



# ZEDU-1: Mobilität ohne Feinstaubemissionen aus Brems- und Reifenabrieb

## Bremsabriebsemissionen eines batterieelektrischen Fahrzeugs - (Mess-)Konzepte und Ergebnisse -

F. Philipps, L. Bonndorf, S. Reiland



## Kurzvorstellung:



**Franz Philipps**  
Teamleiter System und Fahrzeugvalidierung  
DLR – FK / FEK  
Stuttgart  
[franz.philipps@dlr.de](mailto:franz.philipps@dlr.de)

## Werdegang:

- Studium der Physik an der Universität Karlsruhe
- Im DLR seit 1998

## Zuständigkeitsbereich:

- Teamleiter & Personalverantwortung
- Projektleiter
- Großanlagenverantwortlicher



# Agenda

1

## Übersicht

DLR & FK  
Problemstellung  
Motivation

2

## Lösungsansatz

Projekt  
Versuchsträger  
Messkonzept

3

## Messergebnisse Bremse

Komponentenprüfstand  
Referenzfahrzeug

- Hartmetallbeschichtung
- Rekuperation

Demonstrator

- Lamellenbremse

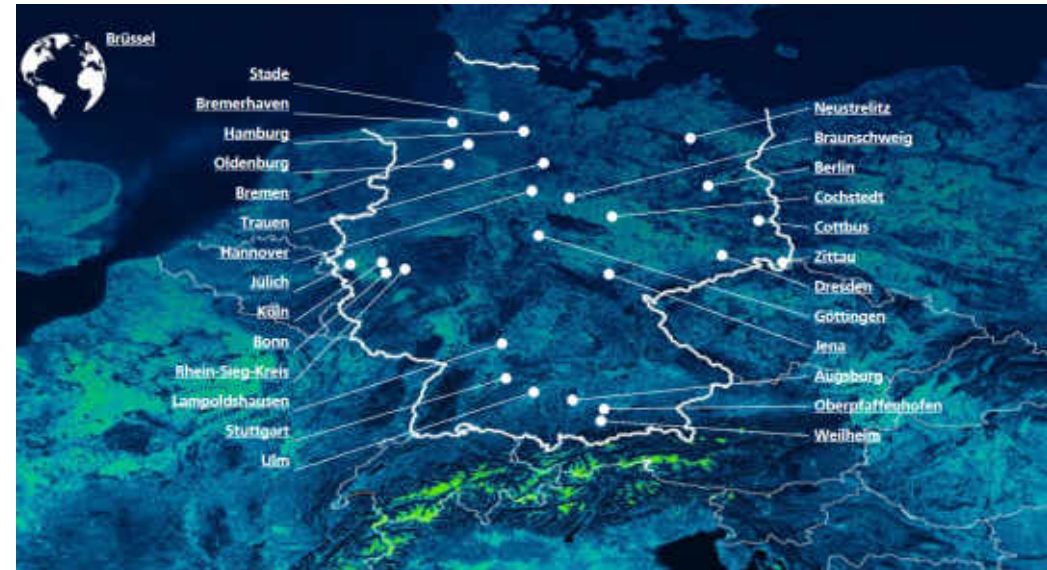
4

## Zusammenfassung



# Das DLR im Überblick

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Ca. 10.000 Mitarbeiter arbeiten in Forschungsinstituten und Einrichtungen an 30 Standorten (D).



<https://www.dlr.de/DE/organisation-dlr/medien-und-dokumente/fakten/zahlen-und-fakten.html>



Folie 4 | F. Philipps | ZEDU-1 | 31 August 2022

- Luftfahrt und Raumfahrt
- **Energie und Verkehr**
- Digitalisierung und Sicherheit
- Planung und Umsetzung der deutsche Raumfahrtaktivitäten
- Projektträger zur Forschungsförderung



Folie 4 | F. Philipps | ZEDU-1 | 07 März 2023

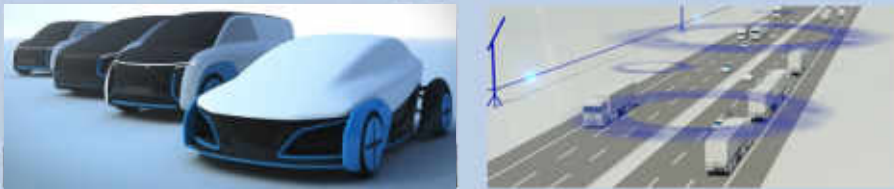


# DLR – Übergeordnete Ziele und Strategien: Verkehr

Umweltschutz | Mobilitätssicherung | Transformationsmanagement

## Straßenverkehr

Fahrzeuge, Verkehrsmanagement, Infrastruktur



## Schienerverkehr

Fahrzeuge, Verkehrsmanagement, Infrastruktur



## Verkehrssystem

Verkehrsentwicklung und -wirkungen  
Urbane Mobilität und Stadtentwicklung  
Intermodale Verkehrsknoten



Technologietrends:

Digitalisierung, Automation, Künstliche Intelligenz, Smart Data, Sektorenkopplung Energie & Verkehr



We move innovation –  
since 2001

**130**  
Mitarbeiter

**20 Mio.€**  
Budget / Jahr

**40%**  
Industrie-Partnerschaft

Institut für Fahrzeugkonzepte

Mobilität für morgen

# Institut für Fahrzeugkonzepte

## Was machen wir:

- Vernetzte Mobilität von Autos, Züge und LKWs für morgen

## Wie machen's wir:

- nachhaltig
- wirtschaftlich
- nutzerorientiert
- sicher
- umweltfreundlich
- multidisziplinär
- international ausgerichtet

## Innovationsfelder



Quelle: Magazin PraktischArzt (03/2019)

# Lebenszeitverkürzung durch Feinstaub?



# LUFTREINHALTUNG

The image is a composite background. On the left, a man in a purple shirt carries a young child in a green shirt on his shoulders. They are standing in a field of tall, golden-brown grass. In the background, a road is filled with a line of cars, including a white SUV in the foreground. To the right of the road, a factory or industrial building is visible, with a large plume of dark smoke rising into the sky. The overall lighting is warm and golden, suggesting a sunset or sunrise.

# Problemstellung: Umweltbelastung, Mikroplastik & Luftreinheit

## Themen mobilitätsbedingter Umweltbelastung:

- Klimaerwärmung (CO<sub>2</sub>, ...)
- Gesundheit (NO<sub>x</sub>, Feinstaub, Mikroplastik,...)

## Emissionsquellen:

- Verbrennung (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ...)
- Abriebe (Feinstaub, Mikroplastik)

## WHO:

- Luftverschmutzung größte Bedrohung für die menschliche Gesundheit († 7Mil. Menschen/a)
- 75% alle EU-Bewohner in Großstädten resp.
- 90% der Weltbevölkerung zur hoher Feinstaubbelastung ausgesetzt.

## UBA:

- Mikroplastik: 26% aus Reifenabriebe (110 t/a; 1,23 kg/a\*Kopf)
- Feinstaub: 32% aus Bremsabriebe,  
90 % davon Ultrafeinstaub (5.500-8.000 t/a)

## EU:

Luftqualitätsrichtlinie: Zum Schutz der menschlichen Gesundheit sind ab dem 1 Januar **2030** europaweit Jahres-Grenzwerte einzuhalten:

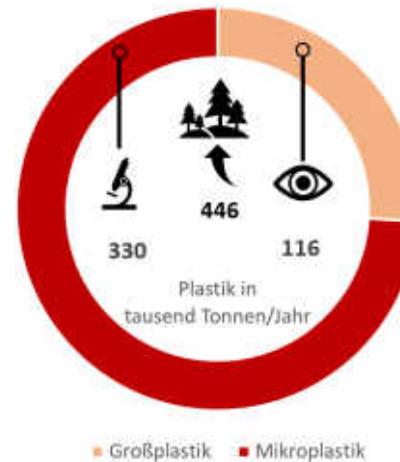
- Für die Feinstaubfraktion PM<sub>2,5</sub>: 10 µg/m<sup>3</sup> (Red. um Fakt. 2,5)
- Für die Feinstaubfraktion PM<sub>10</sub>: 20 µg/m<sup>3</sup> (Red. um Fakt. 2)
- Erreichung einer **Nullverschmutzung** der Luft bis spätestens **2050**

## Euro 7:

- ab 2025 werden Grenzwerte für Abriebe eingeführt
- ab 2030 keine Verbrenner

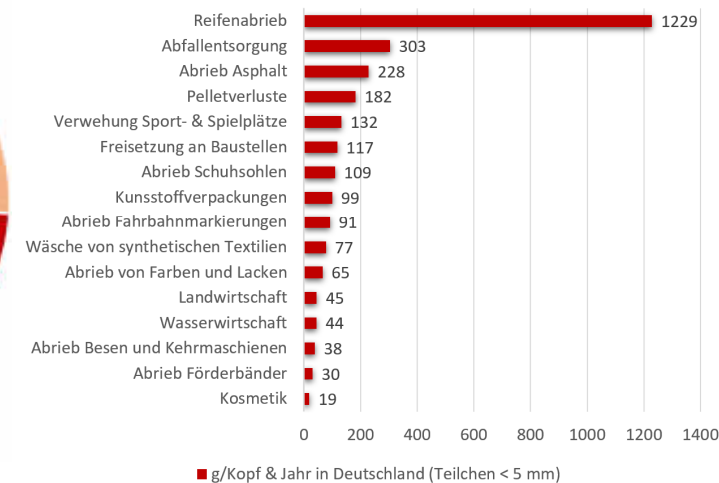


## Plastikfreisetzung in Deutschland



Erstellt aus Daten: Fraunhofer 2018

## Die größten Mikroplastikquellen in Deutschland



	WHO 2005	WHO 2021	EU 2008	EU 2030
NO <sub>2</sub>	40 µg/m <sup>3</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>
Pm <sub>2,5</sub>	10 µg/m <sup>3</sup>	5 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>
Pm <sub>10</sub>	20 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>



# Euro 7 (Stand September 2022)

- Keine Zulassung für Verbrenner ab 2035 (geplant)
- Legislativvorschlag 2022, Einführung 1.07.2025 (geplant)
- Gilt für:
  - PKW's und leichte Nutzfahrzeuge ab Mitte 2025
  - Lkw und Busse ab Mitte 2027
- Eine Norm für alle (Kein Unterschied zwischen Diesel-/Benziner-/Elektrofahrzeugen )
- PM- und PN-Werte auch für Ottomotoren mit Saugrohreinspritzung
- **Gesamtes Größenspektrum von Ultrafeinstaub soll erfasst werden (auch > 23 µm)**
- **Grenzwerte für Emissionen von Bremsen und Reifen.**
- Brems- und Reifenabrieb nicht in Euro 7 Norm sondern in separaten Regelungen für Reifen und Fahrzeugkomponenten (unterschiedliche Angaben je nach Quelle)
- Typ-1 Prüfung künftig bei Prüfstands Temperaturen von 10°C statt bei 23°C
- Konformitätsfaktor 1,0 bei Real-Driving-Emission (RDE-)Tests (akt. 1,4)
- Kraftstoffverbrauchsmessung bei RDE
- Orientierung an NCAP
- Batterie Lebensdauer (5 a C ≥ 80%; 8 a C ≥ 70%)
- Verschärfungen RDE-Werte (z.B. auch Einhaltung der Grenzwerte mit Dachbox oder Anhänger)

## Derivate:

- Euro 7+: 10% weniger Emissionen
- Euro 7A: mit Anpassung des Abgasreinigungssystem
- Euro 7G: für Hybridfahrzeuge

## PMP-Gruppe

### Definition:

- Komponentenprüfstandsaufbau
- Testverfahren
- Testzyklen (z.B. WLTC Brake Cycle)
- Reproduzierbare Bedingungen
- Temperatur und Einbettung
- .....

