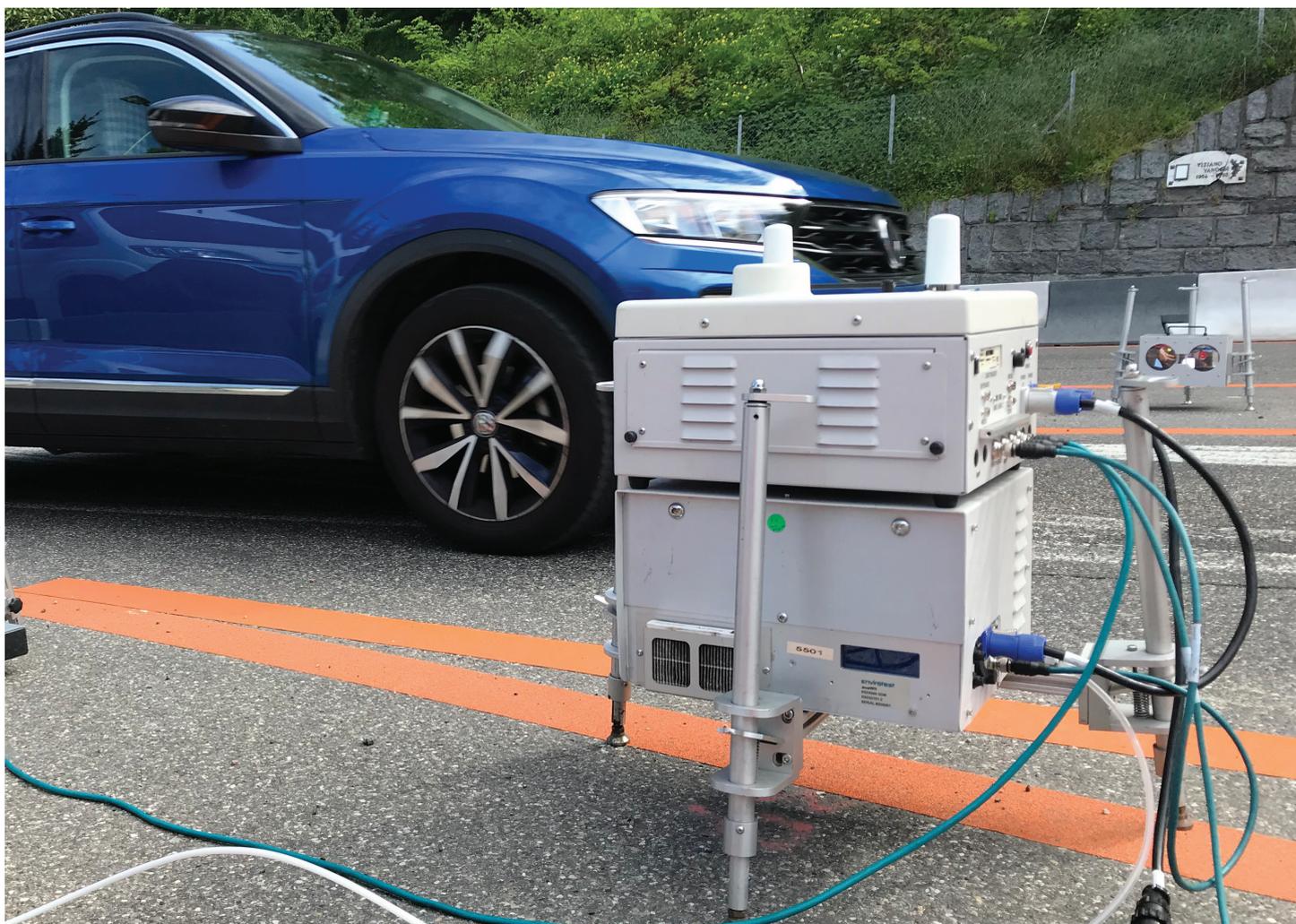


ABGASMESSUNG IM FLIESSENDEN VERKEHR

Laser-gestützte Messeinrichtungen entlang von Strassen haben das Potenzial, den Abgas-Ausstoss von jedem einzelnen Fahrzeug im fließenden Verkehr zuverlässig zu bestimmen. Dadurch können Emissionssünder ermittelt und Emissionsprofile für Fahrzeugklassen und -modelle erstellt werden. So das Fazit eines international vernetzten Forschungsprojekts der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa in Dübendorf.



