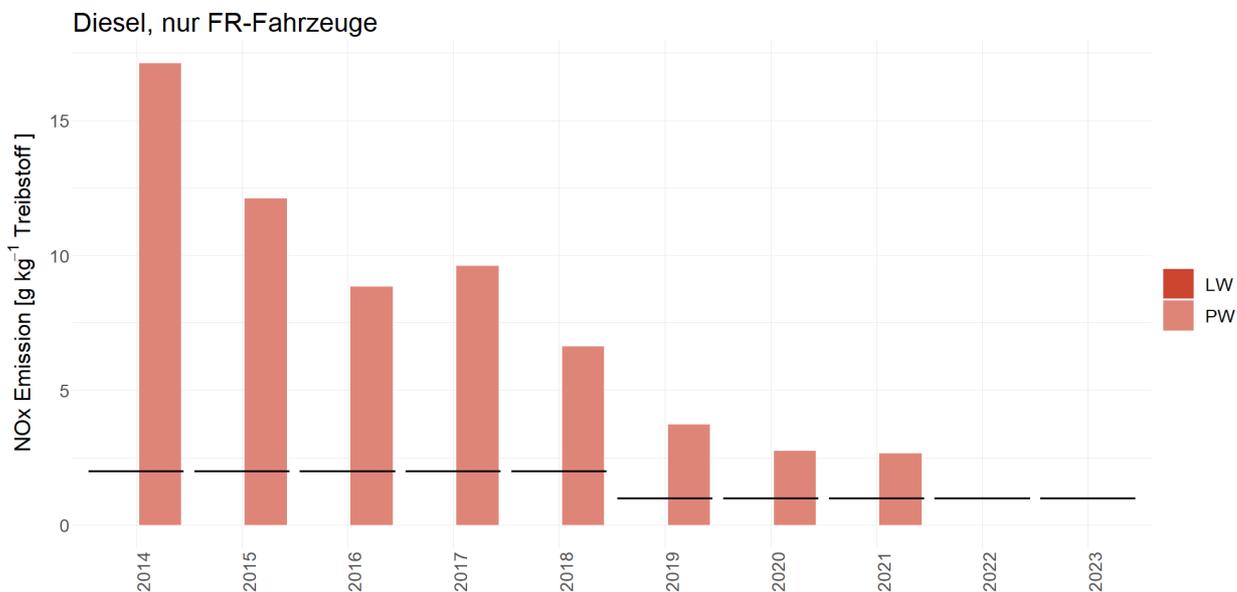


Abbildung 29: Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge aus Frankreich nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO<sub>x</sub>-Emissionen an. Balken werden nur dargestellt, wenn mehr als 10 Messungen pro Jahr vorliegen.

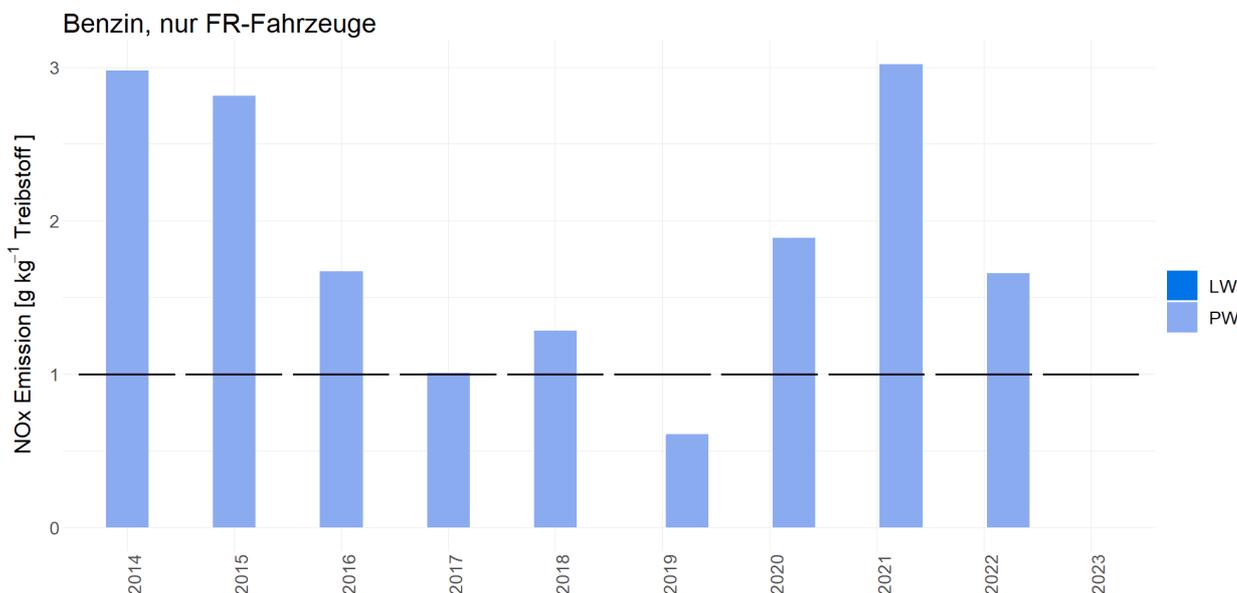


Abbildung 30: Mittlere reale NO<sub>x</sub>-Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge aus Frankreich nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO<sub>x</sub>-Emissionen an. Balken werden nur dargestellt, wenn mehr als 10 Messungen pro Jahr vorliegen.

## 6.5. Vergleich von Fahrzeug-Marken

Die realen NO<sub>x</sub>-Emissionen der gemessenen Diesel-Personenwagen nach Fahrzeugmarke sind in der Abbildung 31 sowie diejenigen von Diesel-Lieferwagen in Abbildung 32 aufgeführt. Aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit werden nur Fahrzeugmarken betrachtet, die mehr als 10-fach gemessen wurden.

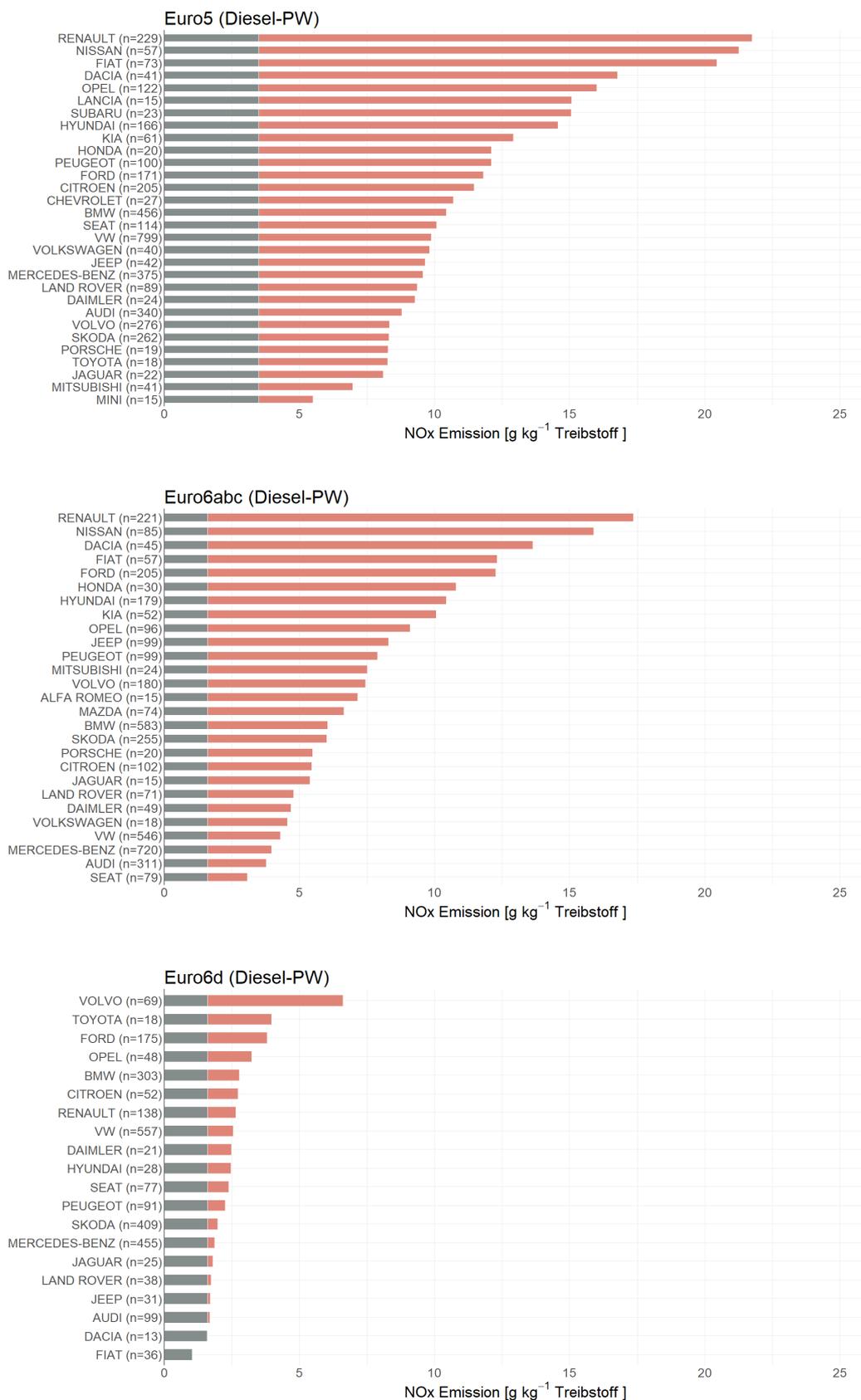
Bei den dieselbetriebenen Personenwagen zeigt sich, dass bei den Abgasnormen Euro 5 und 6abc unabhängig von der Fahrzeugmarke substantielle Überschreitungen des NO<sub>x</sub>-Grenzwerts die Regel sind. Bei den Euro 5 Fahrzeugen liegen die durchschnittlichen NO<sub>x</sub>-Emissionen hochemittierender Marken im Bereich von 20 g/kg Treibstoff, die Emissionen der saubersten Marken bis auf wenige Ausnahmen knapp unter 10 g/kg Treibstoff, was aber immer noch rund dem Doppelten des Grenzwerts entspricht.