=> Vergleich Bremsen

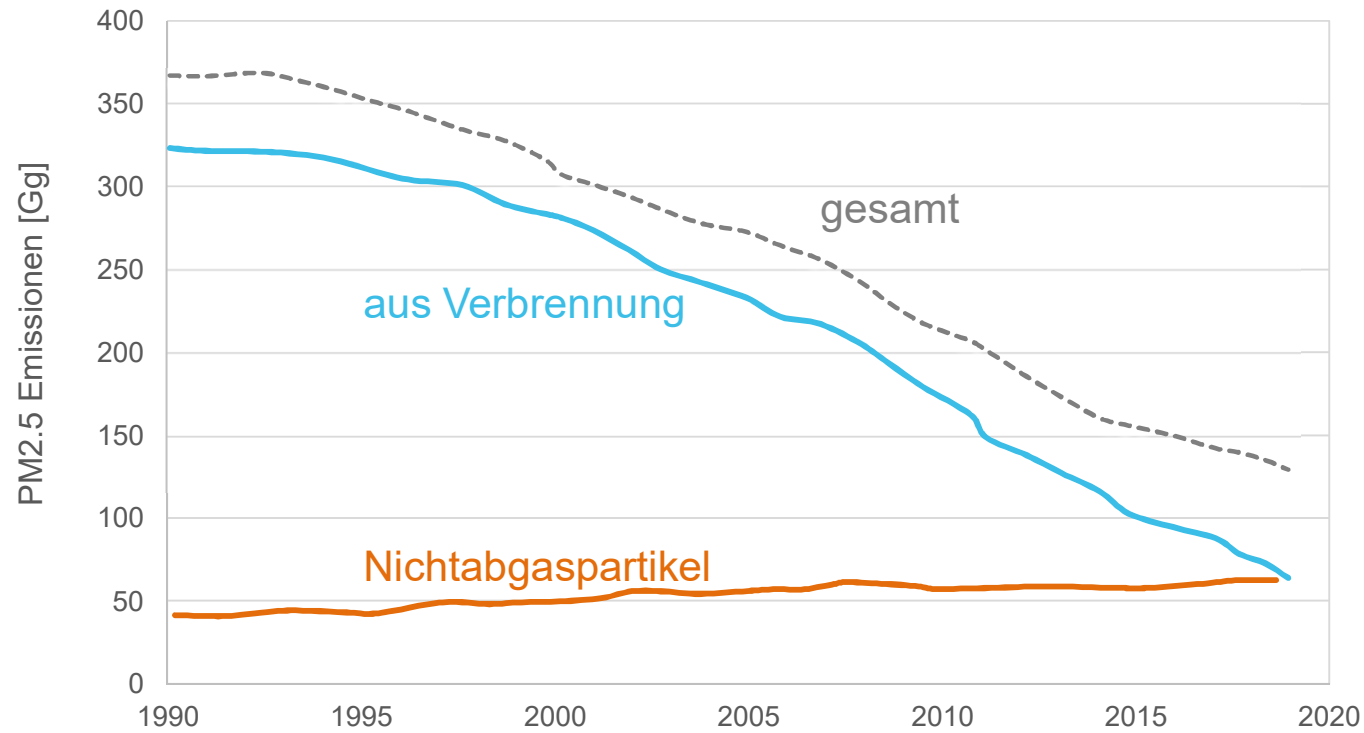
	Euro 6d	Euro 7	Euro 7 (Low)	Euro 7 (Medium)	Euro 7 (Strict)
NO <sub>x</sub> mg/km	60 mg (Benziner), 80 mg (Diesel)	60 mg	60 mg	30 mg	20 mg
PM mg/km	4,5		4,5	2	2
PN <sub>10</sub> #/km	6 x 10 <sup>11</sup>		6 x 10 <sup>11</sup>	1 x 10 <sup>11</sup>	1 x 10 <sup>11</sup>
CO mg/km	1.000 (Benziner); 500 (Diesel)	500	500	400	400
THC mg/km	100		100	-	-
THC + NO <sub>x</sub> mg/km	170 (Diesel)		20	-	-
NMHC/NMOG	68 (Benziner)		68	45	10
NH <sub>3</sub> mg/km	-		-	10	10
N <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> mg/km	-		45	45	20
HCOH mg/km	-		-	5	5
Evaporativ g/Test	2		2	0,5 + ORVR	0,3 (worst)
Brake emm. mg/km	-	7	-	7	5
Gültigkeit Norm	Für Diesel, Benziner, LNFZ und NFZ separat	Für Diesel, Benziner gleich LNFZ separat	Für Diesel, Benziner gleich LNFZ separat	Für Diesel, Benziner, LNFZ gleich	Für Diesel, Benziner, LNFZ gleich

Quelle: EU 7 emission standard – AECC Workshop 27.09.22



# Relevanz von Nicht-Abgasemissionen

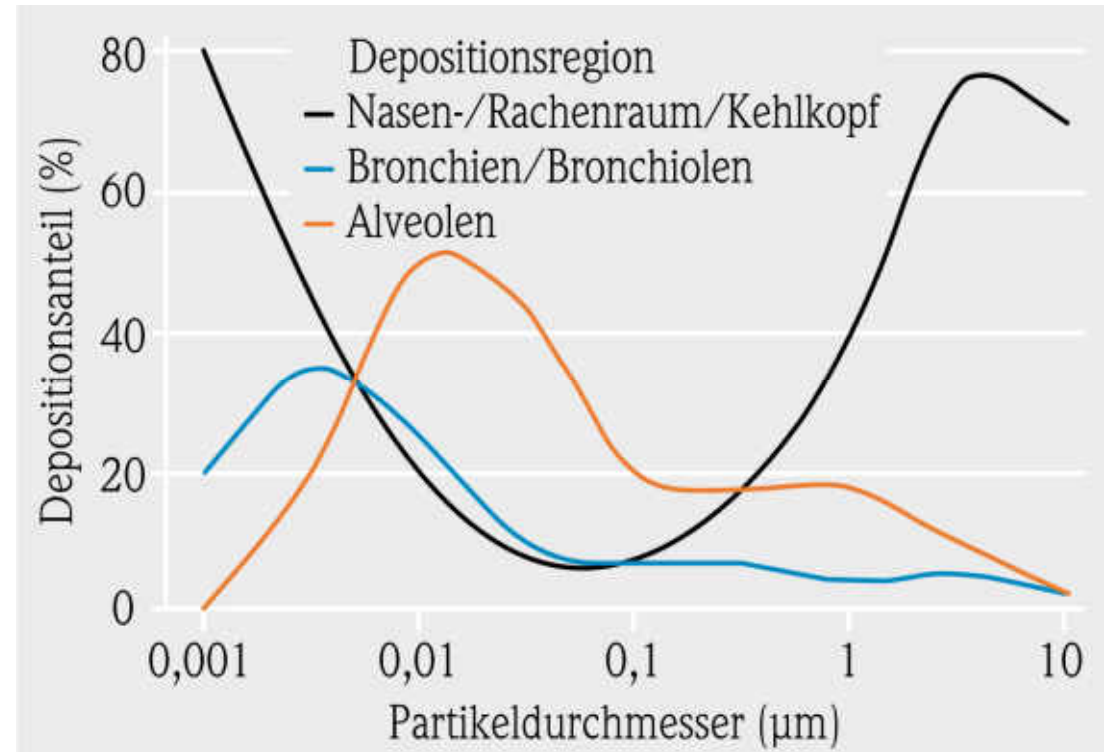
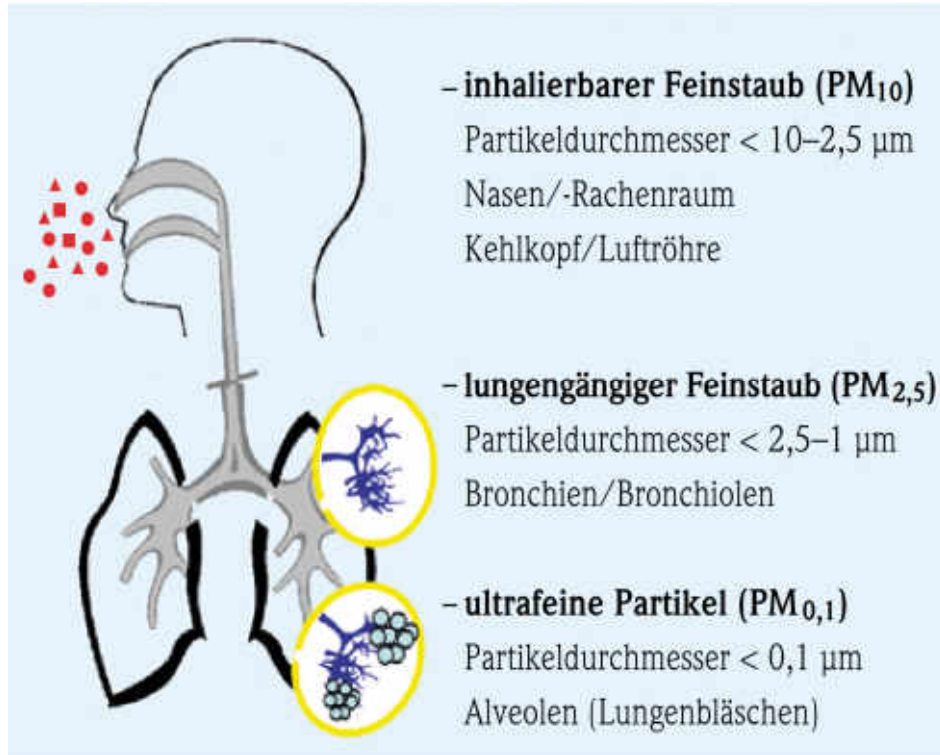
## PM2,5-Emissionen im Straßenverkehr in der EU



Eionet Report - ETC/ATNI 2020/5.



# Partikeldeposition als Funktion des Partikeldurchmessers

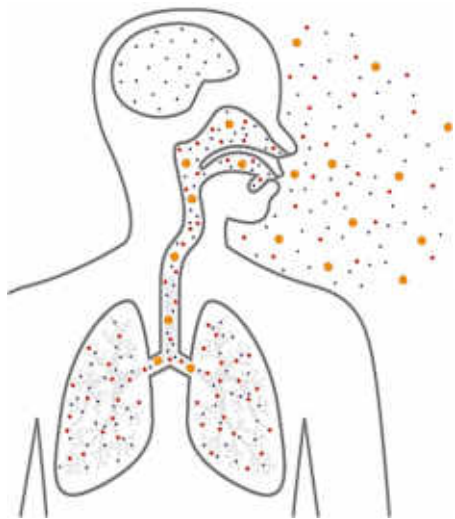


Partikeldepositionsregion des Atemtrakts als Funktion des Partikeldurchmessers bei Nasenatmung des Menschen (Oberdörster 2005)

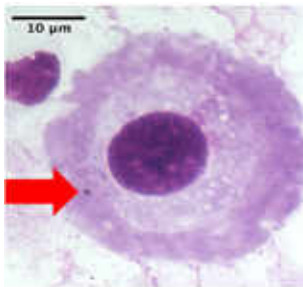
Noch äußerst unklar, welche UFP welche Wirkung auf Organismen haben -> Etablierung der Nanoökotoxikologie.  
Wirksamkeit ist abhängig von: Größe (Depositionsregion), Konzentration, Masse, Oberfläche, Struktur, physikalischen und chemischen Eigenschaft sowie der gesundheitlichen Konstitution des Betroffenen.



