



Amt für Natur und Umwelt
Uffizi per la natira e l'ambient
Ufficio per la natura e l'ambiente

Abgasmessungen im realen Fahrbetrieb in Davos Wolfgang, 2019



Status	Definitive Version
Zuständig	Hanspeter Lötscher, Hermann Brüesch
Version	V1.0
Datum	15. Januar 2021

Impressum

Dokumenttitel: RSD_Messungen_Davos_2019.docx
Anzahl Seiten: 19
Datum: 15.01.2021
Messtechnik und Berichterstattung: Anna Ehrler, Nadine Hafner, Hanspeter Lötscher, Hermann Brüesch, Janic Deplazes
Identifikator: ANU-409-96d, Geschäftsnummer 2018-1077
Foto: Messstandort in Davos Wolfgang (ANU, 2019)

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
2	Ausgangslage.....	5
3	Methodik.....	6
3.1	Durchführung der Messungen in Davos Wolfgang 2019.....	6
3.2	Remote Sensing Methodik.....	6
4	Ergebnisse RSD-Messungen in Davos Wolfgang 2019	12
4.1	Standort und Messperiode	12
4.2	Struktur RSD-Messdatensatz Davos Wolfgang 2019	12
4.3	Ergebnisse Davos Wolfgang 2019.....	12
4.4	Vergleich der RSD-Messungen von Davos Wolfgang und Regensdorf.....	15
5	Fahrzeuge des Kantons Graubünden	17
6	Alpenquerender Güterverkehr.....	18
7	Schlussfolgerungen.....	18
8	Literaturverzeichnis und Begriffe.....	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Messaufbau RSD-System (AWEL 2017)	7
Abbildung 2: RSD-Messsystem bei Davos Wolfgang	8
Abbildung 3a: Beispiele von Kameraaufnahmen während einer RSD-Messung. 1. Reihe: Personenwagen Benzin; 2. Reihe: Personenwagen Benzin; 3. Reihe: Dieselfahrzeuge der kantonalen Verwaltung (Personenwagen, Lieferwagen)	9
Abbildung 3b: Beispiele von Kameraaufnahmen während einer RSD-Messung. 1. Reihe: Personenwagen Diesel, 2. Reihe: Lieferwagen Diesel.....	10
Abbildung 4: links: Kartenausschnitt mit Messstandort (rot) (Swisstopo, 2020); rechts: Foto Messstandort (ANU, 2019).....	12
Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung (grafisch und tabellarisch) der erfassten Fahrzeuge nach Treibstoff und Abgasnorm, RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019b).....	13
Abbildung 6: Mittlere gemessene NOx-Emissionen und Grenzwerte gemäss Typenzulassung Treibstoff, Zulassungsjahr (links) und Abgasnorm (rechts), RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019b).....	14
Abbildung 7: Schematische Darstellung der mittleren NOx-Emissionen nach Treibstoff und Abgasnorm (blau ausgefüllte Wolke) und Grenzwert aus der Typenzulassung (rot umrandete Wolke); blaue Zahlen: mittlere NOx-Emissionen (g/kg Treibstoff); graue Zahlen: NOx-Faktor (= Emission / Grenzwert), RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019b).....	14
Abbildung 8: Verteilung der NOx-Emissionen von Dieselfahrzeugen nach Fahrzeugmarke und Abgasnorm, RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019b).....	15

Abbildung 9: Verteilung NOx-Emissionen in Davos und Regensdorf nach Treibstoff und Abgasnorm, RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019c).....	16
Abbildung 10: Mittlere NOx-Emissionen von Dieselfahrzeugen in Davos Wolfgang und Regensdorf nach Fahrzeugmarke und Abgasnorm, RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019c).....	17
Abbildung 11: Links: Mittlere NOx-Emissionen der Fahrzeuge der kantonalen Verwaltung; rechts: NOx-Emissionen der Dieselfahrzeuge der kantonalen Verwaltung getrennt nach Euronormen, RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (ANU, 2020).....	18

1 Zusammenfassung

Der motorisierte Strassenverkehr ist eine der Hauptquellen für Stickoxide ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) in der Luft. Diese entstehen bei der Verbrennung der Treibstoffe Diesel und Benzin. Besonders Dieselfahrzeuge stossen grosse Mengen an Stickoxiden aus. Die Stickoxid-Belastung hat in der Schweiz sowie in Graubünden seit Anfang der 90er Jahre stetig abgenommen. An stark befahrenen Strassen wie der A13 und in Tourismusorten wie Davos oder St. Moritz ist die Belastung jedoch immer noch so hoch, dass die Immissions-Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) für Stickstoffdioxid (NO_2 , Tages- und Jahresmittelwert) überschritten werden.

Vor dem Hintergrund des Dieselskandals im Jahre 2015 und aufgrund der Vermutung, dass in höheren Lagen bei geringerem Luftdruck und tieferen Temperaturen die Emissionen von Luftschadstoffen aus Dieselfahrzeugen zusätzlich erhöht sind, hat das Amt für Natur und Umwelt des Kantons Graubünden (ANU) entschieden, fahrzeugspezifische Stickstoff-Abgasmessungen mittels RSD (Remote Sensor Detection) durchzuführen. Als Standort für die Messungen wurde Davos Wolfgang (1560 m ü. M.) ausgewählt.

Die Auswertungen beziehen sich nur auf die Stickoxid (NO_x)-Emissionen von Personen- und Lieferwagen und gelten nicht für Lastwagen und Busse. Die Messkampagne in Davos Wolfgang dauerte vom 9. Juli bis 14. August 2019. Insgesamt wurden über 80'000 Fahrzeuge erfasst. Dabei wurden die Abgase, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung gemessen. Zudem wurde ein Foto der Rückseite des Fahrzeuges aufgenommen und damit das Kennzeichen des Fahrzeuges identifiziert.

Durch die Kennzeichenerkennung wird der Fahrzeugtyp (Fahrzeugmarke, Euronomen, Fahrzeugalter) identifiziert. Die Kennzeichenerkennung und die Zuordnung zu den entsprechenden Emissionen und Fahrzeugtypen ist verdankenswerterweise vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Zürich (AWEL) durchgeführt worden. Das AWEL ist im Besitz der entsprechenden Informationen und ist gegenüber dem Bundesamt für Strassen (ASTRA) vertraglich verpflichtet, die Informationen ausschliesslich für die Anwendung von RSD-Messungen zu verwenden. Das ANU ist nicht im Besitz dieser Informationen. Es darf aus den NO_x -Ergebnissen keine Rückschlüsse auf andere emittierte Luftschadstoffe und keine Rückschlüsse auf die Umweltbelastung einer Fahrzeugmarke generell geschlossen werden.

Ausländische Fahrzeuge, Lastwagen, Busse, Motorräder und Fahrzeuge mit Wechselnummern wurden nicht in die Auswertungen einbezogen. Zusätzliche Ausschlusskriterien bezüglich Geschwindigkeit und Beschleunigung erhöhen die Qualität der Auswertungen weiter. Schliesslich standen von 27'461 Fahrzeugen (91 % Personenwagen, 9 % Lieferwagen) NO_x -Emissionen für die Auswertung zur Verfügung.