Auch bei den Euro 6abc Fahrzeugen sind punktuell sehr hohe Emissionen auffällig. In der Regel ist jedoch eine Abnahme der NO<sub>x</sub>-Emissionen ersichtlich. Die durchschnittlichen Emissionen aller Marken überschreiten im Strassenverkehr den Grenzwert der Typenzulassung weiterhin deutlich. Es zeigt sich auch, dass innerhalb Euro 6abc die Schere zwischen den einzelnen Marken grösser wird.

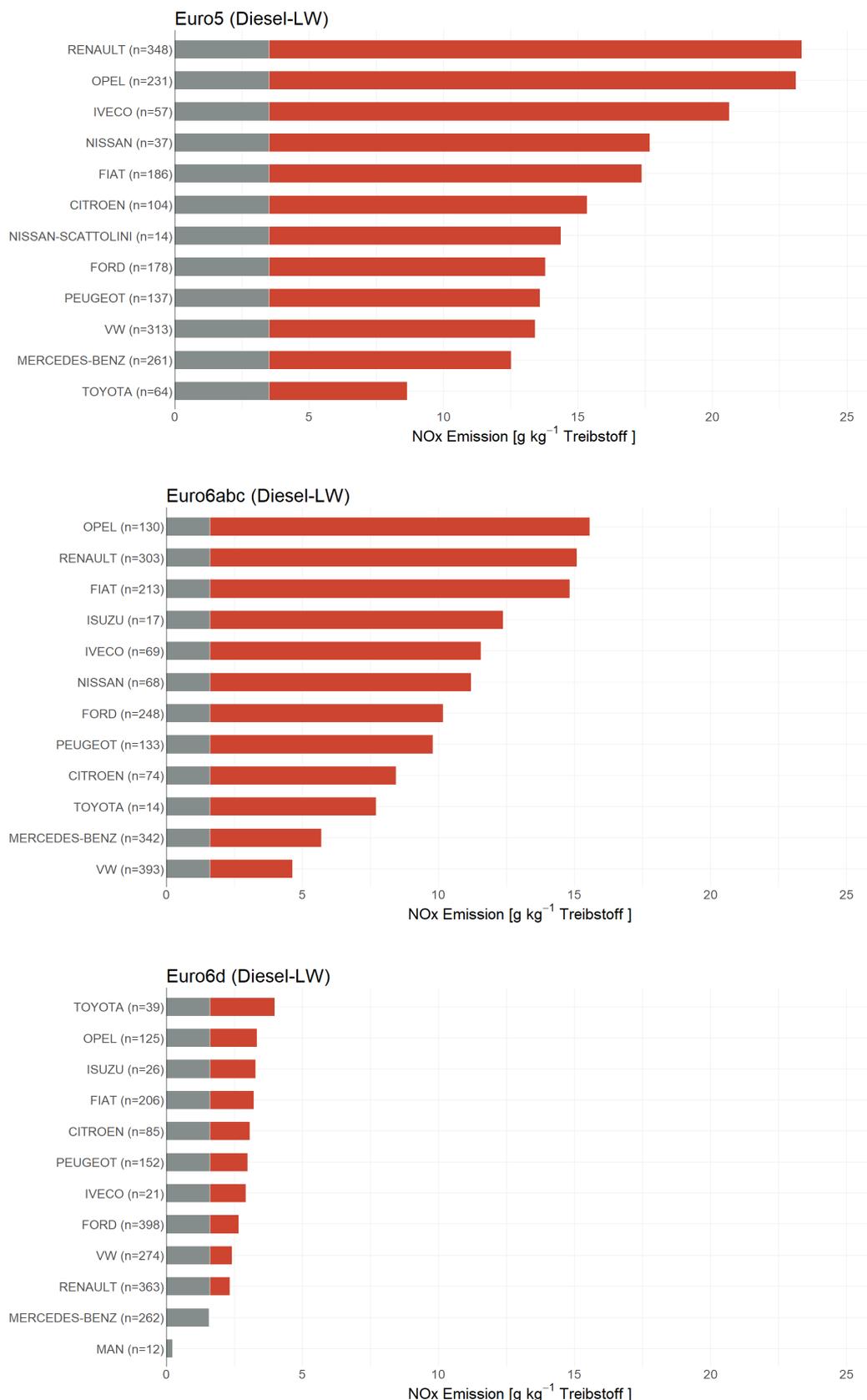
Bei Euro 6d wird die deutliche Verbesserung der Emissionen im Strassenverkehr auch bei der Analyse der Marken deutlich. Zwar liegen im Durchschnitt bei fast allen Marken die Emissionswerte über dem Grenzwert, jedoch auf tieferem Niveau als bei den älteren Euroklassen. Die höchsten durchschnittlichen Emissionen liegen unter 7 g/kg Treibstoff. Dies ist mehr als das Doppelte des Grenzwerts, jedoch substantiell tiefer als bei Euro 5 und Euro 6abc Fahrzeugen.

Marken, die bei Euro 5 höhere Emissionen vorweisen, bestätigen dies auch bei Euro 6abc. Bei Euro 6d unterscheidet sich die Reihenfolge der Automarken von den anderen Euroklassen. Marken mit Emissionen am niedrigeren Ende des Spektrums zeigen dies ebenfalls über mehrere Abgasnormen hinweg. Allerdings wird dieser Trend ab Euro 6d aufgeweicht und die durchschnittlichen Emissionen der Marken verhalten sich heterogener.

Bei den Diesel-Lieferwagen sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen über alle Marken für die Abgasnormen Euro 5 und 6abc deutlich überschritten. Besonders auffällig ist, dass Euro 5 über alle Marken die Grenzwerte um mehr als das Zweifache überschreitet. Dies ist bemerkenswert, da noch immer viele Euro 5 Fahrzeuge im Verkehr sind. Für Euro 6abc ist über alle Marken gemittelt auch bei den Lieferwagen eine Abnahme der realen Emissionen ersichtlich, wobei bei allen Marken die Grenzwerte noch um das Doppelte überschritten werden. Bei den Euro 6d Fahrzeugen ist die Annäherung an die Grenzwerte bei allen Marken deutlich ersichtlich. Zwar werden weiterhin bei einigen Marken die Grenzwerte deutlich überschritten, die Emissionswerte liegen jedoch in allen Fällen unter 5g/kg Treibstoff. Erstmals gibt es auch Herstellende, deren Fahrzeuge unter dem Grenzwert der Typenprüfung liegen.