Das OPUS-Messsystem während der Projekttestphase in der Schweiz. Illustration: Empa/InNET Monitoring AG, 6460 Altdorf

Die Abgasemissionen des Strassenverkehrs sind eine globale Herausforderung. So ist es nur folgerichtig, dass sich unter anderem auch die Internationale Energieagentur (IEA) diesem Thema widmet. Die IEA unterhält mehrere Dutzend Forschungsprogramme, sogenannte Technology Collaboration Programmes, kurz TCP. Eines davon ist das TCP 'Advanced Motor Fuels', in welchem das BFE Mitglied im Exekutivausschuss ist und in dem sich Expertinnen und Experten aus 14 Staaten mit einer Reihe von Fragestellungen rund um nachhaltigen Transport befassen.

Eine Forschungsgruppe (Task 61) geht der Frage nach, ob sich Abgasemissionen von Personen- und Lastwagen mit Messstationen entlang der Strassen zuverlässig erheben lassen. Die dafür eingesetzte Messtechnik heisst 'Remote Emission Sensing' (RES). Frei übersetzt: 'kontaktlose Fern-Abgasmessung'. Ein Forscherteam der Empa in Dübendorf hat sich im Rahmen des Forschungsprojekts 'ReMOVES', das vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) finanziert wird, mit RES befasst. Das Bundesamt für Energie (BFE) hat das Projekt mit unterstützt und die Einbindung in den internationalen IEA-Kontext ermöglicht.

Viele Fahrzeuge in kurzer Zeit erfasst

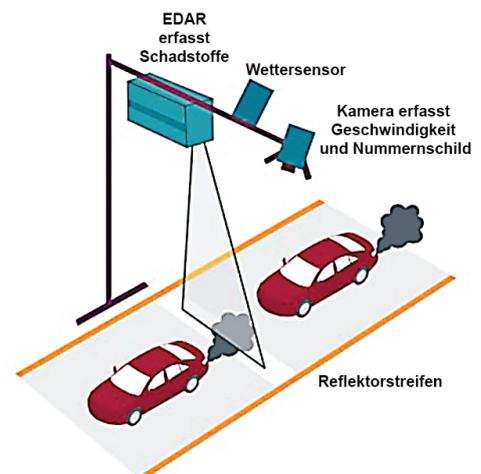
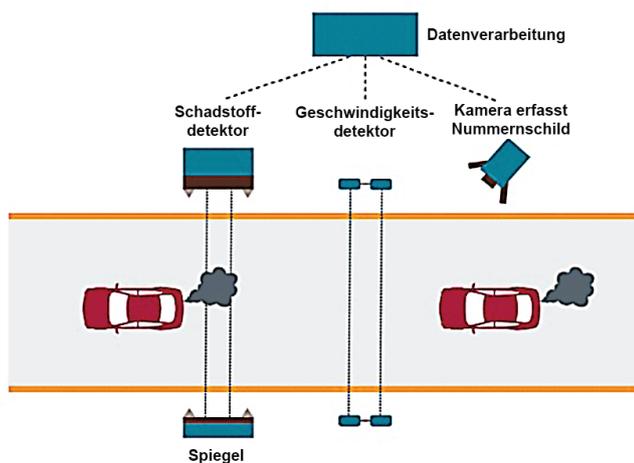
Abgas-Messungen mit RES-Technologie wurden in den letzten Jahren im Rahmen von Forschungsprogrammen beispielsweise im Kanton Zürich, vereinzelt aber auch in Städten und Regionen weltweit durchgeführt. Sie sind zu unterscheiden von den Prüfstandsmessungen, die Fahrzeuge vor einer Neuzulassung durchlaufen müssen. Während auf Prüfständen