Der gemessene NO_x -Ausstoss von Benzinfahrzeugen entspricht in Davos Wolfgang mehrheitlich den gesetzlichen Vorschriften und ist deutlich geringer als derjenige von Dieselfahrzeugen. Dieselfahrzeuge stossen hingegen massiv viel mehr NO_x aus als gesetzlich zulässig. Dies gilt vor allem für ältere Fahrzeugmodelle der Abgasnormen Euro 3, 4, 5 und 6b. Bei Dieselfahrzeugen (Personenwagen, Lieferwagen) der Abgasnorm Euro 5 entsprechen die realen NO_x -Emissionen im Mittel dem 9.9-fachen des Grenzwertes. Euro 4 und Euro 6b Dieselfahrzeuge emittieren 6.6-, bzw. 6.1-mal mehr NO_x als gesetzlich zulässig. Modernste Dieselfahrzeuge der Euro 6c/6d Norm erfüllen die gesetzlichen NO_x -Vorschriften fast wieder. Allerdings gehören nur 6 % aller gemessenen Dieselfahrzeuge zu dieser Abgasnorm. Während bei Benzinfahrzeugen (Personenwagen, Lieferwagen) der NO_x -Ausstoss unabhängig von der Höhenlage und von Euronormen ist, stossen Dieselfahrzeuge in grösseren Höhen viel mehr NO_x aus als in tiefen Lagen. Die NO_x -Emissionen von Dieselfahrzeugen sind in Davos (1560 m ü. M.) bei den Abgasnormen Euro 3, 4, 5 und 6b doppelt

so hoch wie in Regensdorf (450 m ü. M.) (Messungen AWEL, 2019). Dieser um Faktoren erhöhte Ausstoss lässt sich nur schwer anhand von physikalischen Gesetzmässigkeiten wie Luftdruckdifferenz oder Temperaturdifferenz erklären, zumal die Temperatur während der Messungen an beiden Standorten annähernd gleich war. Es muss andere Gründe geben, die beispielsweise die Funktion der Abgasnachbehandlungssysteme betreffen, was vermutet wurde und hiermit auch aufgezeigt werden konnte. Bei Dieselfahrzeugen mit der Abgasnorm Euro 6c/6d ist der Unterschied gering.

Während der Messkampagne wurden auch die NO_x-Emissionen von 156 Fahrzeugen (Personenwagen und Lieferwagen) der kantonalen Verwaltung des Kantons Graubünden gemessen. Sämtliche Aussagen über die Ergebnisse der gesamten Untersuchung sind auch für die gemessenen Fahrzeuge der kantonalen Verwaltung gültig. Das ANU empfiehlt aus lufthygienischer Sicht, bei der Neubeschaffung von Fahrzeugen nur noch Elektrofahrzeuge, Benzinfahrzeuge oder Dieselfahrzeuge der Abgasnormen Euro 6c/6d zu beschaffen. Der Kanton ist bereits heute im Besitz solcher Fahrzeuge, welche entsprechend wenig NO_x ausstossen.

2 Ausgangslage

Der motorisierte Strassenverkehr ist eine der Hauptquellen für Stickoxide (NO_x = NO + NO₂) in der Luft. Diese entstehen bei der Verbrennung der Treibstoffe Diesel und Benzin. Besonders Dieselfahrzeuge stossen grosse Mengen an Stickoxiden aus. Die Stickoxid-Belastung hat in der Schweiz sowie in Graubünden seit Anfang der 90er Jahre stetig abgenommen. An stark befahrenen Strassen wie der A13 und in Tourismusorten wie Davos oder St. Moritz ist die Belastung immer noch so hoch, dass die Immissions-Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) für Stickstoffdioxid (NO₂, Tages- und Jahresmittelwert) überschritten werden.

Benzin- und Dieselmotoren weisen unterschiedliche Abgas-Zusammensetzungen auf. Um den Ausstoss der Schadstoffe und die damit verbundenen Folgen zu verringern, müssen umfangreiche Massnahmen zur Reinigung der Abgase durch Katalysatoren und Partikelfilter getroffen werden. Der Dieselmotor produziert etwa dreimal mehr Stickoxide als ein Benzinmotor. Dafür ist er wesentlich sauberer beim Ausstoss von Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO₂) und Kohlenwasserstoffen (HC). Aussagen, die jedoch nicht mehr generell gelten, denn modernste Benzinmotoren stossen heutzutage bedeutend weniger Kohlendioxid aus, stehen aber im Verdacht, viele feinste Partikel auszustossen.

Die Grenzwerte der Schadstoff-Emissionen (Euronormen) werden laufend verschärft und überprüft. Um diese Emissionen zu kontrollieren, werden Fahrzeugtypen beim Zulassungsverfahren unter Laborbedingungen auf einem Rollenprüfstand getestet. Durch den sogenannten "Dieselskandal" stellte sich allerdings heraus, dass Manipulationen des Abgasreinigungssystems von Dieselfahrzeugen durch die Motorensteuerungssoftware vorgenommen worden sind. Durch diese Manipulation werden bei der Prüfung im Zulassungsverfahren wesentlich geringere Emissionen ausgestossen als im realen Fahrbetrieb. Messungen der Emissionen im realen Fahrbetrieb (PEMS Portable Emissions Measurement System) auf der Strasse sind unvermeidbar, um realitätsnahe Grundlagen der Emissionen zu erhalten. Darüber hinaus wird vermutet, dass der Ausstoss von Luftschadstoffen (u.a. von Stickoxiden NO_x) in erhöhten Lagen mit geringerem Luftdruck und tieferen Temperaturen zusätzlich höher ist, was die Diskrepanz zwischen dem Ausstoss im Zulassungsverfahren und im realen Verkehr in Höhenlagen weiter verstärkt.

Um den NO_x-Ausstoss des realen Strassenverkehrs in erhöhter Lage zu bestimmen, führte das Amt für Natur und Umwelt Graubünden (ANU) 2019 Abgasmessungen mit einem "Remote Sensing Detector" (RSD) Verfahren in Davos Wolfgang durch. Hauptziel der Untersuchung war her-

auszufinden, wie hoch die Stickstoffabgase verschiedener Fahrzeugtypen und Euronormen in erhöhter Lage sind und ob sich diese Werte von den NO_x-Werten in tieferen Lagen unterscheiden. Dafür wurden die NO_x-Emissionen in Davos Wolfgang (1560 m ü. M.) mit NO_x-Emissionen in Regensdorf (450 m ü. M.) verglichen. Die Untersuchungen beziehen sich nur auf die NO_x-Emissionen von Personen- und Lieferwagen und gelten nicht für Lastwagen und Busse. Es darf aus den Ergebnissen ebenso kein Rückschluss auf andere emittierte Luftschadstoffe wie Russ, Partikelanzahl oder CO₂ geschlossen werden.

Der vorliegende Bericht dokumentiert das Messverfahren für berührungsfreie Abgasmessungen im realen Fahrverkehr, das Datenhandling, die Messreihe von Davos 2019 sowie die wichtigsten Erkenntnisse der Messkampagne mit Fokus auf die NO_x-Emissionen.

3 Methodik

3.1 Durchführung der Messkampagne in Davos Wolfgang

Die Messkampagne in Davos Wolfgang dauerte vom 9. Juli bis 14. August 2019. Insgesamt wurden über 80'000 Fahrzeuge erfasst. Dabei wurden die Abgase, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung gemessen. Zudem wurde ein Foto der Rückseite des Fahrzeuges aufgenommen und damit das Kennzeichen des Fahrzeuges identifiziert.