**Abbildung 31: NO<sub>x</sub>-Emissionen gemittelt nach Marke und Abgasnorm dieselbetriebener Personenwagen. Eine Marke wird nur dargestellt, wenn davon mindestens 10 gültige Messungen vorliegen. Der graue Teilbalken symbolisiert den Emissionsgrenzwert der entsprechenden Abgasnorm. Rote Teilbalken entsprechen damit einer Überschreitung dieses Grenzwerts.**



**Abbildung 32: NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Marke und Abgasnorm dieselbetriebener Lieferwagen. Eine Marke wird nur dargestellt, wenn davon mindestens 10 gültige Messungen vorliegen. Der graue Teilbalken symbolisiert den Emissionsgrenzwert der entsprechenden Abgasnorm. Rote Teilbalken entsprechen damit einer Überschreitung dieses Grenzwerts.**

Die realen NO<sub>x</sub>-Emissionen der gemessenen Benzin-Personenwagen nach Fahrzeugmarke sind in der Abbildung 33 und diejenigen von Benzin-Lieferwagen in Abbildung 34 aufgeführt.

Auch bei benzinbetriebenen Personenwagen gibt es über viele Marken hinweg deutliche Überschreitungen der NO<sub>x</sub>-Grenzwerte. Allerdings sind diese weniger stark ausgeprägt als bei den Dieselfahrzeugen und es sind mit der Verjüngung gewisse Verbesserungen festzustellen. Bei Euro 5 gibt es einerseits grössere und mehr Überschreitungen als bei Euro 6abc und zu Euro 6d setzt sich der Trend fort. Sowohl in der Spitze, als auch in der Breite werden bis auf zwei Ausnahmen bei Euro 6d weniger Abweichungen zum Grenzwert festgestellt. Ausserdem zeigt sich, dass innerhalb der Fahrzeugmarken je nach Abgasnorm grosse Unterschiede herrschen.

Bei den Benzin-Lieferwagen stechen wiederum Fahrzeuge der Abgasnorm Euro 5 besonders hervor. Diese überschreiten Grenzwerte im Durchschnitt stark und über alle Fahrzeughersteller. Auch bei Benzin-Lieferwagen ist für Euro 6abc eine leichte Verbesserung ersichtlich, die sich bei den Euro 6d Lieferwagen fortsetzt.

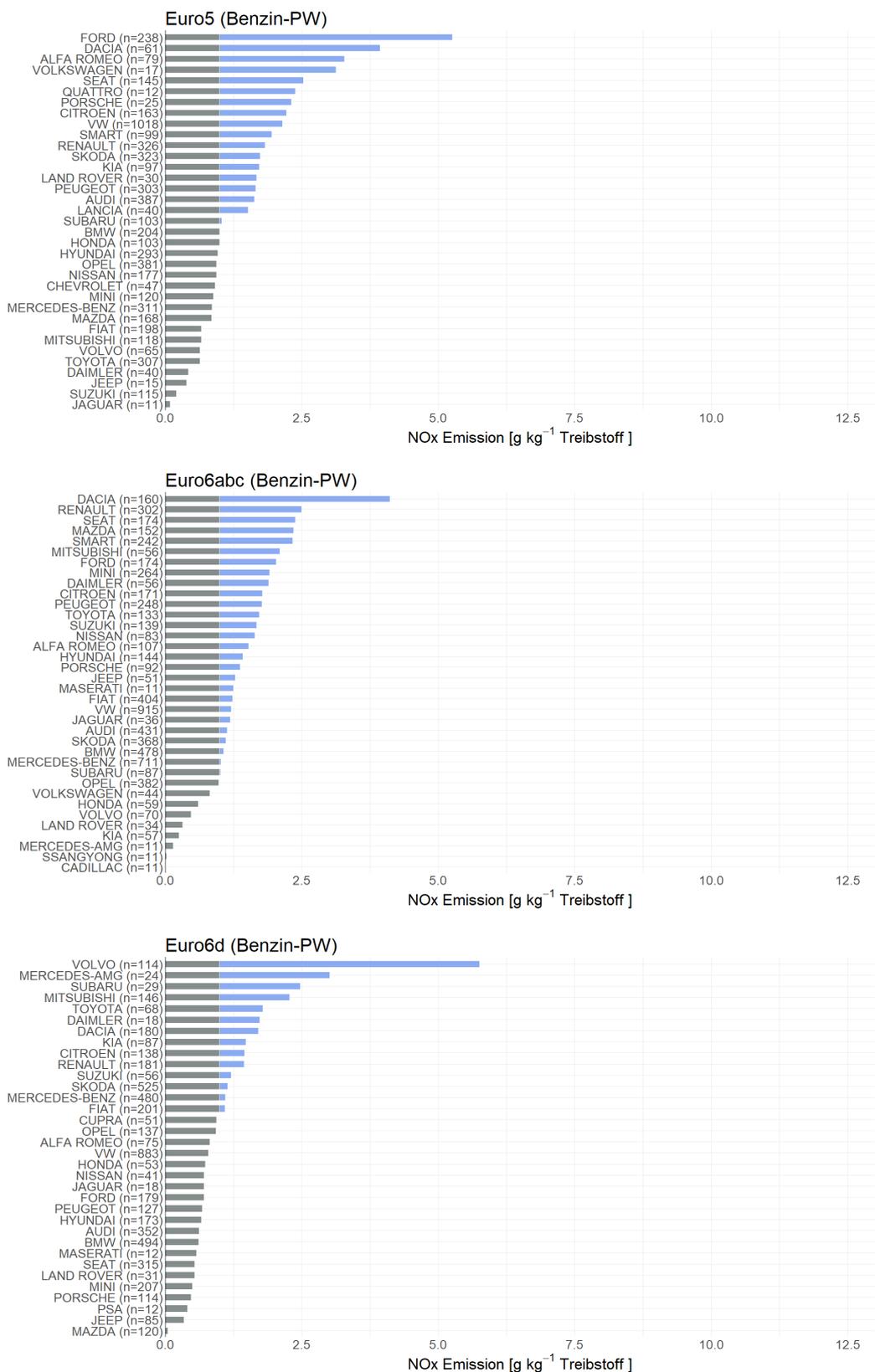
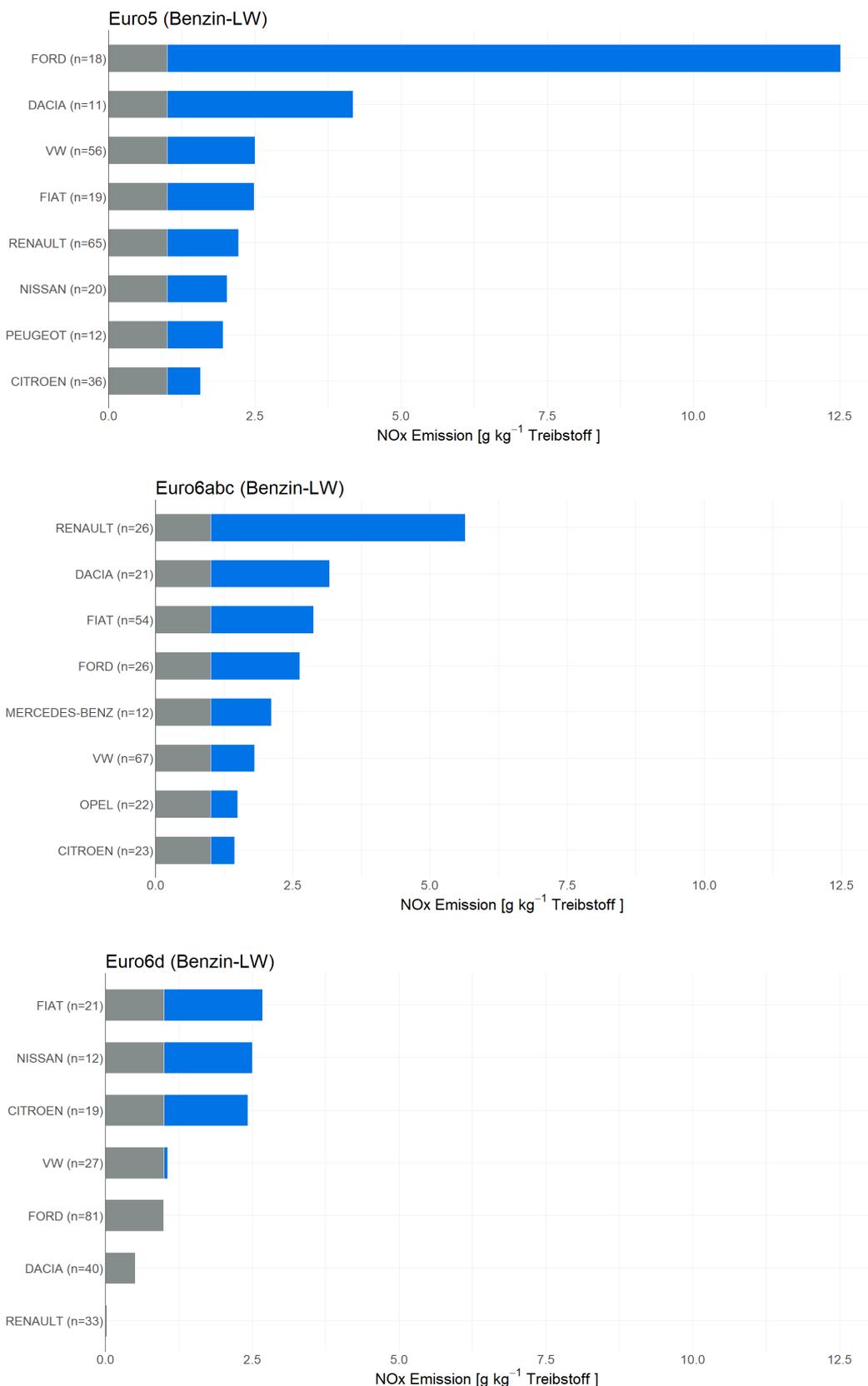
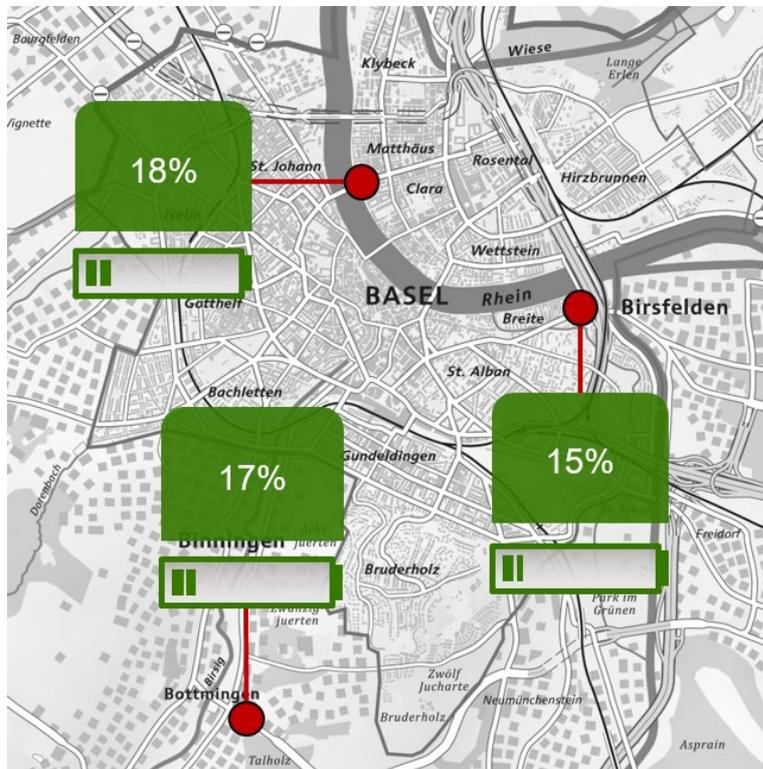