der Abgasausstoss für verschiedene Fahrsituationen ermittelt wird, bieten RES-Messungen nur eine Momentaufnahme. Sie haben aber andere Vorteile, wie Empa-Wissenschaftler Panayotis Dimopoulos Eggenschwiler sagt: «RES-Abgasmessungen im fließenden Verkehr erfassen in kurzer Zeit sehr viele Fahrzeuge. Damit lassen sich potenzielle Emissionsünder ermitteln, und man kann Emissionsinventare erstellen, die aufzeigen, welche Fahrzeuge wie viele Schadstoffe ausstossen. Dank der Vielzahl der erfassten Fahrzeuge lassen sich sogar Emissionscharakteristika bestimmter Antriebsarten, Hersteller und eventuell Fahrzeugmodelle erstellen sowie Alterungseffekte der Katalysatoren untersuchen.» RES-Systeme eignen sich zur Messung der Emission von einzelnen Fahrzeugen und können nicht die Schadstoffbelastung der Umgebungsluft ermitteln. Zu dem Zweck werden in vielen Städten Immissionsmessungen mit separaten Messstationen durchgeführt.

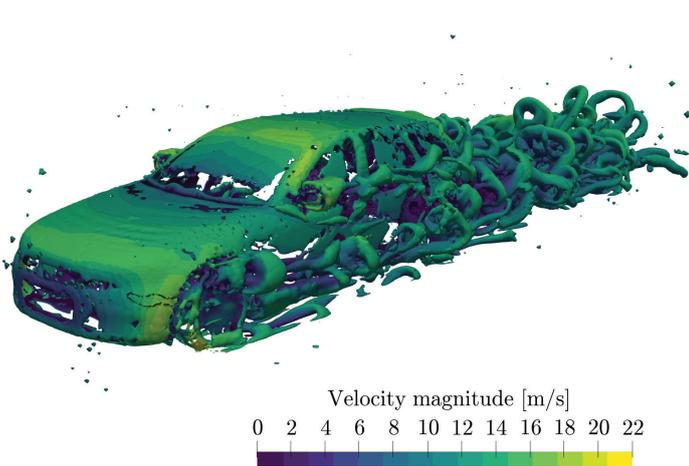
Laser erkennt Menge und Art des Schadstoffs

Heute sind zwei RES-Messsysteme im Einsatz (siehe unten): Bei OPUS wird ein Laserstrahl quer über die Strasse geschickt, dort reflektiert und am Ausgangsort wieder aufgefangen und vermessen. Beim EDAR-System befindet sich die Laserlichtquelle über der Fahrbahn, und der aufgefächerte Laserstrahl wird von einem auf der Fahrbahn angebrachten Reflektorstreifen zurückgeworfen.

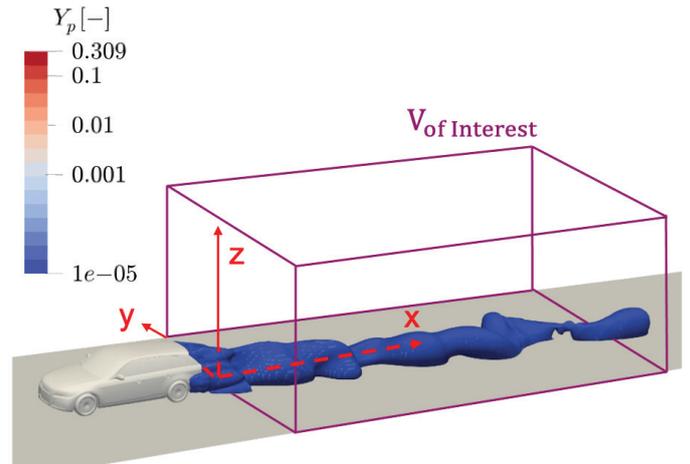
Menge und Zusammensetzung der Abgase werden anschliessend mit Absorptionsspektroskopie ermittelt: Je stärker der Laserstrahl durch die Abgase geschwächt wurde,