# Feinstaub und ultrafeine Partikel (UFP)

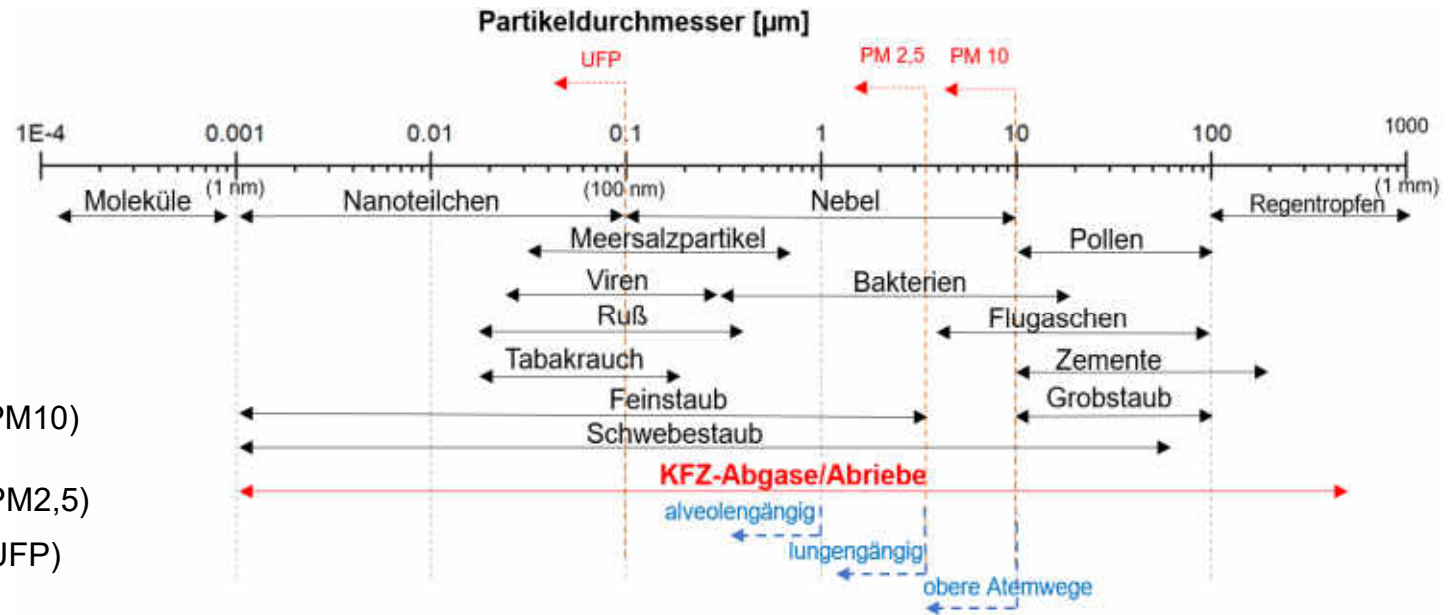


- 10  $\mu\text{m}$  (PM10)
- 2.5  $\mu\text{m}$  (PM2,5)
- 0.1  $\mu\text{m}$  (UFP)



Beispiel: Nanopartikel in einer Plazentazelle

Liu et al. Evidence for the presence of air pollution nanoparticles in placental tissue cells. *Science of The Total Environment* 751, (2021).



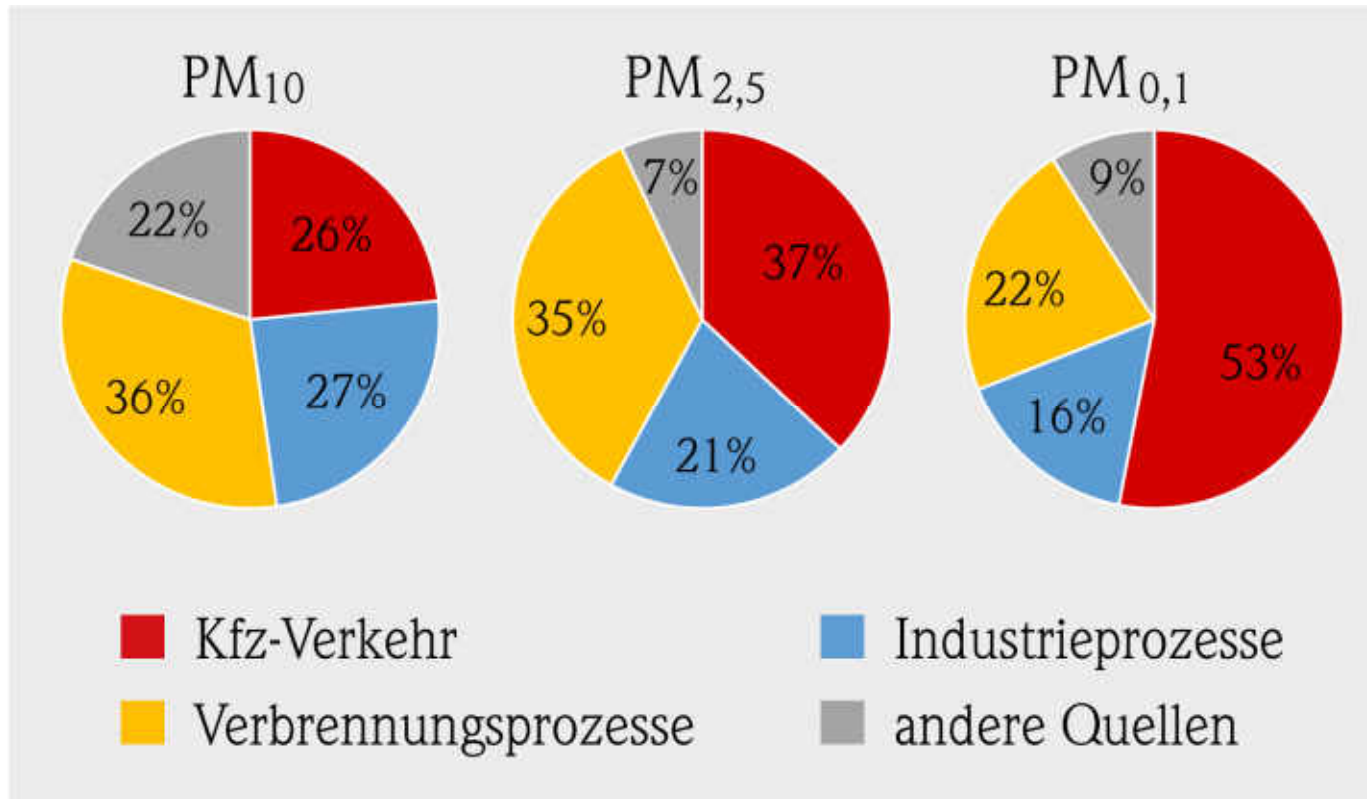
## Ultra- / Feinstaubpartikel:

- dringen tief in die Lunge ein bis in die Alveolen, Lungengewebe und Blutkreislauf
- Betrifft alle Organe
- haben eine große (aktive) Oberfläche
- bleiben lange in der Luft (Aerosole)
- Quelle des oxidativen Potentials