Das ANU Graubünden wurde bei der Messkampagne durch das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL) in messtechnischen Fragen unterstützt. Das AWEL führt seit bald 20 Jahren jährliche RSD-Messungen in Gockhausen (ZH) sowie seit 2016 auch in Regensdorf (ZH) durch. Mit der Messreihe in Gockhausen verfügt es über eine der weltweit längsten RSD-Abgas-Messreihen, welche international anerkannt ist und zu Vergleichszwecken verwendet wird. Das AWEL ist im Besitz des ASTRA-Datensatzes von Kennzeichen und Fahrzeugtypen (Fahrzeugtyp, Alter, Abgasnormen,...) und ist vertraglich verpflichtet, die Daten nur für RSD-Auswertungen zu verwenden. Das ANU Graubünden ist nicht im Besitz dieser Informationen. Das AWEL hat die Daten der Messkampagne Davos Wolfgang statistisch ausgewertet und mit den Messungen in Regensdorf verglichen (AWEL 2019 b, c). Ausländische Fahrzeuge, Lastwagen, Busse, Motorräder und Fahrzeuge mit Wechselnummern wurden nicht in die Auswertungen einbezogen. Zusätzliche Ausschlusskriterien bezüglich Geschwindigkeit und Beschleunigung erhöhen die Qualität der Auswertungen weiter. Schliesslich gelangten die NO_x-Emissionen von 27'461 Fahrzeugen (91 % Personenwagen, 9 % Lieferwagen) in die Auswertung.

3.2 Remote Sensing Methodik (RSD)

Mit RSD-Messungen kann die Schadstoffkonzentration in der Abgaswolke vorbeifahrender Fahrzeuge berührungslos gemessen werden. Dabei werden die Konzentrationen von NO, NO₂, NH₃, CO, CO₂ und HC im Abgas der vorbeifahrenden Fahrzeuge gemessen. Unter Annahme des Treibstoffverbrauchs wird rechnerisch der Schadstoffausstoss, der für die Luftbelastung massgeblich ist, ermittelt. Zusätzlich werden neben den Schadstoffen die Geschwindigkeit und die Beschleunigung erfasst und das Kennzeichen des Fahrzeuges wird fotografiert.

Abbildung 1 zeigt den schematischen Messaufbau einer RSD-Messung. Mit einer Kamera werden die Fahrzeuge fotografiert. Zusätzlich werden die Geschwindigkeit und Beschleunigung gemessen. Ein Ultraviolett- und Infrarotlaser zündet über die Fahrbahn und wird zurück zum Spektrometer reflektiert. Die Schadstoffkonzentration wird durch die Absorption des Lichtes bei verschiedenen

Wellenlängen mit einem Spektrometer ermittelt. Im vorliegenden Projekt wurde ein AccuScan™ RSD 5000 der spanischen Firma OPUS RSE (Madrid) eingesetzt.

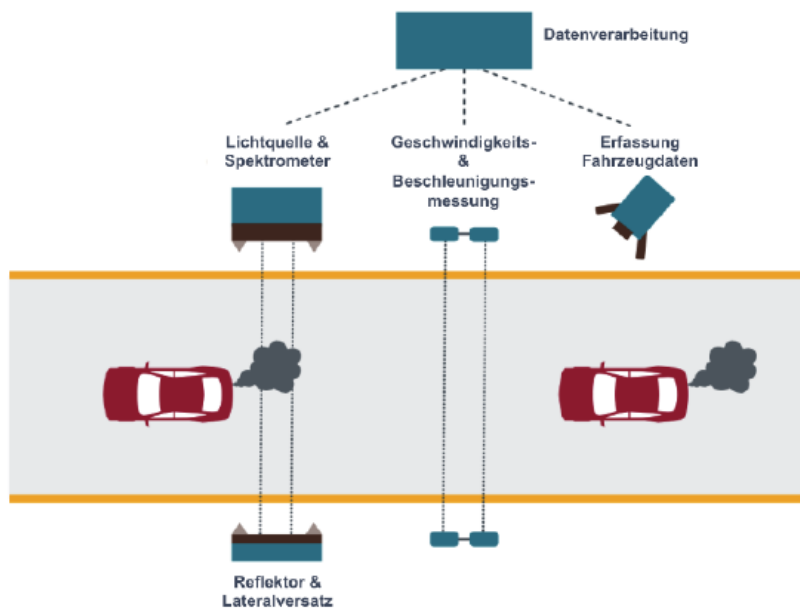


Abbildung 1: Messaufbau RSD-System (AWEL 2017)

Das RSD-Messgerät bestimmt die Konzentrationen in der Abgaswolke für CO₂, CO und HC durch IR-Absorption, für NO, NO₂ und NH₃ durch UV-Absorption. Mithilfe von zertifizierten Gasgemischen wird das RSD-System während eines Messtages mehrmals geprüft und kalibriert. Das Messgerät bestimmt nur für CO₂ die effektive Konzentration in der Abgaswolke, für alle anderen Schadstoffe wird eine Verhältniszahl zur gemessenen CO₂-Konzentration angegeben (AWEL, 2019a).



Abbildung 2: RSD-Messsystem bei Davos Wolfgang. Oben links: Lichtquelle und Spektrometer, oben rechts: Lichtquelle, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmesser, unten links: Kamera zur Erfassung von Kennzeichen (Foto der Fahrzeugrückseite und anschließende Kennzeichenerkennung), unten rechts: Übersicht mit Messfahrzeug, Lichtquelle und Reflektometer (Mittelinsel).



Abbildung 3a: Beispiele von Kameraaufnahmen während einer RSD-Messung. Das Bild zeigt das jeweils gemessene Fahrzeug. Auf dem Bild sind zudem die Schadstoff-Konzentrationen sowie Informationen zu Geschwindigkeit und Beschleunigung des Fahrzeuges ersichtlich. 1. Reihe: Personenwagen Benzin Wechselnummer (Remo Fehr, ANU), Personenwagen Benzin (Hanspeter Löttscher, ANU), 2. Reihe: Personenwagen Benzin; 3. Reihe: Dieselfahrzeuge der kantonalen Verwaltung (Personenwagen, Lieferwagen)



Abbildung 3b: Beispiele von Kameraaufnahmen während einer RSD-Messung. Das Bild zeigt jeweils das gemessene Fahrzeug. Auf dem Bild sind zudem die Schadstoff-Konzentrationen sowie Informationen zu Geschwindigkeit und Beschleunigung des Fahrzeuges ersichtlich. 1. Reihe: Personenwagen Diesel, 2. Reihe: Lieferwagen Diesel.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse zu NO_x-Emissionen zusammengefasst. NO_x-Emissionen bestehen aus direkt ausgestossenem NO und NO₂. NO_x wird unter der Annahme einer vollständigen Verbrennung berechnet. Dabei wird NO_x aus dem gemessenen NO und eines angenommenen Anteils primären NO₂ (p) folgendermassen berechnet:

$$NO_x \left(\frac{g}{kg \text{ Treibstoff}} \right) = NO (g) * \frac{46}{30 * (1 - p)}$$

Währendem der Wert p für Benzinfahrzeuge als stabil angenommen wird, unterscheidet er sich bei den Dieselfahrzeugen je nach Abgasnorm. Die Werte für p stammen aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) (AWEL, 2019b).