Im Bereich RES sind zwei Haupttechnologien auf dem Markt: Bei System 'OPUS RSD 5500' (links) wird ein Laserstrahl quer über die Fahrbahn geschickt, bei 'EDAR' (rechts) befindet sich die Strahlenquelle über der Fahrbahn. Das erste System misst die Abgaskonzentration in einer Dimension, während letzteres eine zweidimensionale Messung ermöglicht. Illustration: Jens Borken-Kleefeld, Tim Dallmann, DOI: 10.1021/es00055a001, 2018, ICCT/bearbeitet B. Vogel



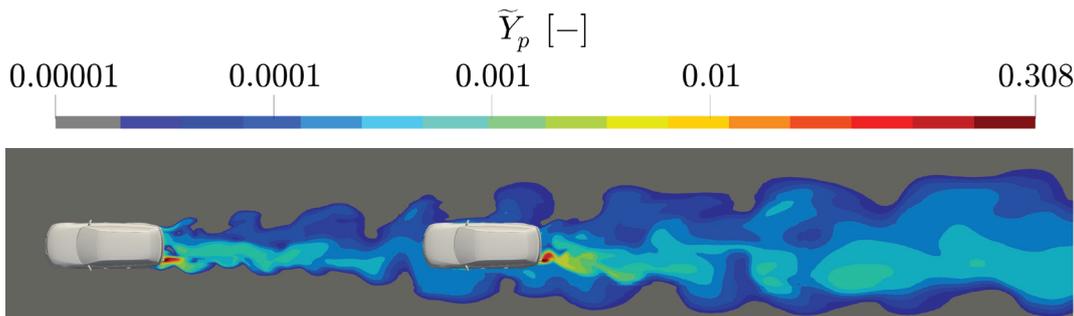
Simulation der Luftströmungen (nicht der Abgase!) eines fahrenden Autos. Die Empa-Forscher nutzen für die Simulation mathematische Gleichungen zur Beschreibung instationärer turbulenter Strömungen (instationäre Reynolds-Gleichungen/URANS). Diese Gleichungen bilden die Realität zwar vereinfacht ab, sind aber mit einem vertretbaren Rechenaufwand lösbar. Illustration: Empa



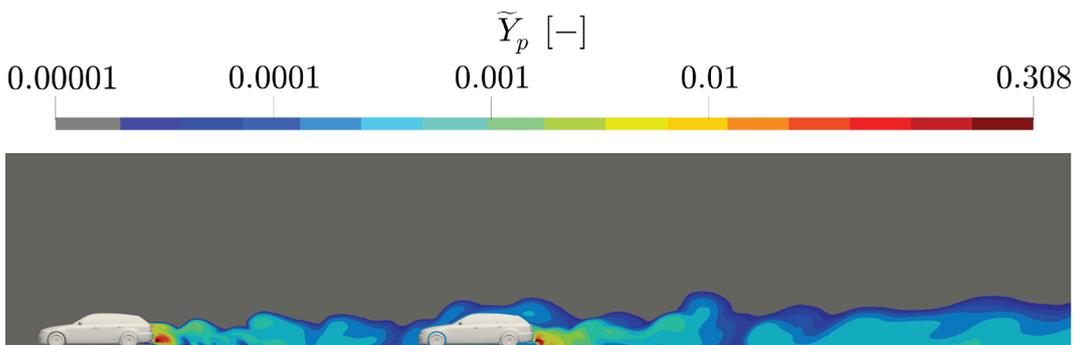
Um den Schadstoffausstoß eines Fahrzeugs zu erfassen, nutzen die Forschenden ein dreidimensionales Koordinatensystem. Der Abgasstrom wird beschrieben, indem für jeden Punkt im violett markierten Volumen eine Abgaskonzentration berechnet wird. Dieselmessungen können mit RES noch nicht zuverlässig erfasst werden. Illustration: Empa