Abbildung 33: NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Marke und Abgasnorm benzinbetriebener Personenwagen. Eine Marke wird nur dargestellt, wenn davon mindestens 10 gültige Messungen vorliegen. Der graue Teilbalken symbolisiert den Emissionsgrenzwert der entsprechenden Abgasnorm. Blaue Teilbalken entsprechen damit einer Überschreitung dieses Grenzwerts.



**Abbildung 34: NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Marke und Abgasnorm benzinbetriebener Lieferwagen. Eine Marke wird nur dargestellt, wenn davon mindestens 10 gültige Messungen vorliegen. Der graue Teilbalken symbolisiert den Emissionsgrenzwert der entsprechenden Abgasnorm. Blaue Teilbalken entsprechen damit einer Überschreitung dieses Grenzwerts.**

## 6.6. Hybridantriebe



**Abbildung 35: Übersichtskarte der PHEV Fahrmodi. Prozentzahl entspricht dem Anteil der Fahrzeuge im elektrischen Modus**

Hybridfahrzeuge (PW und LW) mit und ohne Plug-In-Technologie konnten insgesamt 5'464 gemessen werden (ohne Qualitätsselektion, nur entsprechender Kennzeichenabgleich mit Metadaten). Davon sind im Durchschnitt über alle Standorte lediglich 17 % im elektrischen Modus gefahren. Dabei unterscheiden sich die städtisch geprägten Standorte nicht wesentlich vom Standort in der Agglomeration in Bottingen. Zwar weist die Feldbergstrasse mit 18 % im Elektromodus fahrenden Fahrzeuge einen leicht höheren Wert auf als Bottingen, jedoch ist am ebenfalls städtisch geprägten Standort an der Zürcherstrasse der Elektromodus Anteil mit 15 % am geringsten (Abbildung 35, Tabelle 5).

**Tabelle 5: Übersicht der Fahrmodi von PHEV nach Messstandorten**

Standort	Fahrmodus	Anzahl Fahrzeuge	%
Bottingen	Elektromodus	474	17
	Verbrennungsmodus	2'315	83
Feldbergstrasse	Elektromodus	402	18
	Verbrennungsmodus	1'826	82
Zürcherstrasse	Elektromodus	67	15
	Verbrennungsmodus	380	85
Alle Standorte	Elektromodus	943	17
	Verbrennungsmodus	4'521	83

## 6.7. Resultate Hybridfahrzeuge im internationalen Vergleich

In der vorliegenden Messkampagne sind die Werte für den elektrischen Modus im Vergleich zu anderen Messkampagnen eher gering. Grundsätzlich ist es schwierig, vergleichbare oder allgemeingültige Aussagen über den Verbrauch, die CO<sub>2</sub>-Emissionen oder die Fahrmodi von Hybridfahrzeugen zu treffen, da diese Parameter von verschiedenen Faktoren wie Strassenneigung, Geschwindigkeitsbegrenzung, technischer Ausstattung des Fahrzeugs, bereits gefahrener Strecke des gemessenen Fahrzeugs oder individuellem Ladeverhalten der Fahrzeughaltenden abhängen ([Carslaw, 2020](#)).

[Plötz et al. \(2022\)](#) haben Daten aus europäischen Ländern mittels Online-Befragungen erhoben und kommen zu dem Ergebnis, dass Hybridfahrzeuge zu 45–49 % der Zeit im elektrischen Modus und Lieferwagen zu 11–15 % der Zeit im elektrischen Modus unterwegs sind. Dies erklärt zum Teil auch die zunehmende Diskrepanz zwischen den Verbrauchsangaben der Hybridfahrzeuge aus dem Zulassungsverfahren (NEDC und WLTP) und dem tatsächlichen Verbrauch im Strassenverkehr ([Plötz et al. 2022](#)).

Ein Team der britischen Beratungsfirma Ricardo analysierte Daten aus einer RSD-Messkampagne in Grossbritannien, um den Anteil des Elektro- bzw. Verbrennungsmodus bei Hybridfahrzeugen im Strassenverkehr zu bestimmen. Dabei wurde zwischen Plug-In-Hybriden und Hybriden ohne Plug-In unterschieden. In rund 23 % der Fälle fuhren Hybride ohne Plug-In elektrisch, während 41 % der PHEV elektrisch fuhren ([Carslaw, 2020](#)).

## 6.8. Vergleich mit Kampagne 2018

Während im Jahr 2018 bei 100'000 gemessenen Fahrzeugen nur 25'000 ausgewertet werden konnten, wurde diese Zahl während der aktuellen Messkampagne mit deutlich über 50'000 ausgewerteten Fahrzeugen substanziell vergrößert. Gründe dafür sind der neue, aus messtechnischer Sicht ideale, Standort in Bottmingen, Verbesserungen am Messgerät und die Auswertung einiger ausländischer Kennzeichen.