⇒ **Gesundheitsrisiko**



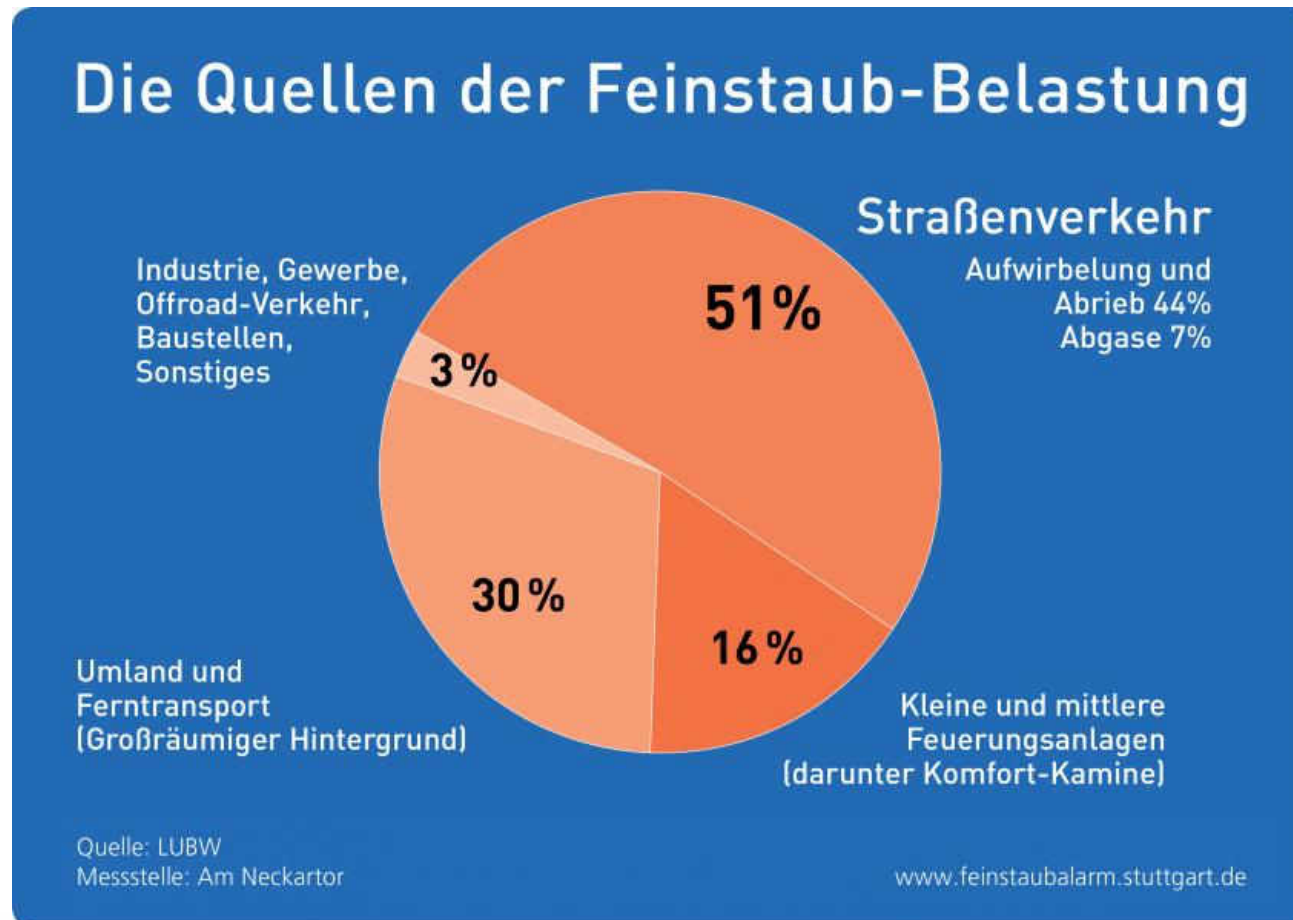
## Aufschlüsselung der Quellenanteile



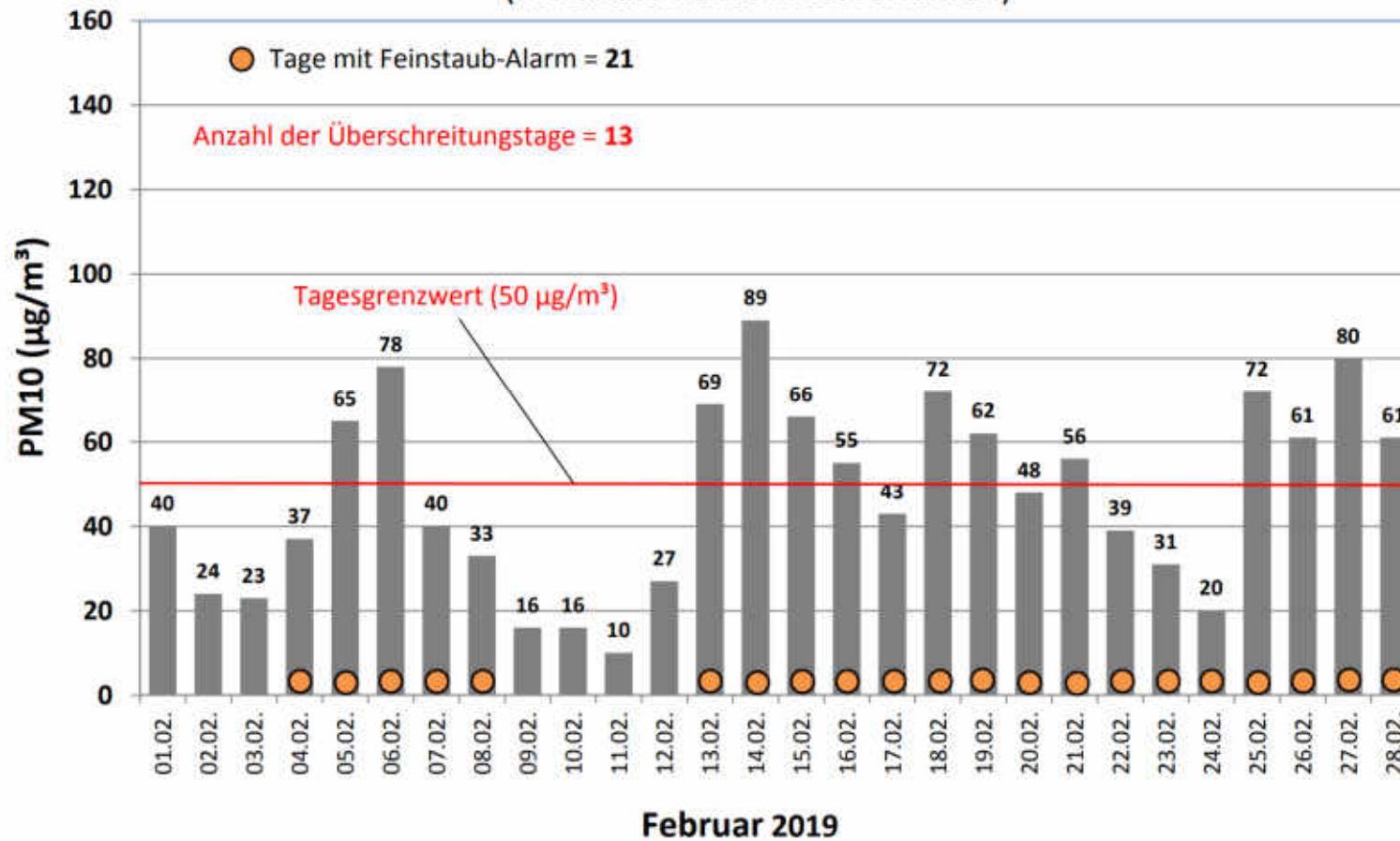
Aufschlüsselung der Quellenanteile an den Gesamtemissionen von PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>0,1</sub> in Großbritannien (nach AQEG 2005)



# Feinstaub (PM10) nach Quellenanteil – Messstelle: Am Neckartor, Stuttgart



## Feinstaub-Tagesmittelwerte (PM10) an der LUBW-Station "Am Neckartor" (kontinuierliches Messverfahren)



Quelle: LUBW, Grafik: AfU Stuttgart



# ZEDU1

Neckartor

## PROJEKT ZEDU-1



Mikroplastik

Euro 7



# Motivation

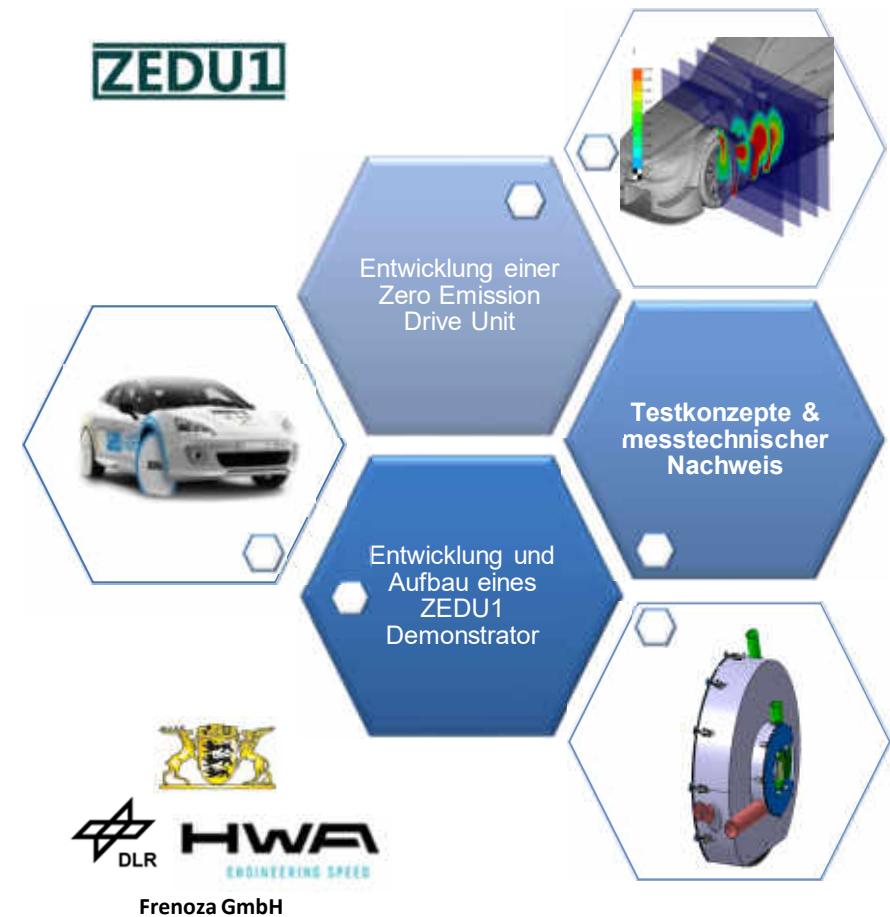
## Vision: Emissionsfreie Mobilität

- Verbesserung der Luftqualität
- Reduktion der Belastungen durch den Fahrzeugverkehr



# Ansatz

- Entwicklung einer Zero Emission Drive Unit (ZEDU-1)
  - Keine Emissionen aus Verbrennungsprozessen
  - Keine (nahezu) Feinstaubbelastungen im Fahrzeugverkehr durch Abriebe (Bremse, Reifen)
- Demonstration im Erprobungsträger
- Messtechnischer Nachweis der Emissionsfreiheit im realen Einsatz
- Energetisch effizient
- Alltagstauglich



# Ziele

## Emissionsfreiheit

- Keine Emissionen aus motorischen Prozessen
  - Elektromobilität (Batterie, Wasserstoff, ..)
- Feinstaubfreiheit
  - Keine Feinstaubbelastungen durch Bremsabriebe
  - Nahezu keine Feinstaubbelastungen durch Reifenabrieb

## Messtechnischer Nachweis

- Feinstaubmessungen bis in den Ultrafeinpartikelbereich
- Messnachweis am Prüfstand als auch auf der Straße (mobil)
- Messzyklen u.a. normkonform (WLTP, ..) und real drive Nutzerprofil
- Abgleich mit Konventionellem Fahrzeug (Bremsen/Reifen)

## Energetisch effizient

- Inkl. Steuerung, Leistungselektronik, Energie- und Thermomanagement
- Rekuperation der Bremsenergie nahezu vollständig

## Alltagstauglich

- Volle Bremsperformance
- Kostengünstig
- Skalierbar: Skalierung Serie / Übertragung NFZ, Schiene, .....



# ZEDU-1

**Projekt:** Zero Emission Drive Unit Generation 1

**Umfang:** 6 Mio €  
**Gefördert durch:** WM-BW  
**Partner:** DLR-FK & DLR-VT  
**Partner in UA:** HWA, Frenosa GmbH  
**Assoziierte / Partner of Interest:** M+H, Continental, ZF



# Versuchsfahrzeuge

**Referenzfahrzeug** zur Bestimmung der Partikelemissionen derzeitiger Elektrofahrzeuge



**BMW i3**

- Aufbau Versuchsfahrzeug 2021
- Entwicklung von Messverfahren
- Separate Vermessung von Bremsen und Reifenabrieben in unterschiedlichen Szenarien