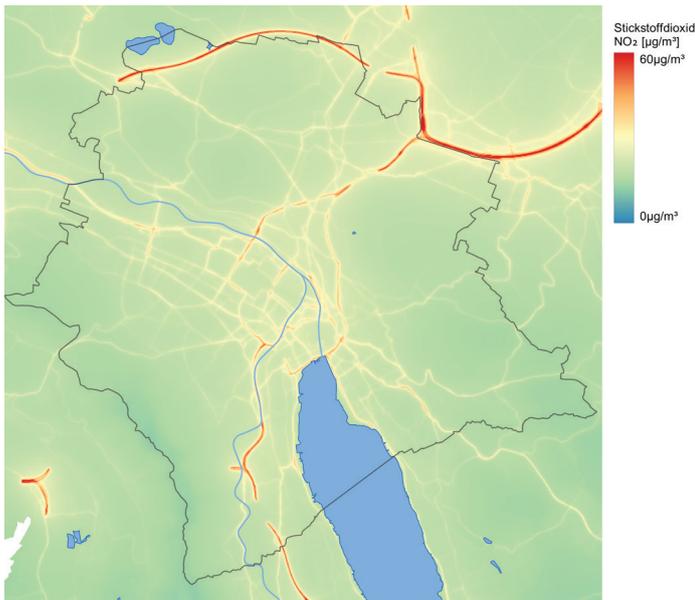
desto höher deren Konzentration. Da verschiedene Schadstoffe unterschiedliche Wellenlängen absorbieren, kann der Laser verschiedene Abgase unterscheiden (Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxid/CO, Kohlendioxid/CO₂, Stickoxide/NO_x). RES-Messungen erfassen neben den Emissionen auch Geschwindigkeit und Beschleunigung der Fahrzeuge – sowie deren Kennzeichen. Damit lassen sich die technischen Daten der Fahrzeuge (wie Emissionsklasse, Antriebsart, Fahrzeugart und -alter) abfragen und zu den Emissionsmesswerten in Beziehung setzen.

RES-Messungen sind bislang nicht zertifiziert, und die Aussagekraft der gewonnenen Daten ist umstritten. Vor diesem Hintergrund haben Empa-Wissenschaftler in ihrem Projekt die RES-Messungen vertieft untersucht und mit anderen Messmethoden (Prüfstand; portable Emissionsmessgeräte/PEMS) verglichen. Um die Qualität der Messungen beurteilen zu können, erstellten sie numerische Simulationen der Verteilung der Abgaskomponenten in der Fahrzeugnachlaufströmung. Auf diese Weise lässt sich das Verhalten der Abgasströmung realitätsnah beschreiben – und zugleich



Abgasverteilung von zwei Autos, die im Abstand von 10 m mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h fahren. Die obere Abbildung zeigt die Abgaskonzentration auf Höhe des Auspuffs (30 cm über Strasse), die untere Abbildung in der Schnittebene, die durch den Auspuff geht. Illustration: Empa





Die Stadt Zürich erfasst mit ihrem Messnetz ständig die Umweltbelastung mit Luftschadstoffen. Die Karte zeigt die modellierte Stickstoffdioxidbelastung (NO₂) für das Jahr 2020. Die NO₂-Belastung ist entlang von stark befahrenen Strassen sichtbar erhöht. Solche Immissionsmessungen hängen nicht allein vom Schadstoffausstoss der Fahrzeuge ab, sondern beispielsweise auch vom Wetter. Davon sind Emissionsmessungen wie 'Remote Emission Sensing' (RES) zu unterscheiden, die die Herkunft von Luftschadstoffen direkt ermitteln. Illustration: Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft der Stadt Zürich

überprüfen, ob die Messungen mit Remote Emission Sensing korrekt sind.

Verlässliche Methode, aber...