Gegenüber der Messkampagne von 2018 ist eine Flottenverjüngung erkennbar. Fahrzeuge mit der aktuellen Abgasnorm Euro 6d sind mittlerweile anteilmässig stark vertreten im Vergleich mit Fahrzeugen älteren Abgasnormen. Allerdings gibt es immer noch eine ähnlich hohe Anzahl Fahrzeuge mit Euro 5 Motoren, die nach wie vor erheblich mehr NO<sub>x</sub> im Strassenverkehr ausstossen als der Grenzwert vorsieht. Im Unterschied zu 2018 sind 2023 prozentual weniger Dieselfahrzeuge im Verkehrsmix. Dies wird auch durch die Berücksichtigung alternativer Kraftstoffe wie Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge im Verbrennungsmodus bei der Analyse verursacht. Trotz des Rückgangs sind Dieselfahrzeuge weiterhin für etwa 75 % der NO<sub>x</sub>-Emissionen verantwortlich, leicht weniger als 2018. Die Beobachtung, dass Dieselfahrzeuge bis Baujahr 2016 die Grenzwerte der Typenprüfung deutlich überschreiten, kann mit dieser Messkampagne bestätigt werden. Eine neue Erkenntnis ist, dass die Grenzwerte der Euro 6d Motoren bei einer Vielzahl von Fahrzeugen im Strassenverkehr eingehalten werden. Fahrzeuge dieser Euroklasse wurden 2018 noch keine gemessen.

Die Schere der NO<sub>x</sub>-Emissionswerte zwischen dieselbetriebenen Personen- und Lieferwagen ist 2023 kleiner als 2018. Während der vorliegenden Kampagne konnte auch bestätigt werden, dass die Emissionen im Strassenverkehr bei Euro 3 Personenwagen höher sind als bei Euro 3 Lieferwagen. 2023 konnte zusätzlich gezeigt werden, dass dies bei Euro 2 Fahrzeugen ebenfalls der Fall ist.

Bei der Betrachtung von Benzinfahrzeugen im Strassenverkehr können grössere Unterschiede gegenüber der Kampagne von 2018 festgestellt werden. Besonders bei Lieferwagen mit Euro 1 bis Euro 3 werden deutlich höhere NO<sub>x</sub>-Emissionen gemessen, wie vor fünf Jahren. Allerdings ist die Stichprobe dieser Fahrzeugkategorie klein und somit anfällig auf Ausreisser. Hohe NO<sub>x</sub>-Emissionen von älteren Benzinfahrzeugen könnten auch ein Hinweis auf ein «High Emitters» Problem sein, also Fahrzeuge ohne funktionierenden Katalysator ([ASTRA, 2022](#)). Diese Hypothese müsste jedoch wie anfangs beschrieben (Kapitel 5) mit einer anderen Vorgehensweise überprüft werden. Die Tatsache, dass Benzinfahrzeuge noch zu ähnlich hohen Anteilen an den Gesamtemissionen beteiligt sind wie 2018, lässt zumindest den Schluss zu, dass die wenigen Fahrzeuge mit hohen gemessenen Emissionen keine relevanten Auswirkungen auf die totalen Flottenemissionen haben (Abbildung 19: Verteilung der Fahrzeuge nach Antriebsart (Flottenzusammensetzung, oberer Balken). Relativer Beitrag zu NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Antriebsart (unterer Balken)).

## 7. Fazit

Aus der RSD – Messkampagne 2023 in Basel und Bottmingen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- **Flottenverjüngung:** Es hat eine deutliche Verjüngung der Fahrzeugflotte im Vergleich zu 2018 stattgefunden, wobei insbesondere Lieferwagen schneller ersetzt werden wie Personenwagen.
- **Deutsche und französische Fahrzeuge:** Die Flotten der französischen und deutschen Fahrzeuge setzen sich ähnlich zusammen wie die Schweizer Flotte, wobei die Emissionen dieser Fahrzeuge keine relevanten Unterschiede zu den in der Schweiz zugelassenen Fahrzeugen aufweisen.
- **Dominanz der Diesel:** Dieselbetriebene Fahrzeuge sind nach wie vor für über 75 % der NO<sub>x</sub>-Emissionen verantwortlich, obwohl sie nur 40 % des Verkehrsmixes ausmachen.
- **Euro 5 Fahrzeuge:** Trotz der Flottenverjüngung sind nach wie vor viele Euro 5 Dieselfahrzeuge auf den Strassen unterwegs, die erheblich höhere NO<sub>x</sub>-Emissionen verursachen und somit eine weiterhin bedeutende Rolle für die Gesamtbelastung spielen. Eine Verbesserung der Luftqualität wird auf Grund der vielen Fahrzeuge, die Emissionsgrenzwerte überschreiten, weiter verzögert.
- **Einhaltung der Grenzwerte:** Die neueste Abgasnorm 6d zeigt nur noch geringe Überschreitungen der Emissionsgrenzwerte im Strassenverkehr. Dies stellt einen Fortschritt dar, insbesondere im Vergleich zu älteren Dieselmotoren.
- **Lieferwagen und alternative Antriebe:** Lieferwagen tragen mehr zu den Emissionen bei als Personenwagen, während die Flottenverjüngung hier schneller voranschreitet. Alternative Antriebe, insbesondere bei Lieferwagen, sind jedoch noch wenig verbreitet.
- **Emissionen älterer Benzinfahrzeuge:** Ältere benzinbetriebene Personen- und Lieferwagen zeigen auffällig hohe NO<sub>x</sub>-Emissionen im Strassenverkehr. Diese spielen auf Grund der geringen Verbreitung der Fahrzeugflotte in den Gesamtemissionen keine grosse Rolle, lokal und kurzzeitig aber sind diese Emissionen bezüglich Luftqualität problematisch.
- **Hybridfahrzeuge:** Hybridfahrzeuge werden nur zu einem geringen Anteil im Elektromodus gefahren. Dies führt dazu, dass sie im Betrieb mehr fossilen Treibstoff verbrennen und nur begrenzte Vorteile in Bezug auf die Luftqualität bieten.
- **Luftqualität an verkehrsreichen Standorten:** Die Luftqualität an stark befahrenen Standorten bleibt weiterhin stark vom Verkehr abhängig und die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen überschreiten den Jahresmittelgrenzwert der Luftreinhalte-Verordnung.

Insgesamt verdeutlichen diese Schlussfolgerungen, dass trotz Flottenverjüngung und Fortschritten in der Einhaltung der neuen Emissionsstandards weiterhin Anstrengungen erforderlich sind, um die Luftqualität an stark befahrenen Standorten nachhaltig zu verbessern.

## **8. Ausblick**

Um die Entwicklung der Fahrzeug-Emissionen und die damit zusammenhängende Flottenverjüngung in der Region Basel in Zukunft verfolgen zu können wird angestrebt, in vier bis fünf Jahren eine weitere RSD-Messkampagne durchzuführen. Diese soll möglichst im gleichen Zeitfenster und an den gleichen Standorten stattfinden. Ebenso wäre es sinnvoll auch deutsche und französische Fahrzeuge erneut in die Auswertung miteinzubeziehen. Weiter sollen Hybridfahrzeuge auf deren jeweiligen Fahrtmodus im Strassenverkehr untersucht werden. In einem zusätzlichen Schritt könnte die Unterscheidung zwischen Plug-In-Hybriden und Hybridfahrzeugen ohne Plug-In-Technologie vorgenommen werden.