Seit 2016 können Messungen von NO_x inklusive NO₂ durchgeführt werden. Die in HBEFA aufgeführten Anteile des primären NO₂ korrelieren sehr gut mit den effektiv gemessenen Werten. Der Vergleich der gerechneten mit den gemessenen NO_x-Emissionen ist im Anhang ersichtlich (AWEL, 2019b).

Die Nachbearbeitung der Messungen erfolgte folgendermassen:

- Jeder Messtag wurde als zip-File an die Firma OPUS RSE übermittelt. Das zip-File enthielt die gemessenen RSD-Messwerte sowie die dazugehörigen automatisch erfassten Fahrzeugbilder des Messtages [RAW Data].
- OPUS RSE erstellte pro Messtag eine MDB-Datei, bei welcher mit der automatischen Bilderkennung die Kennzeichen den Messwerten zugeordnet wurden [ALPR Data].
- Mithilfe eines TagEditors und den Fotos mussten die Kennzeichen nachträglich manuell kontrolliert und wenn nötig angepasst werden [TAG_EDITED Data]. Diese Arbeit konnte, wenn immer möglich, im laufenden Betrieb durchgeführt werden. Die Erfahrung zeigte, dass die automatische Bilderkennung grundsätzlich gut funktionierte.
- Nach dieser manuellen Anpassung machte OPUS RSE die Endbereinigung und erstellte eine CSV-Datei mit allen Informationen der Messung [FINAL RSD Files].
- Diese finalen Daten wurden vom AWEL in die RSD-Datenbank eingelesen. In dieser Datenbank sind zudem die Euroklasse-Informationen zu den Kennzeichen enthalten. Die nachfolgenden Auswertungen (siehe Kapitel 3) erfolgten durch das AWEL.

Die Ergebnisse der RSD-Messungen werden in diesem Bericht an einigen Stellen den Emissionsgrenzwerten der Typenprüfung gegenübergestellt. Da der Grenzwert unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Treibstoffverbrauches in eine für die RSD-Messungen vergleichbare Grösse (in g/kg Treibstoff) umgerechnet wird, erfolgt der Vergleich indirekt (AWEL, 2019a).

Der Datensatz Davos Wolfgang wurde gemäss folgenden Kriterien ausgewertet und vorgängig einer Qualitätssicherung unterzogen:

- Abgasnormen ab Euro1
- Schweizer und Liechtensteiner Fahrzeuge, für welche Fahrzeugdaten des ASTRA vorliegen
- ausschliesslich Personenwagen und Lieferwagen (keine Motorräder, Quads, Busse und Lastwagen)
- ausschliesslich Benzin- und Dieselfahrzeuge
- nur Fahrzeuge ohne Wechselnummer
- Qualitätsflags aller Schadstoffe einer Messung müssen gültig sein
- $5 < \text{Geschwindigkeit (in km/h)} < 60$
- $-2 < \text{Beschleunigung (in km/h/s)} < 4$ ($1 \text{ km/h/s} = 0.278 \text{ m/s}^2$)
- $1 < \text{Vehicle Specific Power (in kW/t)} < 35$

Für die Auswertung wurden verschiedene Gruppen gebildet, um statistische Kenngrössen zu berechnen. Falls nicht anders angegeben, wurden die Gruppen nur gebildet, wenn die Stichprobenanzahl $n > 50$ betrug (AWEL, 2019b).

4 Ergebnisse RSD-Messungen in Davos Wolfgang, 2019

4.1 Standort und Messperiode

Für gute Messresultate ist die richtige Standortwahl entscheidend. Folgende Kriterien müssen erfüllt werden:

- Geschwindigkeit von ca. 50 km/h (optimalerweise zwischen 40-70 km/h)
- Einspurige Strasse oder Hauptstrasse mit Mittelinsel
- Fahrt unter Last (Steigung der Strasse beträgt ca. 4 %)
- Genügend Platz für die Messgeräte sowie das dazugehörige Messfahrzeug
- Die Verkehrssicherheit und die Sicherheit der Messtechniker muss jederzeit gewährleistet sein.
- Stromanschluss

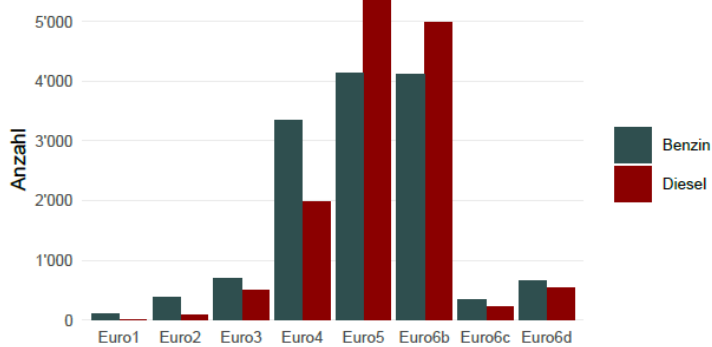
Die Standortwahl in höheren Lagen im Kanton Graubünden ist beschränkt. Wegen der regelmässigen winterlichen Schneeräumung gibt es nur ganz wenige Mittelinseln. Als optimaler Standort für die RSD-Messungen erwies sich die Hauptstrasse (Prättigauerstrasse) bei Davos Wolfgang, neben der Bushaltestelle "Hochgebirgsklinik". Die Messkampagne dauerte vom 9. Juli bis 14. August 2019.



Abbildung 4: links: Kartenausschnitt mit Messstandort (rot) (Swisstopo, 2020); rechts: Foto Messstandort (ANU, 2019)

4.2 Struktur RSD-Messdatensatz

Aus den Messdaten konnten, unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 beschriebenen Voraussetzungen, insgesamt 27'461 Fahrzeuge ausgewertet werden (91 % Personenwagen, 9 % Lieferwagen). Deren Verteilung nach Abgasnormen und Treibstofftypen ist in Abbildung 5 dargestellt. Es wurden mit 68 % am meisten Fahrzeuge der Abgasnormen Euro5 und Euro6b erfasst. Rund je die Hälfte der gemessenen Fahrzeuge hatte einen Diesel- bzw. Benzinmotor (AWEL, 2019b).



nach QS																
Jahr	vor QS	gesamt	kumuliert	Euro1	Euro2	Euro3	Euro4	Euro5a	Euro5b	Euro6b	Euro6c	Euro6d	Benzin	Diesel	Personenwagen	Lieferwagen
2019	48329	27461	27461	105	455	1194	5326	3123	6387	9099	578	1194	13791	13670	25103	2358

Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung (grafisch und tabellarisch) der erfassten Fahrzeuge nach Treibstoff und Abgasnorm, RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019b)