**Demonstrator-Fahrzeug** für die Demonstration von Technologien nahezu feinstaubfreien Fahrens

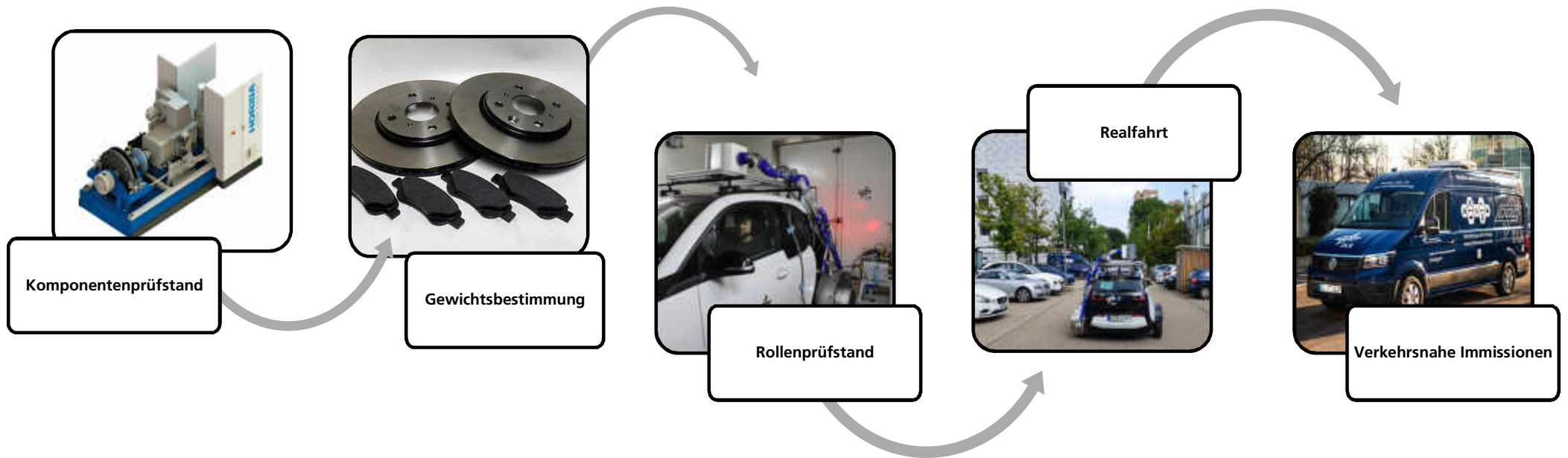


**ZEDU1 – Demonstrator**

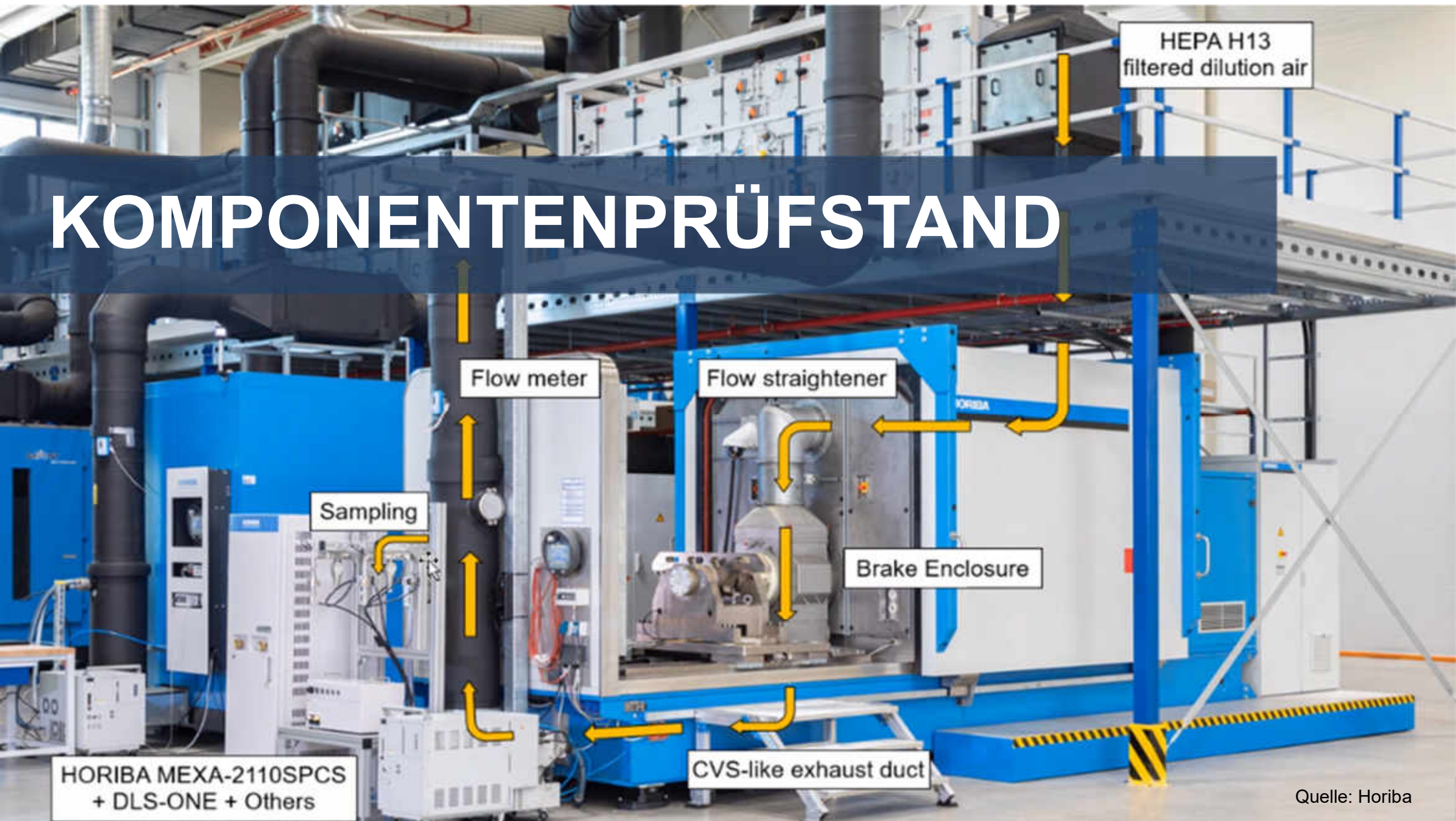
- Fertigstellung Juni 2022
- Vorstellung der Öffentlichkeit 28.9.22
- Vermessung der Emissionen zur Bestimmung der Feinstaub-Einsparung



# Messkonzept Bremse

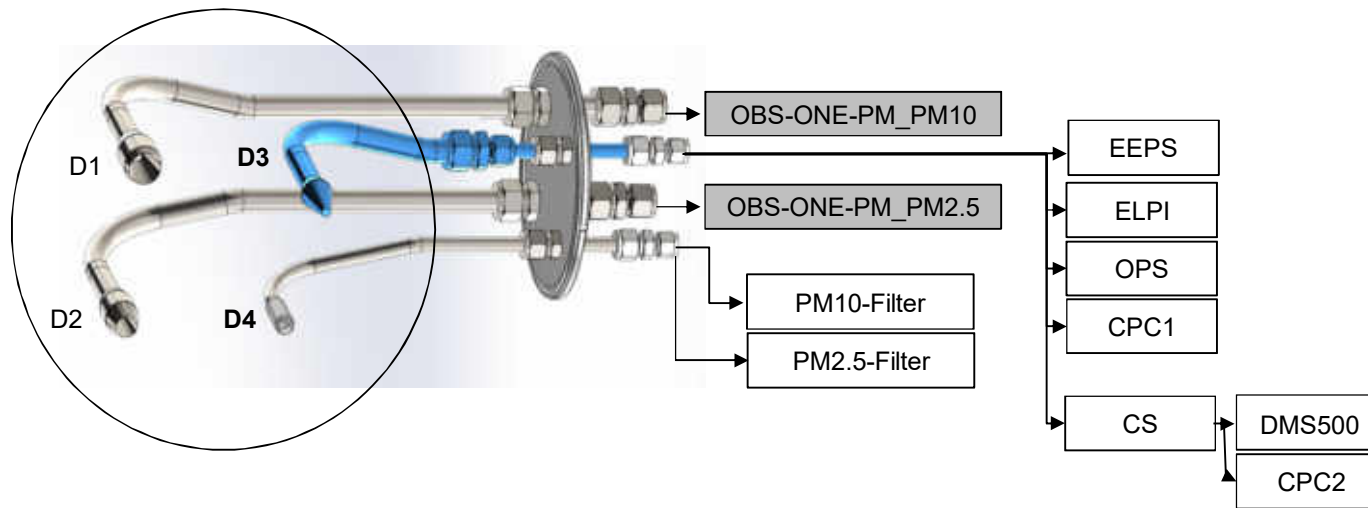


# KOMPONENTENPRÜFSTAND

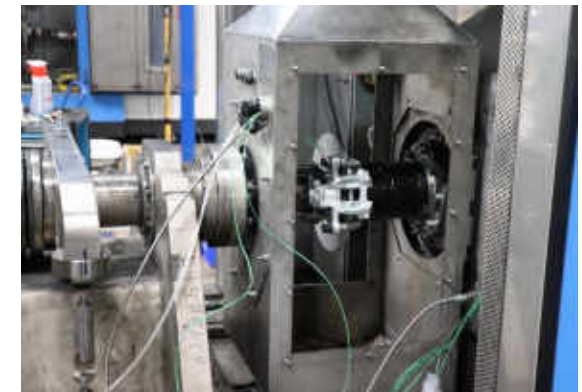


Quelle: Horiba

# Testaufbau – Komponentenprüfstand



- Probe-Entnahmesonden D1 bis D4
- Partikelanzahlkonzentration (CPC1, CPC2)
- Partikelanzahlgrößenverteilung (EEPS, OPS, DMS500)
- Vergleich volatile und nicht-volatile Partikel
- Partikelsammlung für Offline-Analyse (ELPI, PM10, PM2.5)
- Gravimetrische Messung durch HORIBA



# REFERENZ FAHRZEUG



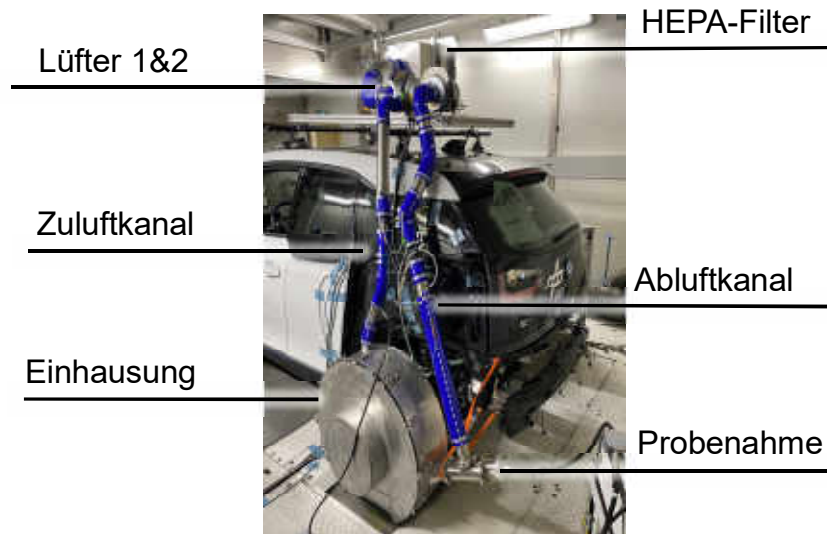
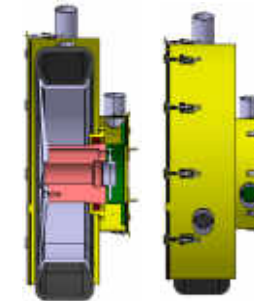
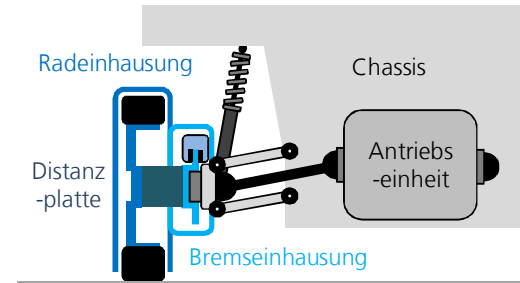
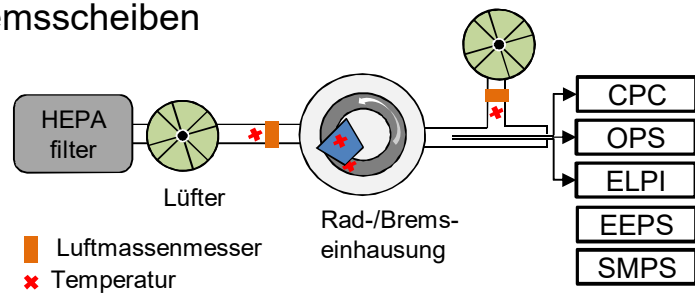
# Messkonzept Referenzfahrzeug

## Versuchsaufbau:

- Separate Einhausung von **Bremse & Rad**
- Durchströmen der Einhausungen mit definierter & gefilterter Luft (HEPA-Filter)
- Messung der Partikelkonzentration in der Abluft & Umgebung (Referenz)
- Temperaturmessung an Bremse/Reifen

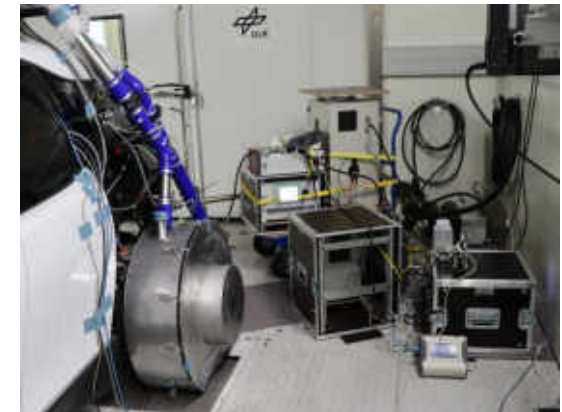
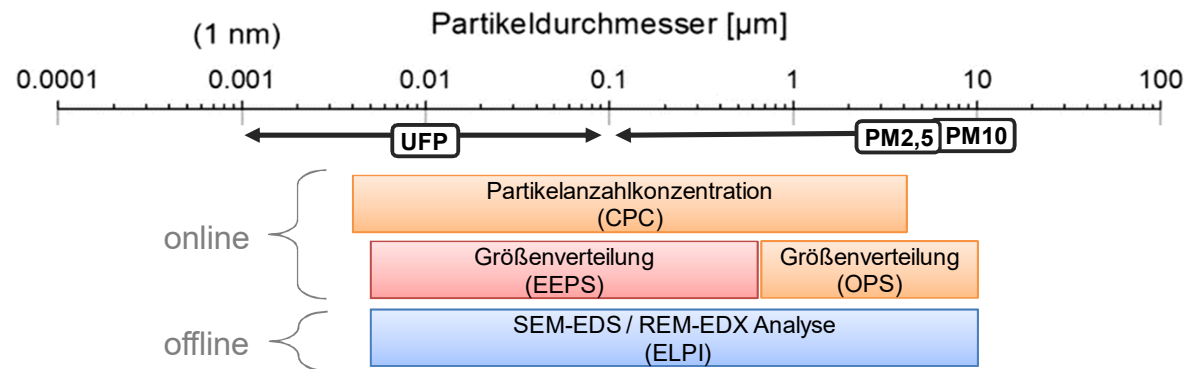
## Testprofile:

- Rollenprüfstand, Realfahrt & Komponenten
- Testzyklen (WLTC, RDE, ..) & Einzelbremsungen
- Originalbremsscheiben & beschichtete Bremsscheiben



Patent: Augsburg, K., D. Hesse and F. Wenzel, DE 10 2017 006 349 B4: Vorrichtung zur Messung und Klassifizierung der Partikelemissionen einer Radbremse eines Fahrzeuges. (2017). Beschreibt eine Vorrichtung, die ein vollständiges Gehäuse für die Bremse am Fahrzeug beinhaltet.