Die Empa-Forscher stellen der RES-Messtechnologie in ihrem Projekt-Schlussbericht grundsätzlich ein gutes Zeugnis aus: «Die umfangreichen Forschungsarbeiten und Messungen haben gezeigt, dass RES eine verlässliche Methode ist, um die realen Emissionen von Fahrzeugen im Strassenverkehr zu ermitteln.» Allerdings eignet sich die Messmethode nicht, um die Emissionen von einzelnen Fahrzeugen verlässlich zu bestimmen. Beschleunigt (oder bremst) zum Beispiel ein Fahrzeug im Moment der Messung stark, ist die Messung für das Fahrzeug nicht repräsentativ. Ihre Stärke hat RES dort, wo die Abgase einer Vielzahl von Fahrzeugen bestimmt werden sollen. Dabei gilt eine wichtige Einschränkung: Bei Lastwagen – so das Fazit der Empa-Forscher – bestehen erhebliche Zweifel an der Zuverlässigkeit der RES-Messungen (siehe unten im Text).

Dank ihrer Simulationen gelangen die Empa-Forscher unter anderem zu folgenden Erkenntnissen:

- Abgase können mittels RES in den ersten 1 bis 2 m hinter dem Auspuff gut detektiert werden. Mit wachsendem Abstand verdünnt sich dann die Abgaskonzentration schnell. 1,5 bis 3 m stromabwärts ist kein signifikanter Anteil vom Abgas in der Luftströmung mehr messbar. Das ist der Grund, warum heutige RES-Messungen für Lastwagen vermutlich ungeeignet sind: Hier befinden sich Motor und Auspuff oft im vorderen Teil des Fahrzeugs. Damit ist die Distanz vom Auspuff bis zum Messpunkt hinter dem Fahrzeug zu gross, um verlässliche Ergebnisse zu erzielen.
- Fahren mehrere Fahrzeuge hintereinander, misst RES keine höhere Abgaskonzentration als bei einem Fahrzeug. Dieser Befund bestätigt die Wirksamkeit von RES, denn mit dem System sollen immer nur die Emissionen jedes einzelnen Fahrzeugs erfasst werden.
- Die Simulationen der Empa-Forscher zeigen, dass die Kernabgaswolke mit steigender Fahrzeuggeschwindigkeit eine kompakte Form annimmt (aufgrund des Unterdrucks am Fahrzeugheck). Bei Geschwindigkeiten von über 120 km/h werden RES-Messungen unzuverlässig.
- Seitenwinde beeinträchtigen die RES-Messung nicht, weil die seitliche Ablenkung des Abgasstroms am Ort der Messung noch minimal ist.

An den Verbrennungsmotor geknüpft

Die Ergebnisse der Forschung in der Schweiz und in weiteren Ländern helfen dabei, RES weiter zu verbessern. Welche Rolle die Messtechnik in Zukunft spielen wird, hängt wesent-



Das EDAR-Messsystem während der Projekttestphase in der Schweiz. Illustration: Empa/InNET Monitoring AG, 6460 Altdorf

lich von der Weiterentwicklung der Fahrzeugantriebe ab, wie Empa-Forscher Dimopoulos Eggenschwiler festhält: «Solange auf unseren Strassen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren unterwegs sind, bietet RES eine gute Lösung zur Überwachung der Schadstoffemissionen. Für die Elektromobilität mit ihren emissionsfreien Antrieben ist die Methode hingegen bedeutungslos.»

- Mehr **Informationen** zur Erforschung von 'Remote Emission Sensing' im Rahmen des Technology Collaboration Programmes 'Advanced Motor Fuels' der Internationalen Energieagentur finden Sie unter:
https://iea-amf.org/content/projects/map_projects/61
- **Schlussbericht** zum Forschungsprojekt 'Erfassung und Zuordnung von Emissionsdaten im realen Strassenverkehr mittels Remote Emission Sensing' unter:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=47374>
- **Auskünfte** zu dem Forschungsprojekt erteilt Stephan Renz (info@renzconsulting.ch), externer Leiter des BFE-Forschungsprogramms Verbrennungsbasierte Energiesysteme.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Verbrennung unter www.bfe.admin.ch/ec-verbrennung.