4.3 Messergebnisse Davos Wolfgang 2019

Die gemessenen NO_x-Emissionen von Benzinfahrzeugen in Davos Wolfgang entspricht mehrheitlich den gesetzlichen Vorschriften und ist deutlich geringer als derjenige von Dieselfahrzeugen. Dieselfahrzeuge stossen hingegen massiv mehr NO_x aus als gesetzlich zulässig. Dies gilt vor allem für Fahrzeugmodelle der Abgasnormen Euro 3, 4, 5 und 6b. Bei Dieselfahrzeugen (Personenwagen, Lieferwagen) der Abgasnorm Euro 5 entsprechen die realen NO_x-Emissionen im Mittel dem 9.9-fachen des Grenzwertes. Euro 4 und Euro 6b Dieselfahrzeuge emittieren 6.6-, bzw. 6.1-mal mehr NO_x als gesetzlich zulässig. Modernste Dieselfahrzeuge der Euro 6c/6d Norm erfüllen die gesetzlichen NO_x-Vorschriften. Allerdings gehören nur 6 % aller gemessenen Dieselfahrzeuge zu den Abgasnormen Euro 6c/6d. Während bei Benzinfahrzeugen (Personenwagen, Lieferwagen) die NO_x-Emissionen unabhängig von der Höhenlage und von Euronormen sind, stossen Dieselfahrzeuge in grösseren Höhen massiv mehr NO_x aus als in tiefen Lagen. Die NO_x-Emissionen von Dieselfahrzeugen sind in Davos (1560 m ü. M.) bei den Abgasnormen Euro 3, 4, 5 und 6b doppelt so hoch wie in Regensdorf (450 m ü. M.). Bei Dieselfahrzeugen mit der Abgasnorm Euro 6c/6d ist der Unterschied gering.

Während der Messkampagne wurden auch die NO_x-Emissionen von 156 Fahrzeugen (Personenwagen und Lieferwagen) der kantonalen Verwaltung des Kantons Graubünden gemessen. Sämtliche Aussagen über die Ergebnisse der gesamten Untersuchung sind auch für die gemessenen Fahrzeuge der kantonalen Verwaltung gültig. Dieselfahrzeuge der Abgasnormen Euro 3, 4, 5 und 6b emittieren im Vergleich zu den Grenzwerten sehr viel Stickoxid. Modernste Dieselfahrzeuge der Euro 6c/6d Norm erfüllen die gesetzlichen NO_x-Vorschriften.

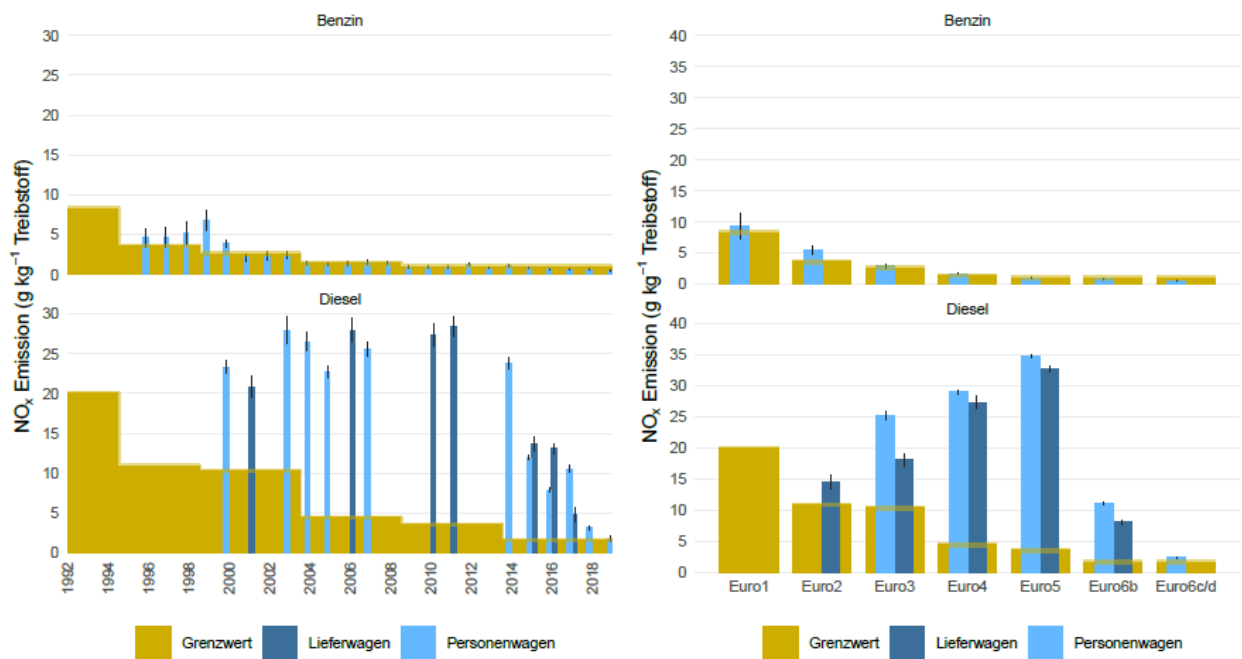


Abbildung 6: Mittlere gemessene NO_x-Emissionen und Grenzwerte gemäss Typenzulassung nach Treibstoff, Zulassungsjahr (links) und Abgasnorm (rechts), RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019b)

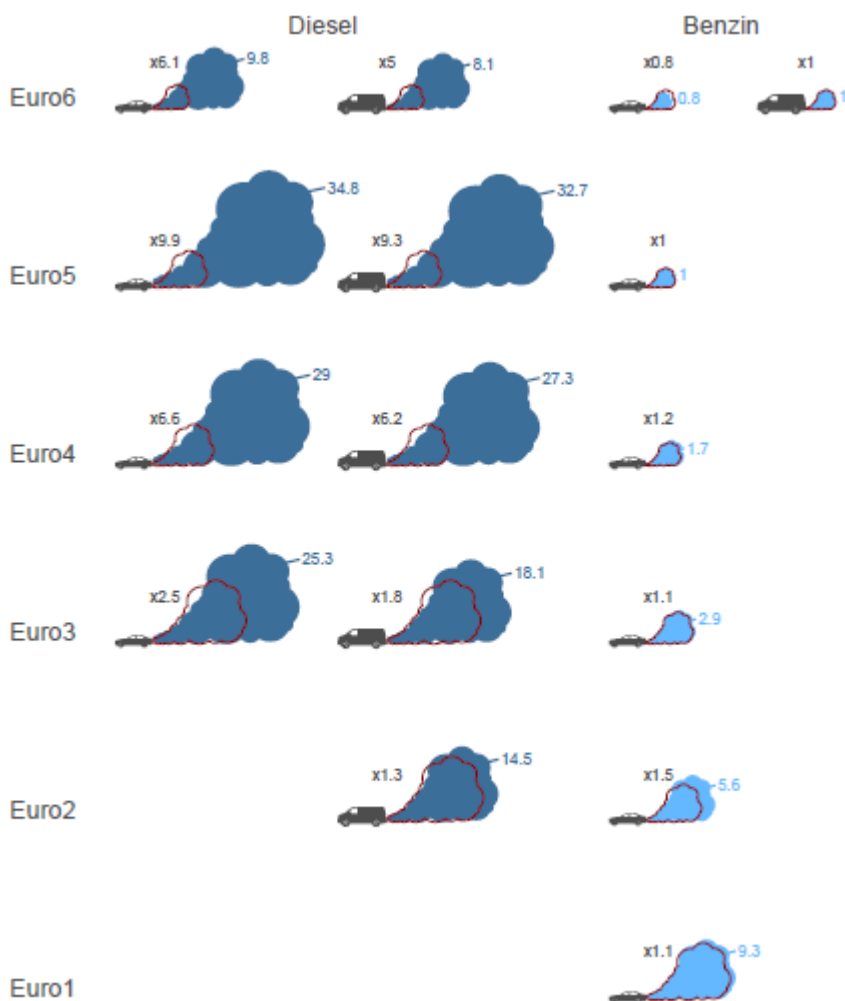


Abbildung 7: Schematische Darstellung der mittleren NO_x-Emissionen nach Treibstoff und Abgasnorm (blau ausgefüllte Wolke) und Grenzwert aus der Typenzulassung (rot umrandete Wolke); blaue Zahlen: mittlere NO_x-Emissionen (g/kg Treibstoff); graue Zahlen: NO_x-Faktor (= Emission / Grenzwert), RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019b)