# Partikelmesstechnik



**Optische Messung**

CPC      OPS

**Elektromobilität**

EEPS

**Impaktor & Mikroskopie**

ELPI      REM-EDX

**Charakterisierung der Emissionen:**

- Partikelanzahlkonzentration
- Größenverteilung
- Morphologie
- Elementare Zusammensetzung



# Messaufbau für mobile Messungen



Stromversorgung, Datenlogger und Wandler

OPS (0.3 – 10  $\mu\text{m}$ )

CPC #1 (2.5 nm - 3  $\mu\text{m}$ )

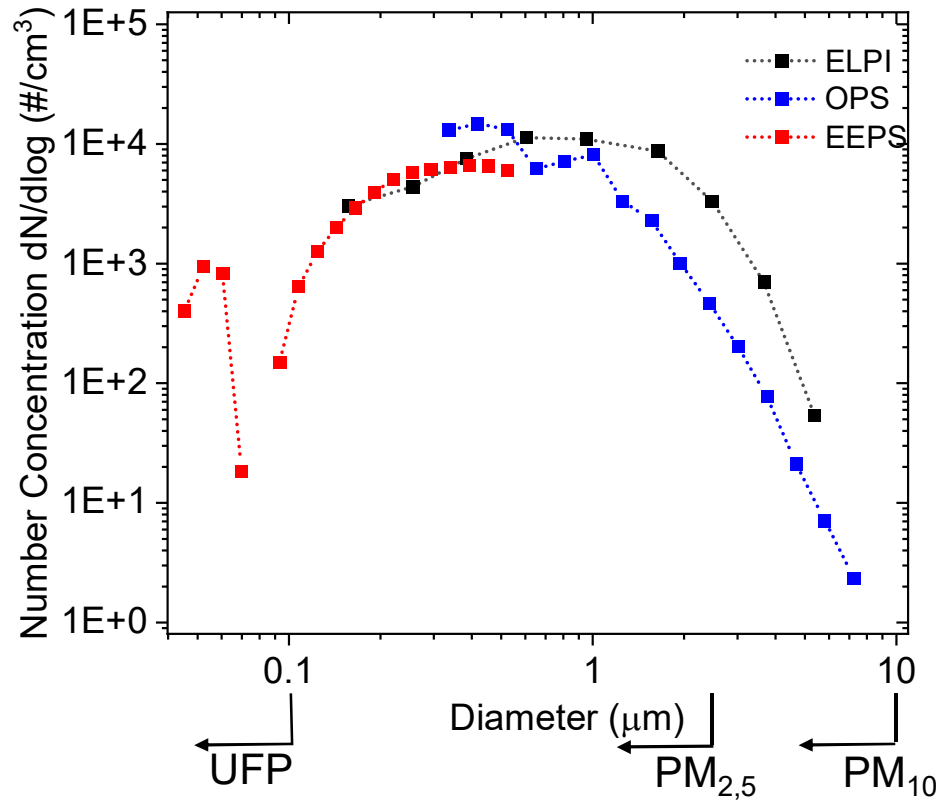
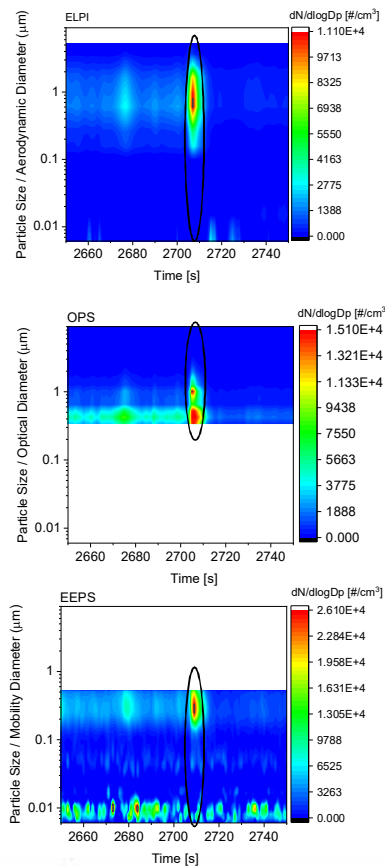


CPC #2 (2.5 nm - 3  $\mu\text{m}$ )

EEPS (5.6 - 560 nm)



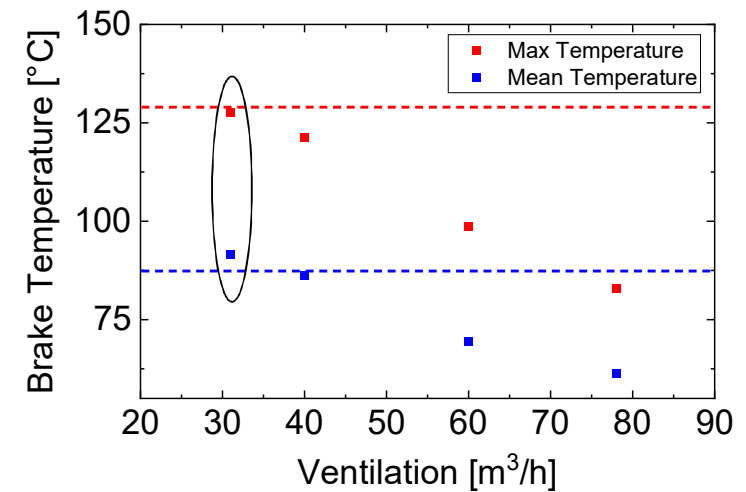
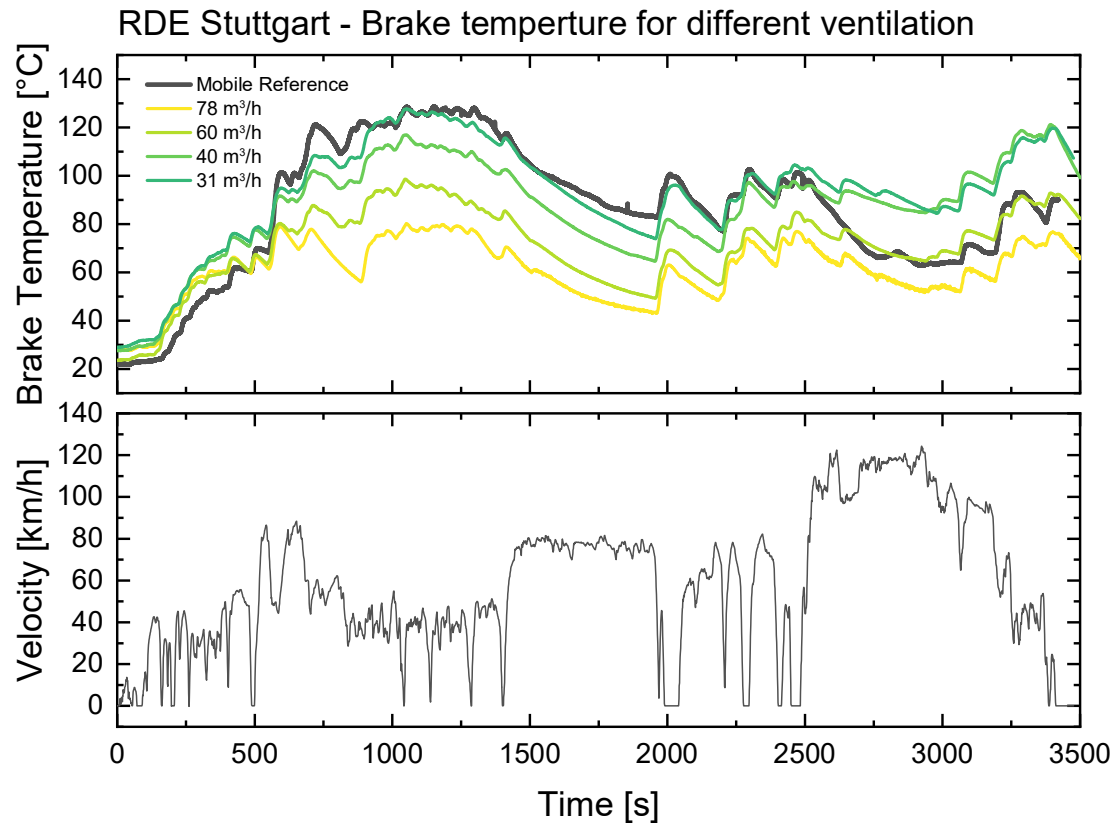
# Bremsemissionen – RDE-Messgeräte - Partikelgrößenverteilung



- Mit den Geräten ELPI, OPS und EEPS wird das Spektrum der Emissionen von  $\text{PM}_{10}$  bis UFP abgedeckt
- Partikelverteilung mit Maxima bei ca. 10 nm und 200 bis und ca. 700 nm



# Optimierung des Kühlluftstroms



- Vorgehen orientiert an PMP-Empfehlung für Komponentenprüfstände
- Erfolgreiche Einstellung des Kühlluftstroms durch Realfahrt ohne Einhausung