## Anhang

### Abkürzungsverzeichnis

ANTS	<i>Agence nationale des titres sécurisés</i>
ASTRA	<i>Bundesamt für Strassen</i>
AWEL	<i>Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich</i>
BAFU	<i>Bundesamt für Umwelt</i>
DTV	<i>Durchschnittlicher Tagesverkehr</i>
EMPA	<i>Eidgenössische Materialprüfungsanstalt</i>
KBA	<i>Kraftfahrt-Bundesamt</i>
LHA	<i>Lufthygieneamt beider Basel</i>
LRP	<i>Luftreinhalteplan</i>
LRV	<i>Luftreinhalte- Verordnung</i>
LUBW	<i>Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg</i>
LW	<i>Lieferwagen</i>
NEDC	<i>New European Driving Cycle</i>
PEMS	<i>Portable emissions measurement system</i>
PHEV	<i>Plug-In Hybrid Electric Vehicle</i>
PW	<i>Personenwagen</i>
RDE	<i>Real Driving Emissions</i>
RSD	<i>Remote Sensing Device</i>
VSP	<i>Vehicle Specific Power (Motorlast)</i>
WLTC	<i>Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure</i>

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Messaufbau des RSD-Systems (Borken-Kleefeld und Dallmann, 2018a).....	13
Abbildung 2: Übersicht Messstandorte 2023 (Quelle: MapBS).....	15
Abbildung 3: Messstation Feldbergstrasse (Quelle: LHA) .....	16
Abbildung 4: Messstation Zürcherstrasse (Quelle: LHA) .....	17
Abbildung 5: Messstation Bottmingen (Quelle: LHA) .....	18
Abbildung 6: Immissionsmessungen an Messstandorten .....	19
Abbildung 7: Datenfluss RSD-Projekt 2023 .....	20
Abbildung 8: Datenfluss Auswertung EV & PHEV .....	22
Abbildung 9: Herkunft der Fahrzeuge, valide Messungen mit Metadaten .....	23
Abbildung 10: Verkehrsmix Antrieb .....	25
Abbildung 11: Verkehrsmix Antrieb mit Elektrofahrzeugen.....	26
Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm.....	27
Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Personenwagen .....	27
Abbildung 14: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Lieferwagen.....	28
Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Personenwagen aus Deutschland.....	29
Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Lieferwagen aus Deutschland.....	29

Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Personenwagen aus Frankreich.....	30
Abbildung 18: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an Messwerten nach Abgasnorm, nur Lieferwagen aus Frankreich.....	30
Abbildung 19: Verteilung der Fahrzeuge nach Antriebsart (Flottenzusammensetzung, oberer Balken). Relativer Beitrag zu NO <sub>x</sub> -Emissionen nach Antriebsart (unterer Balken) .....	31
Abbildung 20: Mittlere reale NO <sub>x</sub> -Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge nach Fahrzeugjahr über die gesamte Dauer. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO <sub>x</sub> -Emissionen an. ....	33
Abbildung 21: Zoom aus obenstehender Abbildung. Mittlere reale NO <sub>x</sub> -Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO <sub>x</sub> -Emissionen an. ....	33
Abbildung 22: Mittlere reale NO <sub>x</sub> -Emissionen benzinbetriebener Fahrzeuge nach Fahrzeugjahr über die gesamte Dauer. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO <sub>x</sub> -Emissionen an. ....	34
Abbildung 23: Zoom aus obenstehender Abbildung. Mittlere reale NO <sub>x</sub> -Emissionen benzinbetriebener Fahrzeuge nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO <sub>x</sub> -Emissionen an. ....	34
Abbildung 24: Mittlere reale NO <sub>x</sub> -Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge nach Abgasnorm. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO <sub>x</sub> -Emissionen an.....	35
Abbildung 25: Mittlere reale NO <sub>x</sub> -Emissionen benzinbetriebener Fahrzeuge nach Abgasnorm. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO <sub>x</sub> -Emissionen an.....	35
Abbildung 26: Mittlere reale NO <sub>x</sub> -Emissionen in g/kg Treibstoff als schematische Übersicht; ausgefüllte graue Abgaswolken symbolisieren die mittlere NO <sub>x</sub> Emission aus dem Strassenverkehr. Offene, rote Abgaswolken zeigen die Grenzwerte aus der Typenzulassung an (umgerechnet in g/kg Treibstoff). Zahlen rechts über der grauen Abgaswolke = reale NO <sub>x</sub> Emission (g/kg Treibstoff), Zahlen links über der roten Abgaswolke = Grenzwert aus der Typenzulassung (g/kg Treibstoff). ....	37
Abbildung 27: Mittlere reale NO <sub>x</sub> -Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge aus Deutschland nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO <sub>x</sub> Emissionen an. Balken werden nur dargestellt, wenn mehr als 10 Messungen pro Jahr vorliegen.....	38
Abbildung 28: Mittlere reale NO <sub>x</sub> -Emissionen benzinbetriebener Fahrzeuge aus Deutschland nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO <sub>x</sub> -Emissionen an. Balken werden nur dargestellt, wenn mehr als 10 Messungen pro Jahr vorliegen.....	39
Abbildung 29: Mittlere reale NO <sub>x</sub> -Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge aus Frankreich nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO <sub>x</sub> -Emissionen an. Balken werden nur dargestellt, wenn mehr als 10 Messungen pro Jahr vorliegen.....	40
Abbildung 30: Mittlere reale NO <sub>x</sub> -Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge aus Frankreich nach Fahrzeugjahr seit 2014. Die schwarzen horizontalen Linien geben den jeweiligen Grenzwert für NO <sub>x</sub> -Emissionen an. Balken werden nur dargestellt, wenn mehr als 10 Messungen pro Jahr vorliegen.....	40

Abbildung 31: NO<sub>x</sub>-Emissionen gemittelt nach Marke und Abgasnorm dieselbetriebener Personenwagen. Eine Marke wird nur dargestellt, wenn davon mindestens 10 gültige Messungen vorliegen. Der graue Teilbalken symbolisiert den Emissionsgrenzwert der entsprechenden Abgasnorm. Rote Teilbalken entsprechen damit einer Überschreitung dieses Grenzwerts. .... 42

Abbildung 32: NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Marke und Abgasnorm dieselbetriebener Lieferwagen. Eine Marke wird nur dargestellt, wenn davon mindestens 10 gültige Messungen vorliegen. Der graue Teilbalken symbolisiert den Emissionsgrenzwert der entsprechenden Abgasnorm. Rote Teilbalken entsprechen damit einer Überschreitung dieses Grenzwerts. .... 43

Abbildung 33: NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Marke und Abgasnorm benzinbetriebener Personenwagen. Eine Marke wird nur dargestellt, wenn davon mindestens 10 gültige Messungen vorliegen. Der graue Teilbalken symbolisiert den Emissionsgrenzwert der entsprechenden Abgasnorm. Blaue Teilbalken entsprechen damit einer Überschreitung dieses Grenzwerts. .... 45

Abbildung 34: NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Marke und Abgasnorm benzinbetriebener Lieferwagen. Eine Marke wird nur dargestellt, wenn davon mindestens 10 gültige Messungen vorliegen. Der graue Teilbalken symbolisiert den Emissionsgrenzwert der entsprechenden Abgasnorm. Blaue Teilbalken entsprechen damit einer Überschreitung dieses Grenzwerts. .... 46

Abbildung 35: Übersichtskarte der PHEV Fahrmodi. Prozentzahl entspricht dem Anteil der Fahrzeuge im elektrischen Modus..... 47

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: EU- Abgasnormen, Umrechnung von NO<sub>x</sub> in g/kg wurde vom AWEL von Hausberger (2010)..... 11