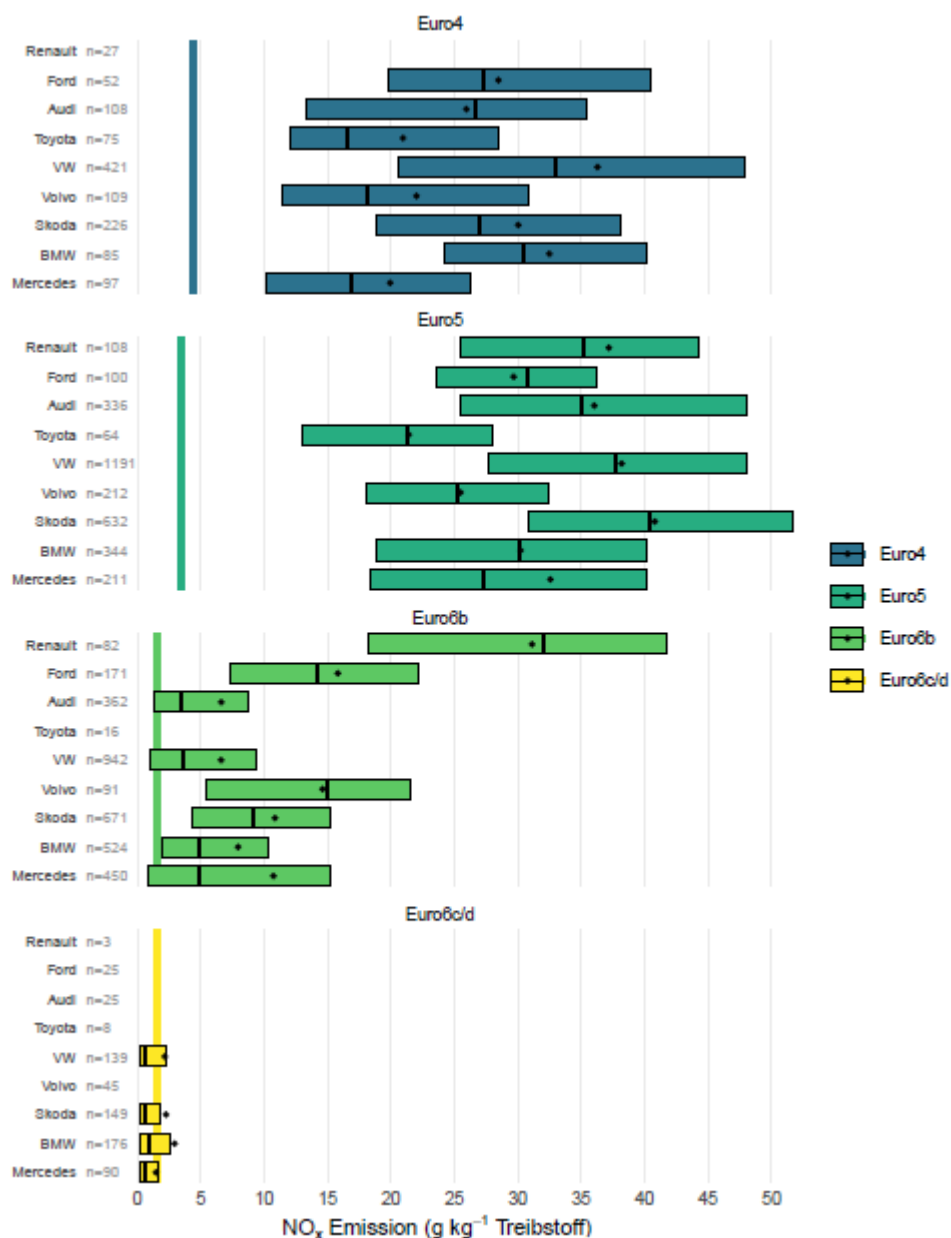


Abbildung 8: Verteilung der NO_x-Emissionen (Y-Achse) von Dieselfahrzeugen, getrennt nach Fahrzeugmarken und Abgasnormen (X-Achse), RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019b)

Unterschiedliche NO_x-Emissionen ergeben sich auch je Marke von Dieselfahrzeugen. Abbildung 8 zeigt die gemessenen NO_x-Emissionen je Fahrzeugmarke und Abgasnorm. Die Emissionen der Dieselfahrzeuge der vier erfassten Marken mit der Abgasnorm Euro 6c/6d liegen im Bereich des Grenzwertes. Bei den anderen Abgasnormen weichen die realen Messwerte aller Fahrzeugmarken von den Grenzwerten ab (AWEL, 2019b).

4.4 Vergleich der RSD-Messungen von Davos Wolfgang und Regensdorf

Die Ergebnisse der Messkampagne von Juli bis August 2019 in Davos wurden mit den Messungen von Mai bis September 2019 in Regensdorf verglichen (Messungen AWEL). An beiden Standorten wurden die Messungen mit demselben RSD-Gerätetyp durchgeführt. Die Fahr- und Umgebungsbedingungen der Messstandorte waren ähnlich. Beide Standorte hatten eine Steigung von 4.4 % und ein Tempolimit von 60 km/h. Trotz gleicher Steigung war die fahrzeugspezifische Motorlast (vehicle specific power, vsp) unterschiedlich. Dies ist auf die Beschleunigung der Fahrzeuge zurückzuführen. In Davos wurden vermehrt negative Beschleunigungen (Bremsmanöver) gemessen.

Bei der Messstelle in Davos Wolfgang befanden sich eine Bushaltestelle sowie ein Zebrastrifen zum Überqueren der Strasse. Die regelmässigen Busstopps sowie Personen, welche die Strasse überquerten, führten zu einer Abbremsung der Personenwagen. Deshalb wurden für die Auswertung nur Messungen mit positiver Beschleunigung verwendet. Der Hauptunterschied zwischen den beiden Standorten liegt in der Höhe. Davos liegt auf 1560 m ü. M., Regensdorf hingegen nur auf 455 m ü. M. Die Lufttemperatur während den Messungen war an beiden Standorten relativ ähnlich. Demzufolge verbleibt der Luftdruck bzw. die Standorthöhe als massgeblicher Unterschied in den atmosphärischen Umgebungsbedingungen (AWEL, 2019c).