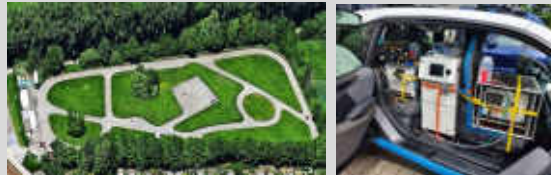


# Messszenarien Referenzfahrzeug

## Rollenprüfstand



## Testgelände



## Realfahrten (RDE, Straße)



Total	46.2 km
Stadt	22.5 km
Land	14.5 km
Autobahn	9.2 km

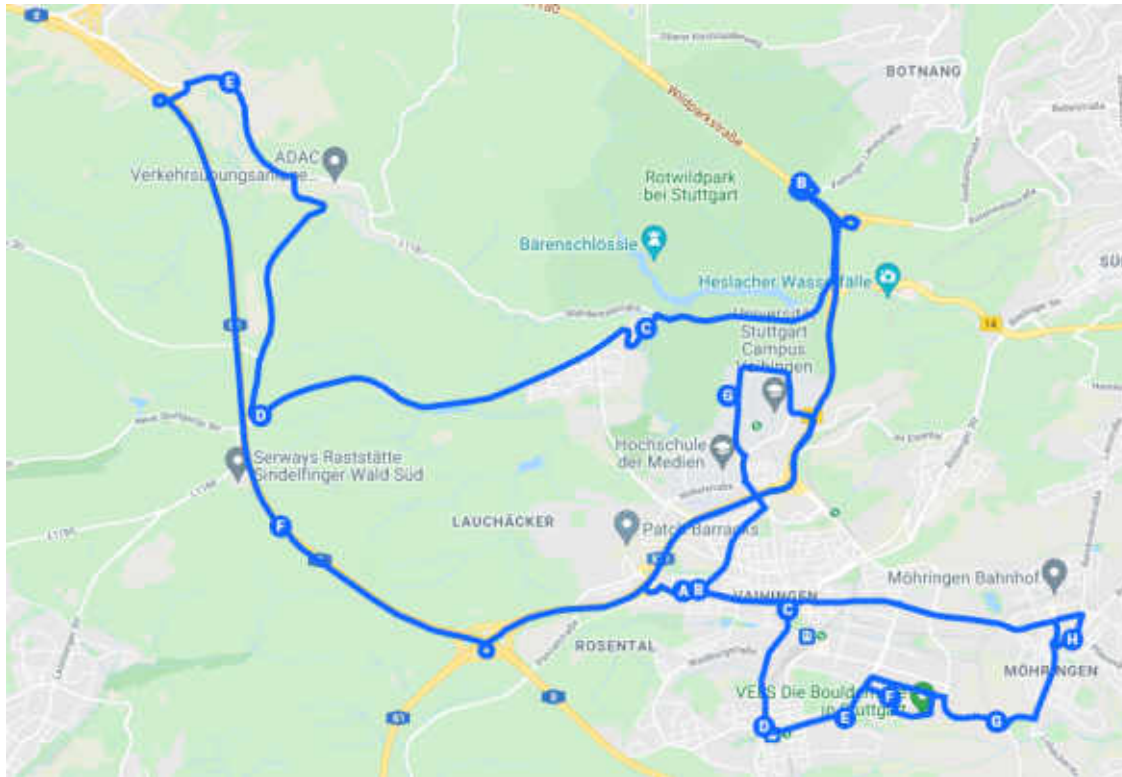


# Fahrzyklen

Fahrzyklus	Zeit [s]	Strecke [km]	Mittlere Geschwindigkeit [km/h]	Max. Geschwindigkeit [km/h]
WLTC Class 3	1800 (0,5 h)	23.2	46.5	131
WLTC Brake Part 10	5272 (1,5 h)	64.7	44.2	132.5
Realer Fahrzyklus	3619 (~1h)	47.4	47.2	111.1



# Realfahrt Straße



Strecken	Länge
Gesamte Strecke	46.2 km
Stadt ( $v < 60$ km/h)	22.5 km
Land ( $60 < v < 90$ km/h)	14.5 km
Autobahn ( $60 < v < 90$ km/h)	9 km

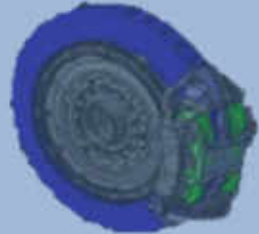

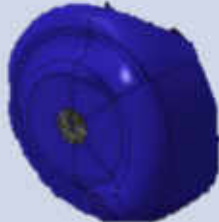




## Real Driving Cycle (RDE) mit Stadt-, Land- und Autobahnabschnitten

Geplottet mit Daten aus OpenStreetMap.org

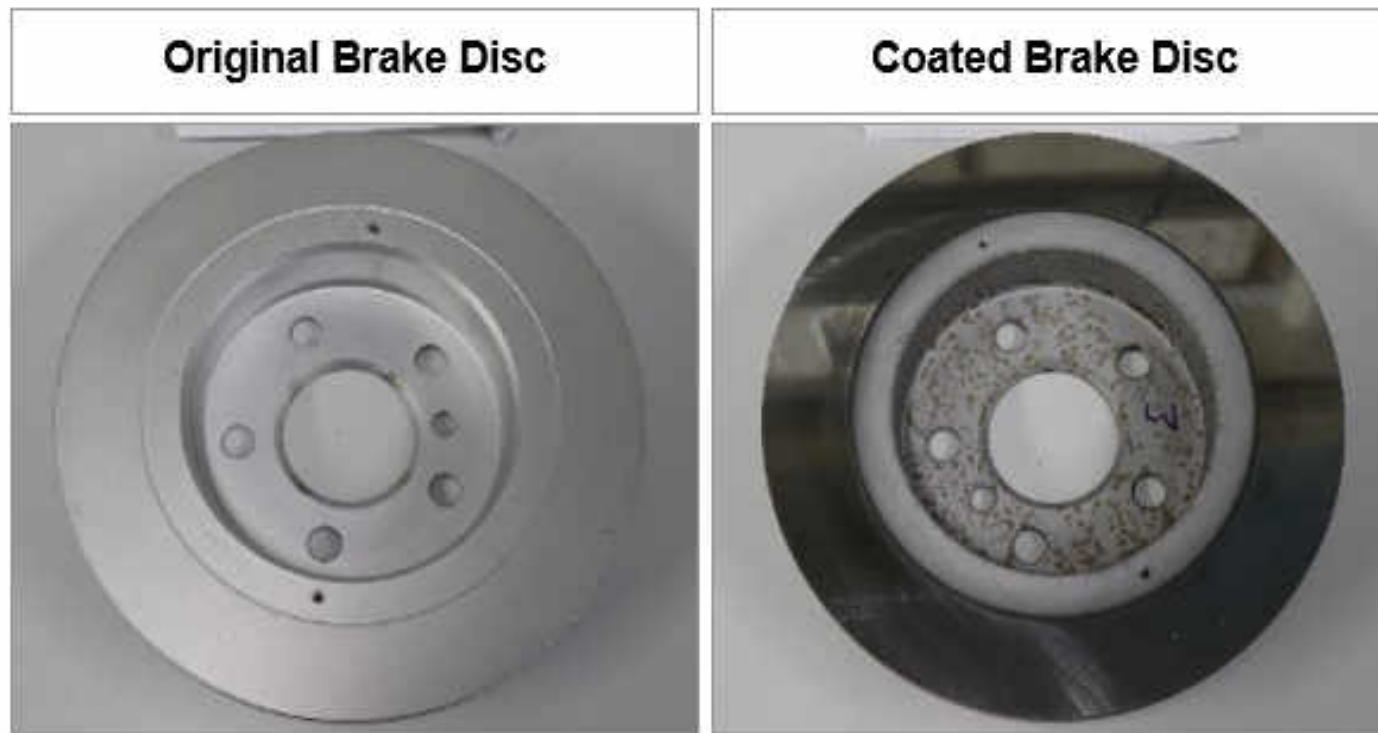


# Konzepte Bremse

Kriterium	Konzept1	Konzept2	Konzept3	Konzept4	Konzept5
Darstellung					
Beschreibung	Beschichtung	Filter zusätzlich	gekapselt	Lamellenbremse	Induktionsbremse
Grad der Emissionsvermeidung	teilweise ---	teilweise ---	vollständig +++	vollständig +++	vollständig ++
Entwicklungsaufwand	++	+	-	+	---
Entwicklungsrisiko	+	0	--	+	--
Gewicht	+++	+	-	0	-
Kosten	++	+	-	+	-
Bewertung	+	--	0	+++	++
	Frenoza			HWA	DLR

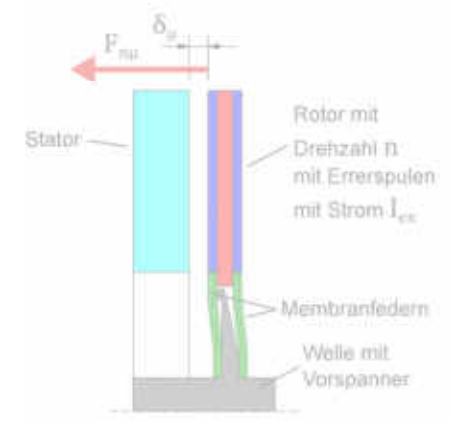
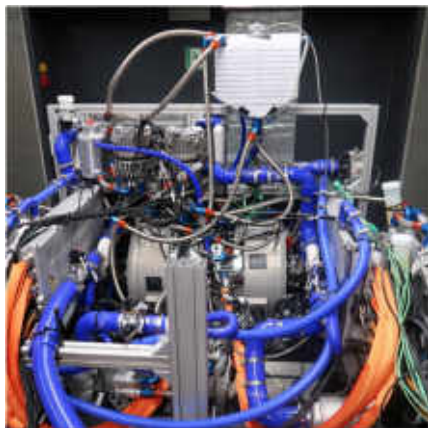
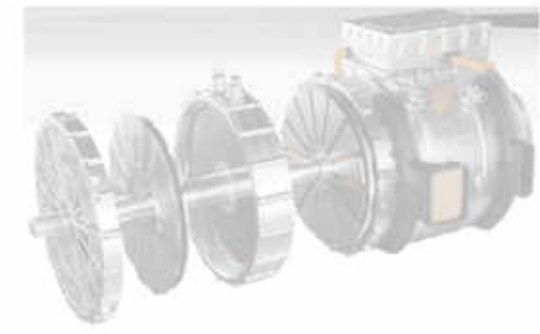
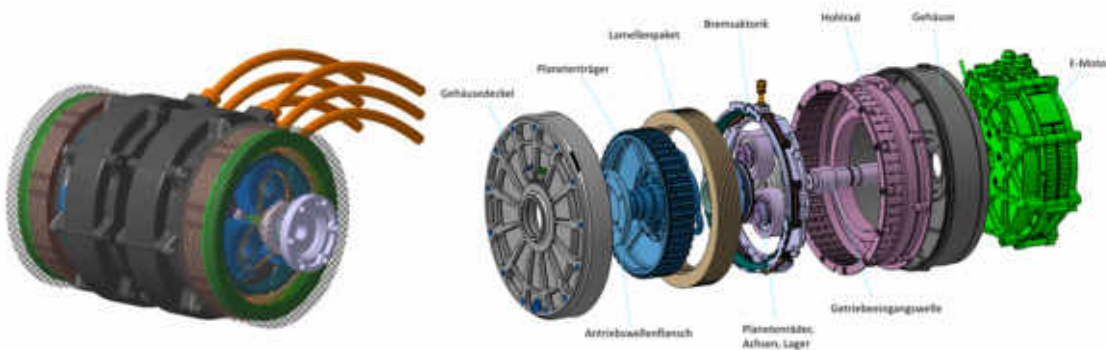


# Original Bremsscheibe (Guss) und Bremsscheibe mit Hartmetall Beschichtung



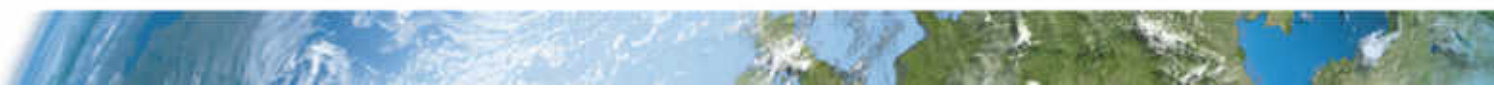
Hartmetallschichtung: 20 % Wolframcarbide und 30 % Titancarbid in einer 50 % duktilen Matrix aus rostfreiem Stahl. ©FRENOZA GmbH