Tabelle 2: Anforderungen an Messstandorte (ASTRA 2022)..... 14

Tabelle 3: Charakterisierung der Messstandorte ..... 15

Tabelle 4: Übersicht über die erhobenen Daten ..... 24

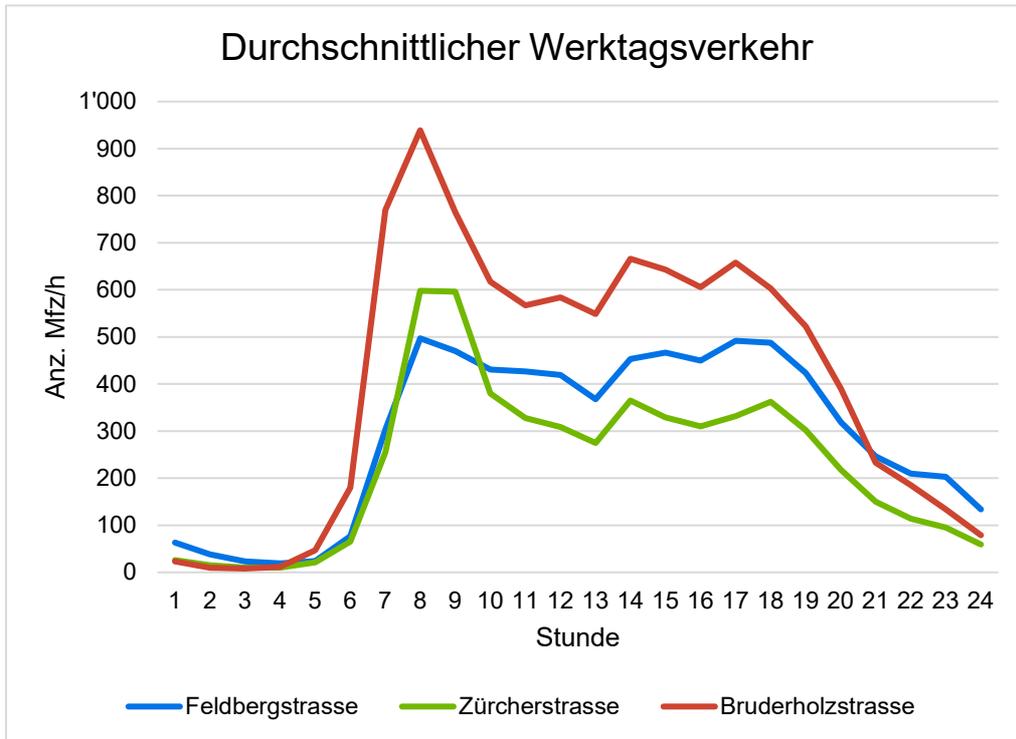
Tabelle 5: Übersicht der Fahrmodi von PHEV nach Messstandorten..... 47

Tabelle 6: Umrechnungstabelle g/kg Treibstoff (nach AWEL) ..... 56

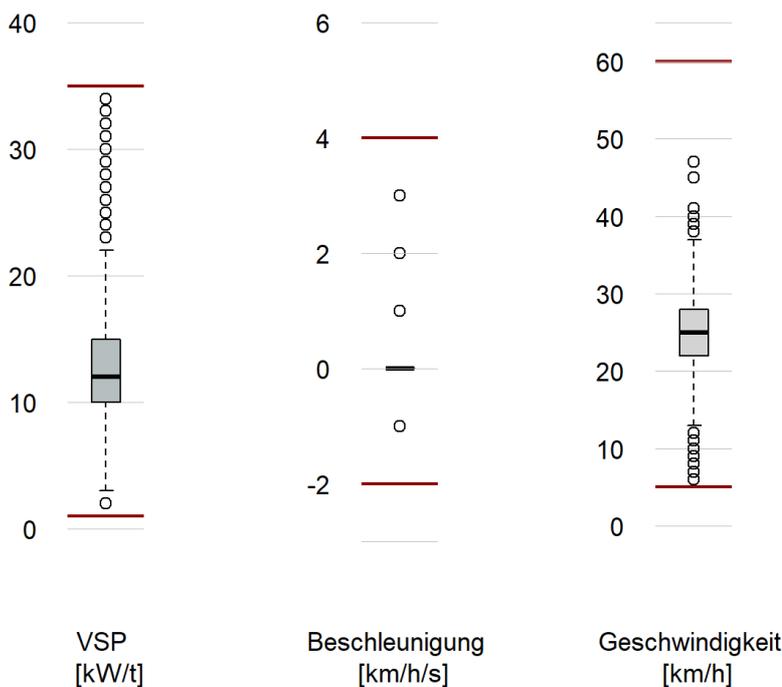
Tabelle 7: Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor..... 57

Tabelle 8: Fahrzeuge mit Elektromotor ..... 57

Anhang 1: Durchschnittlicher Tagesverkehr und Boxplot «VSP, Beschleunigung, Geschwindigkeit»



Anhang Abbildung 2: durchschnittlicher Werktagverkehr für die Messstandorte aus dem Jahr 2016. Anmerkung: Es wurde nicht direkt an der Zürcherstrasse gemessen, sondern wenige hundert Meter in Fahrtrichtung Bahnhof SBB am St. Alban-Graben. (Tiefbauamt Basel-Landschaft, 2015; Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt, 2016)



Anhang Abbildung 1: Boxplot mit VSP, Beschleunigung und Geschwindigkeit aller Messungen 2023

**Anhang 2: Umrechnungstabelle g/kg Treibstoff nach Abgasnorm**

**Tabelle 6: Umrechnungstabelle g/kg Treibstoff (nach AWEL)**

vehicle	fuel	xlab	Grenzwert	units
Personenwagen	Diesel	Euro 1	20	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Diesel	Euro 2	10.9	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Diesel	Euro 3	10.3	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Diesel	Euro 4	4.4	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Diesel	Euro 5	3.5	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Diesel	Euro 6b	1.6	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Diesel	Euro 6c	1.6	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Diesel	Euro 6d	1.6	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Diesel	Euro 1	20	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Diesel	Euro 2	10.9	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Diesel	Euro 3	10.3	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Diesel	Euro 4	4.4	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Diesel	Euro 5	3.5	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Diesel	Euro 6b	1.6	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Diesel	Euro 6c	1.6	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Diesel	Euro 6d	1.6	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Benzin	Euro 1	8.3	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Benzin	Euro 2	3.6	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Benzin	Euro 3	2.6	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Benzin	Euro 4	1.4	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Benzin	Euro 5	1	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Benzin	Euro 6b	1	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Benzin	Euro 6c	1	g/kg Treibstoff
Personenwagen	Benzin	Euro 6d	1	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Benzin	Euro 1	8.3	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Benzin	Euro 2	3.6	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Benzin	Euro 3	2.6	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Benzin	Euro 4	1.4	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Benzin	Euro 5	1	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Benzin	Euro 6b	1	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Benzin	Euro 6c	1	g/kg Treibstoff
Lieferwagen	Benzin	Euro 6d	1	g/kg Treibstoff

### Anhang 3: Qualitätskontrolle PHEV-Analyse

Das Remote Sensing Device misst nicht direkt am Fahrzeug, ob es mit Verbrennungsmotor oder Elektromotor fährt. Jedoch kann auf Grund der Abgase (vorhanden oder nicht vorhanden) darauf geschlossen werden, in welchem Modus es sich befindet. Um die Wahrscheinlichkeit von falsch zugeordneten Fällen abzuschätzen, kann das Verfahren an Daten geprüft werden, bei denen basierend auf den Metadaten klar ist, um welchen Motorentyp es sich handelt (EV oder Benzin / Diesel).

In Tabelle 7 befinden sich sämtliche Messdaten (nur Kennzeichen-Abgleich, ohne Qualitätsselektion) von Fahrzeugen mit Diesel- oder Benzinmotoren. Über alle Standorte wird bei 3 % der Fahrzeuge kein CO<sub>2</sub> gemessen, obwohl es bei Verbrennungsmotoren immer CO<sub>2</sub> geben sollte. In diesem Fall werden diese Fahrzeuge fälschlicherweise im Elektromodus zugeordnet. Der Fehlerbereich liegt im Durchschnitt bei 3 %.

**Tabelle 7: Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor**

Standort	Fahrtmodus	Anzahl Fahrzeuge	%
Bottmingen	Elektromodus	637	1.9
	Verbrennungsmodus	32'291	98.1
Feldbergstrasse	Elektromodus	1'248	5.4
	Verbrennungsmodus	21'702	94.6
Zürcherstrasse	Elektromodus	119	2.8
	Verbrennungsmodus	4'198	97.2
Alle Standorte	Elektromodus	2'004	3
	Verbrennungsmodus	58'191	97

In Tabelle 8 befinden sich sämtliche Messdaten (nur Kennzeichen-Abgleich, ohne Qualitätsselektion) von Fahrzeugen mit Elektromotor. Über alle Standorte wird bei 97 % der Fahrzeuge kein CO<sub>2</sub> gemessen (Zuordnung in «Elektromodus»). Zu erwarten wäre, dass Elektrofahrzeuge zu 100 % im Elektromodus fahren (weil diese keinen Verbrennungsmotor haben). Der Fehlerbereich liegt somit in diesen Fällen ebenfalls bei 3 %.