Abbildung 9 zeigt den Vergleich der NO_x-Emissionen gemessen in Davos und Regensdorf. Bei Benzinfahrzeugen sind keine grossen Unterschiede zwischen den zwei Standorten zu erkennen. Bei den Dieselfahrzeugen hingegen weichen die gemessenen NO_x-Emissionen voneinander ab. In Regensdorf sind die NO_x-Emissionen allgemein geringer als in Davos. Die grössten Unterschiede sind bei den Fahrzeugen mit Abgasnormen Euro4 und Euro5 festzustellen, wobei in Davos die NO_x-Emissionen dieser Fahrzeuge im Mittel fast doppelt so hoch sind wie in Regensdorf. Bei der Abgasnorm Euro6b emittieren die Fahrzeuge in Davos im Mittel etwa ein Viertel mehr NO_x als in Regensdorf. Fahrzeuge der Abgasnormen 6c/6d stossen an beiden Standorten etwa gleich viel NO_x aus. Die Unterschiede je Fahrzeugmarke und Abgasnorm sind in Abbildung 10 dargestellt (AWEL, 2019c).

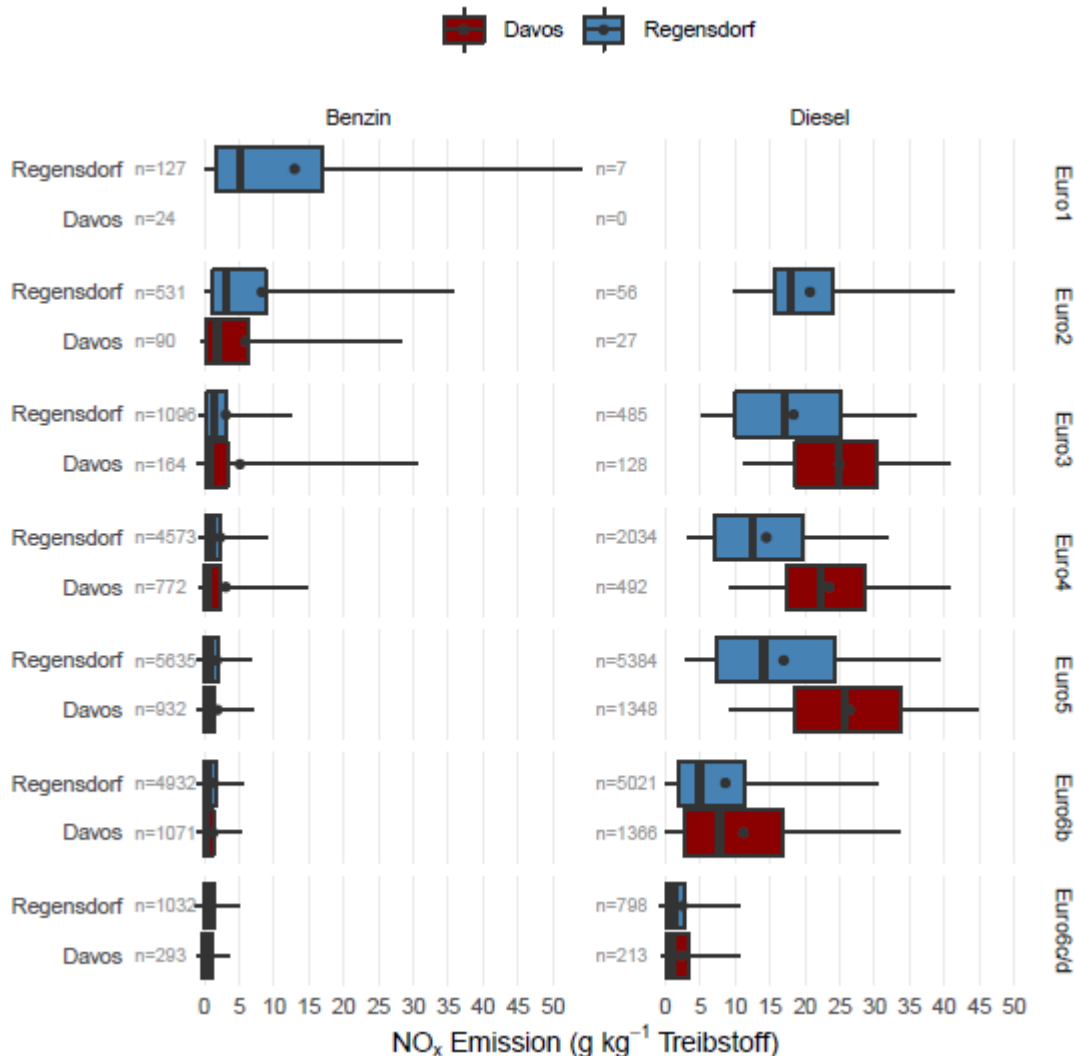


Abbildung 9: Verteilung NO_x-Emissionen in Davos Wolfgang und Regensdorf nach Treibstoff und Abgasnorm, RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019c)

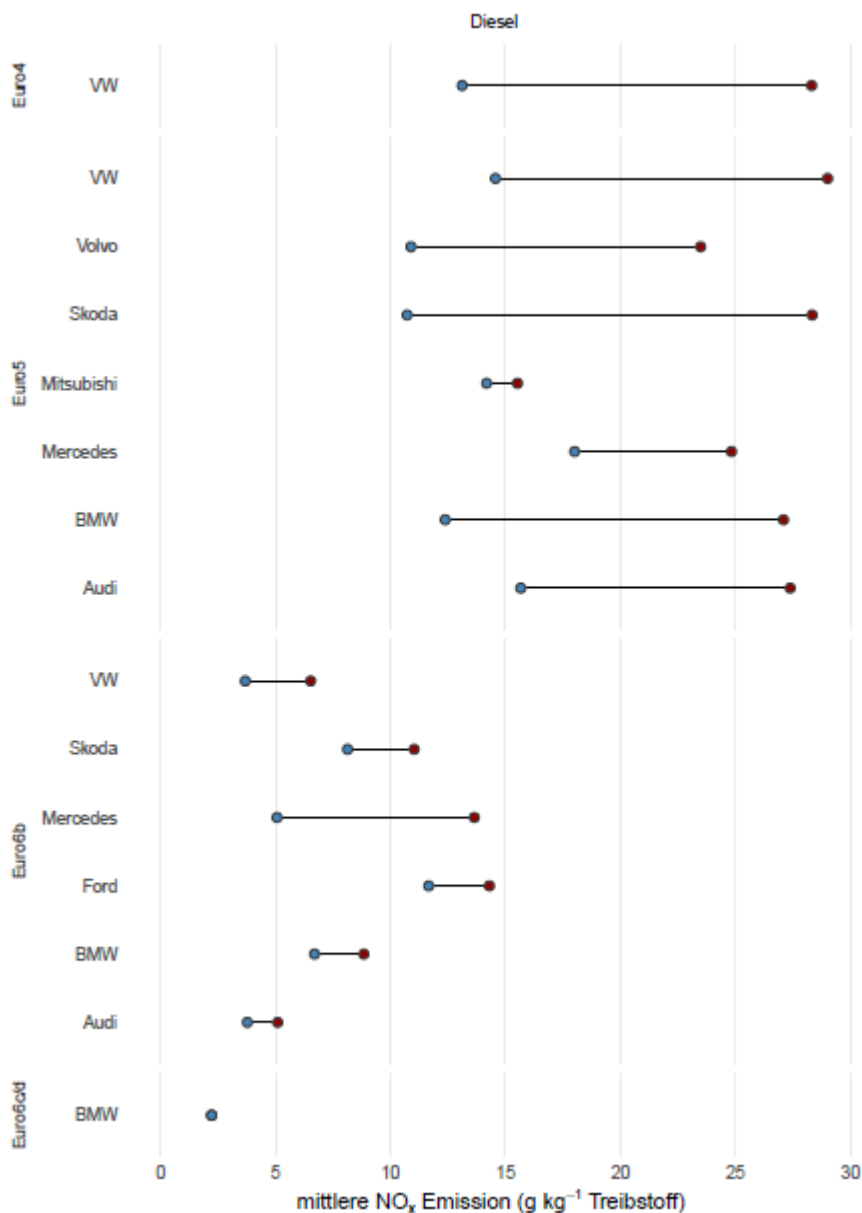


Abbildung 10: Mittlere NO_x-Emissionen von Dieselfahrzeugen in Davos Wolfgang (rote Punkte) und Regensdorf (blaue Punkte) nach Fahrzeugmarke und Abgasnorm, RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (AWEL, 2019c)