**Tabelle 8: Fahrzeuge mit Elektromotor**

Standort	Fahrtmodus	Anzahl Fahrzeuge	%
Bottmingen	Elektromodus	858	98.2
	Verbrennungsmodus	16	1.8
Feldbergstrasse	Elektromodus	663	95.4
	Verbrennungsmodus	32	4.6
Zürcherstrasse	Elektromodus	123	97.6
	Verbrennungsmodus	3	2.4
Alle Standorte	Elektromodus	1'644	97
	Verbrennungsmodus	51	3

## Literaturverzeichnis

- Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL) (Hrsg.). (2021). *Langjährige Abgasmessungen im realen Fahrbetrieb mittels Remote Sensing*. Zürich.
- Bernard, Y., Tietge, U., German, J., Muncrief, R. (2018). *Determination of realworld emissions from passenger vehicles using remote sensing data*. ICCT.
- Borken-Kleefeld, J., Dallmann, T. (2018a). *Remote Sensing of Motor Vehicle Exhaust Emissions*. Washington D.C.: International Council on Clean Transportation.
- Borken-Kleefeld, J., Bernard, Y., Carslaw, D., Sjödin, Å. (2018a). *Contribution of vehicle remote sensing to in-service/real driving emissions monitoring - CONOX Task 3 report*.
- Bundesamt für Statistik (BFS) (Hrsg.). *Neue Inverkehrsetzungen von Strassenfahrzeugen nach Kanton, Fahrzeuggruppe / -art, Variableneinheit, Treibstoff und Jahr*. Von STAT-TAB – interaktive Tabellen (BFS): [https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-1103020200\\_120/px-x-1103020200\\_120/px-x-1103020200\\_120.px/](https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-1103020200_120/px-x-1103020200_120/px-x-1103020200_120.px/) [abgerufen: 13.11.2023].
- Bundesamt für Strassen (ASTRA) (Hrsg.). (2022). *Überwachung der Emissionen von Strassenfahrzeugen in der Schweiz*. Bern.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2023). *Luft: Das Wichtigste in Kürze* Von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/inkuerze.html> [abgerufen: 13.11.2023].
- Bundesrat, (Hrsg.) (1985): *Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985*. Bern.
- Carslaw, D. (2020). Failed remote sensing measurements provide insights into hybrid vehicle behaviour. Ricardo. Blog. <https://www.ricardo.com/en/news-and-insights/insights/failed-remote-sensing-measurements-provide-insights-into-hybrid-vehicle-behaviour> [abgerufen: 28.11.2023].
- Dallmann, T., Bernard, Y., Tietge, U., Muncrief, B. (2018). *Remote sensing of motor vehicle emissions in London*.
- Europäische Kommission (Hrsg.) (2017). *REPORT on the inquiry into emission measurements in the automotive sector*.
- Europäische Kommission. (2020). *REGULATION (EC) No 715/2007 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6)*.
- Europäische Kommission. (2023). *Pressemitteilung: Neue Abgasnorm Euro-7*: [https://germany.representation.ec.europa.eu/news/neue-abgasnorm-euro-7-saubere-luft-und-erschwingliche-autos-2023-02-09\\_de](https://germany.representation.ec.europa.eu/news/neue-abgasnorm-euro-7-saubere-luft-und-erschwingliche-autos-2023-02-09_de) [abgerufen: 13.11.2023].
- Felber-Dietrich, D. (2014). *Luftverschmutzung und Gesundheit. Übersicht zu den Auswirkungen*. Bundesamt für Umwelt. Bern.
- Franco V., Kousoulidou, M., Muntean, M., Ntziachristos, L., Hausberger, S., Dilara, P. (2013). *Road vehicle emission factors development: A review*. Atmospheric Environment. S. 84-97.
- Hausberger, S. (2010). *Fuel Consumption and Emissions of Modern Passenger Cars*. Graz: Institute for internal combustion engines and thermodynamics.

- International Council On Clean Transportation (ICCT) (Hrsg.). (2016). *NO<sub>x</sub> emissions from heavyduty and lightduty diesel vehicles in the EU: Comparison realworld performance and current type-approval requirements*. ICCT Briefing.
- Jiménez, J.L., McClintock, P., McRae, G.J., Nelson, D.D., Zahniser, M.S. (1999). *Vehicle Specific Power: A Useful Parameter for Remote Sensing and Emission Studies*.  
[https://cires1.colorado.edu/jimenez/Papers/Jimenez\\_VSP\\_9thCRC\\_99\\_final.pdf](https://cires1.colorado.edu/jimenez/Papers/Jimenez_VSP_9thCRC_99_final.pdf) [abgerufen: 13.11.2023].
- Jöhrens, J., Räder, D., Kräck, J., Mathieu, L., Blanck, R., Kasten, P. (2020). *Plug-in hybrid electric cars: Market development, technical analysis and CO<sub>2</sub> emission scenarios for Germany*. Heidelberg, Brüssel, Berlin: German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.
- Lufthygieneamt beider Basel (2017) (Hrsg.). *Luftreinhalteplan der Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft*. Liestal / Basel.
- Lufthygieneamt beider Basel (LHA) (Hrsg.). (2018). *Abgasmessungen im realen Fahrbetrieb mittels Remote Sensing (RSD)*.
- Lufthygieneamt beider Basel (LHA) (Hrsg.). (2022). *Luftqualität Nordwestschweiz. Jahresbericht 2022*:  
<https://berichte.luftqualitaet.ch/22/> [abgerufen: 13.11.2023].
- Hooftman, N., Messagie, M., Van Mierlo, J., Coosemans, T. (2018). A review of the European passenger car regulations – Real driving emissions vs local air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(86), S. 1-21..
- Pavlovic, J., Ciuffo, B., Fontaras, G., Valverde, V., Marotta, A. (2018). How much difference in typeapproval CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars in Europe can be expected from changing to the new test procedure (NEDC vs. WLTP)? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, S. 136-147.
- Plötz, P., Moll, C., Bieker, G., Mock, P., Li, Y. (2020). *Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles - Fuel consumption, electric driving, and CO<sub>2</sub> emissions*. Karlsruhe, Berlin, Washington: Fraunhofer Institute for System and Innovation research ISI, International Council of Clean Transportation ICCT.
- Plötz, P., Link, S., Ringelschwender, H., Keller, M., Moll, Bieker, G., Dornoff, J., Mock, P. (2022). *Real-World usage of Plug-In Hybrid Vehicles in Europe. A 2022 Update on Fuel Consumption, Electric Driving and CO<sub>2</sub> Emissions*. Karlsruhe, Berlin, Washington: Fraunhofer Institute for System and Innovation research ISI, International Council of Clean Transportation ICCT.
- Rihm, B., Künzle, T. (2023). *Nitrogen deposition and exceedances of critical loads for nitrogen in Switzerland 1990-2020*. Bundesamt für Umwelt.
- Sjödin, Å., Borken-Kleefeld, J., Carslaw, D., Tate, J., Alt, G.-M., De la Fuente, J., Bernard, Y., Tietge, U., McClintock, P., Gentala, R., Vescio, N., Hausberger, S. (2018). *Real-driving emissions from diesel passenger cars measured by remote sensing and as compared with PEMS and chassis dynamometer measurements CONOX Task 2 report*. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt. (2016). *Verkehrszählungen*.  
<https://www.statistik.bs.ch/zahlen/tabellen/11-verkehr-mobilitaet/verkehrszaehlungen.html> [abgerufen: 13.11.2023].

- Tiefbauamt Basel Landschaft. (2015). *Verkehrserhebungen*. <https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/bau-und-umweltschutzdirektion/tiefbauamt/kennzahlen/verkehrserhebungen/wochenwertung-je-temporaer-zaehlstelle/2015> [abgerufen: 13.11.2023].
- Tutuianu, M., Bonnel, P., Ciuffo, B., Haniu, T., Ichikawa, N., Marotta, A., Pavlovic, J., Steven, H. (2015). Development of the Worldwide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the European legislation. *Transport and Environment*, 40(Transportation Research Part D), S. 61-75.
- Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2020). Antworten auf häufig gestellte Fragen zum Thema „Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)“. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4640/dokumente/noxfaq.pdf> [abgerufen: 24.11.2023].
- Vienneau, D., Stafoggia, M., Rodopoulou, S., Chen, J., Atkinson, R.W., Bauwelinck, M., Klompaker, J.O., Oftedal, B., Andersen, Z.J., Janssen, N.A.H., So, R, et al. (2023). Association between exposure to multiple air pollutants, transportation noise and cause-specific mortality in adults in Switzerland. *Environmental Health*, S. 29.
- Zimmermeyer, G., Lüers, B., Holderbaum, B. (2017). Der Weg zum sauberen Dieselmotor. *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*, S. 215-223.