5 Fahrzeuge der kantonalen Verwaltung von Graubünden

Die NO_x-Emissionen der erfassten Fahrzeuge der kantonalen Verwaltung Graubünden sind in Abbildung 11 dargestellt. Der NO_x-Ausstoss der Benzinfahrzeuge beträgt im Mittel 0.7 g/kg Benzin und entspricht somit den neusten gesetzlichen Vorschriften. Bei den Dieselfahrzeugen hingegen zeigt sich ein anderes Bild. Die Fahrzeugflotte der kantonalen Verwaltung besteht mehrheitlich aus Dieselfahrzeugen mit Abgasnormen Euro4 und Euro5, welche die NO_x-Grenzwerte nicht einhalten.

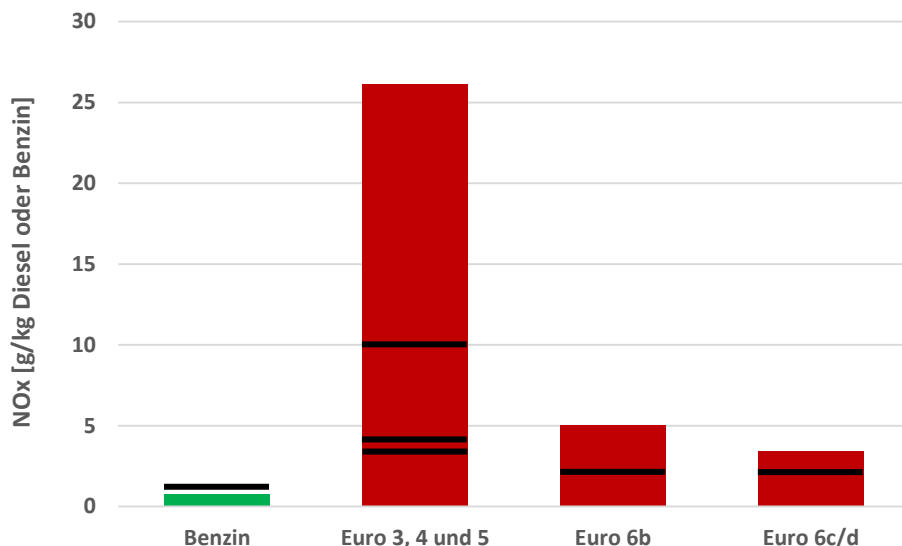


Abbildung 11: Links (eine Säule): Mittlere NOx-Emissionen der Benzinfahrzeuge der kantonalen Verwaltung; rechts (drei Säulen): NOx-Emissionen der Dieselfahrzeuge der kantonalen Verwaltung getrennt nach Euronormen, schwarze Linien: NOx-Emissionsgrenzwerte pro Euronorm für Benzin- und Dieselfahrzeuge, RSD-Messungen Davos Wolfgang 2019 (ANU, 2020)

6 Alpenquerender Güterverkehr

Die Firma inNET Monitoring AG führte 2019 im Rahmen eines Pilotversuchs Messungen von Emissionen bei schweren Nutzfahrzeugen (SNF) mittels RSD-System (Remote Sensing Detector) durch (BAFU, 2020). Der grösste Teil der gemessenen SNF gehörte der Euroklasse 6 an. Der entsprechende Bericht wird 2021 vom BAFU veröffentlicht.

7 Schlussfolgerungen

Die gängigsten Dieselfahrzeuge der Euroklassen 3 bis 6b übersteigen den jeweiligen Emissionsgrenzwert in Davos (1560 m ü. M.) massiv und die NOx-Emissionen sind doppelt so hoch wie in Regensdorf (450 m ü. M.) (Messungen AWEL, 2019). Dieser um Faktoren erhöhte Ausstoss lässt sich nur schwer anhand von physikalischen Gesetzmässigkeiten wie Luftdruckdifferenz oder Temperaturdifferenz erklären, zumal die Temperatur während der Messungen an beiden Standorten annähernd gleich war. Es muss andere Gründe geben, die beispielsweise die Funktion der Abgasnachbehandlungssysteme betreffen, was vermutet wurde und hiermit auch aufgezeigt werden konnte. Bei Dieselfahrzeugen der Abgasnormen Euro 6c/6d ist die Diskrepanz zwischen dem Grenzwert und den gemessenen, realen NOx-Emissionen geringer. Zudem liegen die NOx-Emissionen dieser Fahrzeuge in Davos auf ähnlichem Niveau wie in Regensdorf. Die gemessenen NOx-Emissionen der Benzinfahrzeuge entsprechen mehrheitlich den Grenzwerten der jeweiligen Typenzulassung.

Die Dieselfahrzeuge der kantonalen Verwaltung der Euronormen 3 bis 6c/6d halten die Grenzwerte für NOx ebenfalls nicht ein. Deshalb empfiehlt das ANU aus lufthygienischer Sicht, rasch möglichst oder bei einer Neubeschaffung nur noch Elektrofahrzeuge, Benzinfahrzeuge oder Dieselfahrzeuge der Abgasnormen Euro 6c/6d zu beschaffen. Der Kanton ist bereits heute im Besitz solcher Fahrzeuge, welche – wie in Davos Wolfgang gemessen – entsprechend wenig NOx ausstossen. Durch einen Umstieg auf die empfohlenen Fahrzeugtypen kann der Kanton eine Vorbildfunktion in Bezug auf Fahrzeugbeschaffung und Luftreinhaltung wahrnehmen.

8 Literaturverzeichnis und Begriffe

AWEL, 2019a. Langjährige Abgasmessungen im realen Fahrbetrieb mittels Remote Sensing

AWEL, 2019b. Abgasmessungen im realen Fahrbetrieb mittels Remote Sensing in Davos

AWEL, 2019c. Remote Sensing reale NO_x Emissionen: Vergleich Regensdorf Davos 2019

AWEL, 2017. [Abgasmessungen RSD](#) (Webseite AWEL)

BAFU, 2020. Abgasmessungen von Lastwagen mittels Remote Sensing in Erstfeld (Pilotprojekt MfM-U)

Weitere Links

https://awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/luft_klima_elektrosmog/verkehr/rsd.html

<https://www.opusrse.com/projects/r-d/>

Begriffe

ANU (Amt für Natur und Umwelt, Kanton Graubünden)

ASTRA (Bundesamt für Strassen)

AWEL (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich)

BAFU (Bundesamt für Umwelt)

RSD (Remote Sensor Detection)

SNF (Schwere Nutzfahrzeuge)