# Entwicklung Bremse



Lamellenbremse: Packaging, Explosionszeichnung und Prüfstands Aufbau

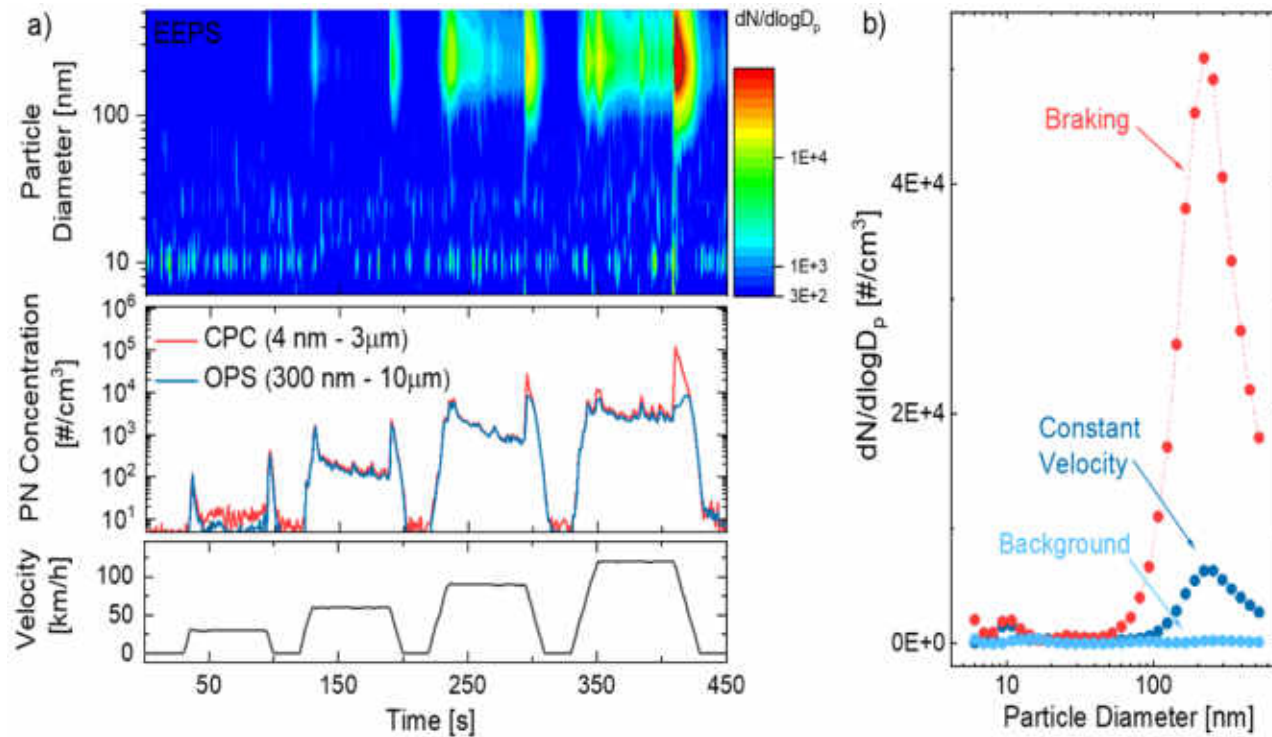
Induktionshybridbremse: Explosionszeichnung, Funktion und Prüfstands Aufbau



# MESSERGEBNISSE



# Bremspartikelemissionen ZEDU Brake Zyklus (Geschwindigkeitstreppe)

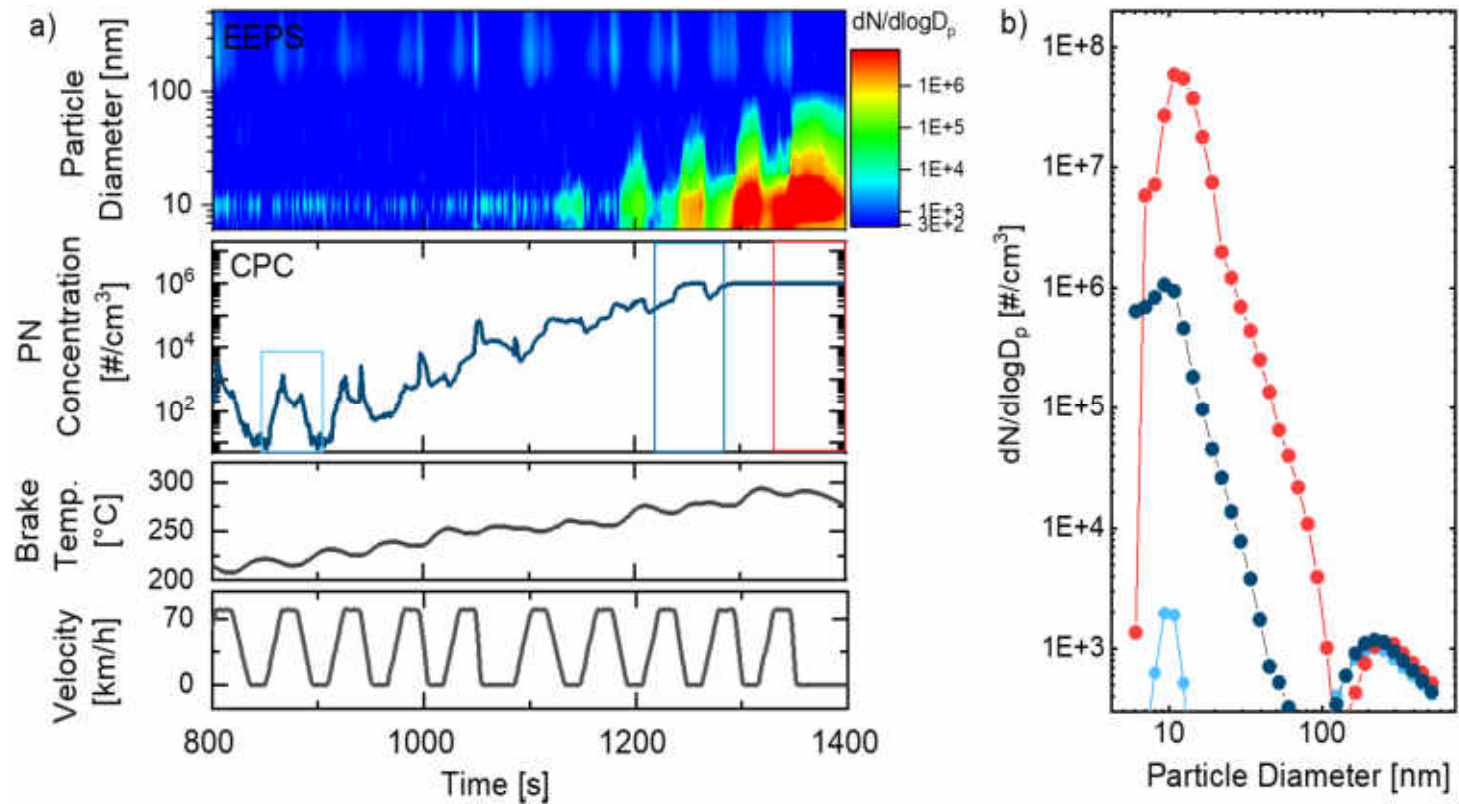


a) Partikelgrößenverteilung (EEPS) sowie die Partikelanzahlkonzentration (CPC und OPS Messung)

b) Partikelgrößenverteilung (EEPS):  $v =$  konstant 120 km/h, Bremsvorgang, Hintergrund.



# Partikelemissionen bei hohen Brems Temperaturen (ZEDU Accelerate Zyklus)

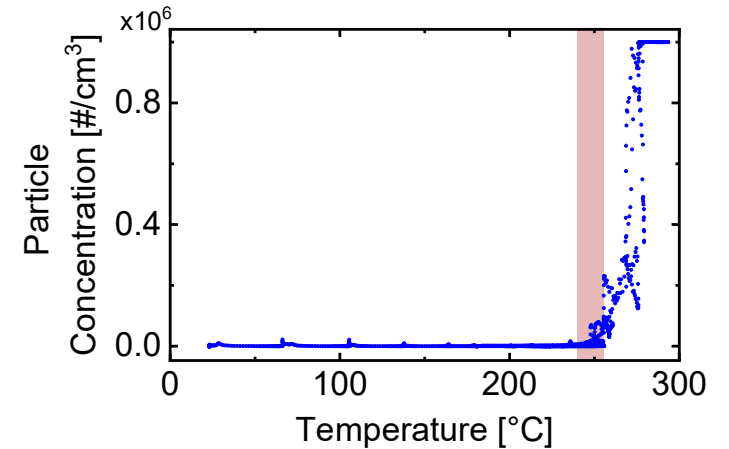
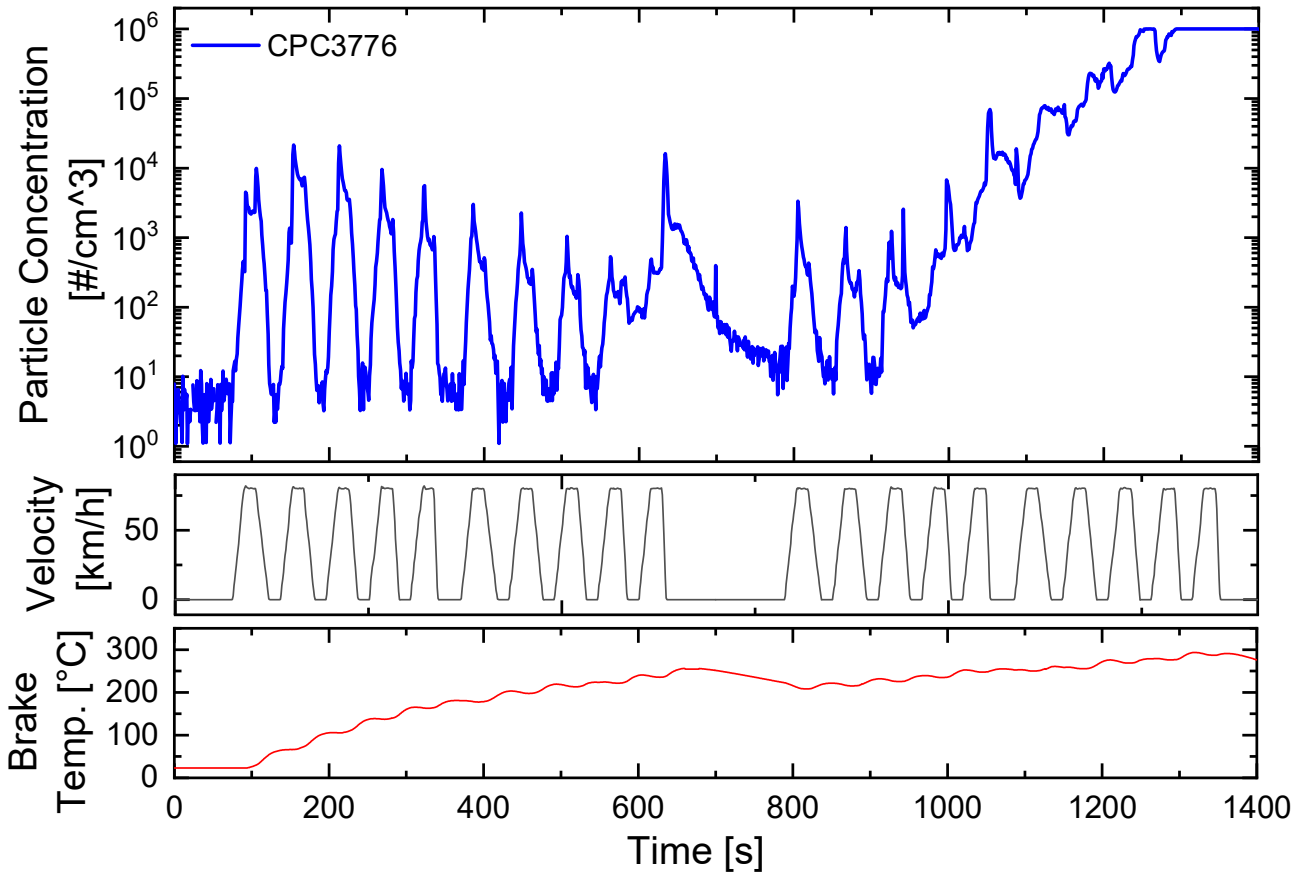


a) Partikelanzahlkonzentration (EEPS und CPC), Temperatur und Geschwindigkeitsverlauf.

b) Partikelgrößenverteilung (EEPS) für unterschiedliche Brems Temperaturen. (Gemittelte Zeitraum ist farblich gekennzeichnet.)



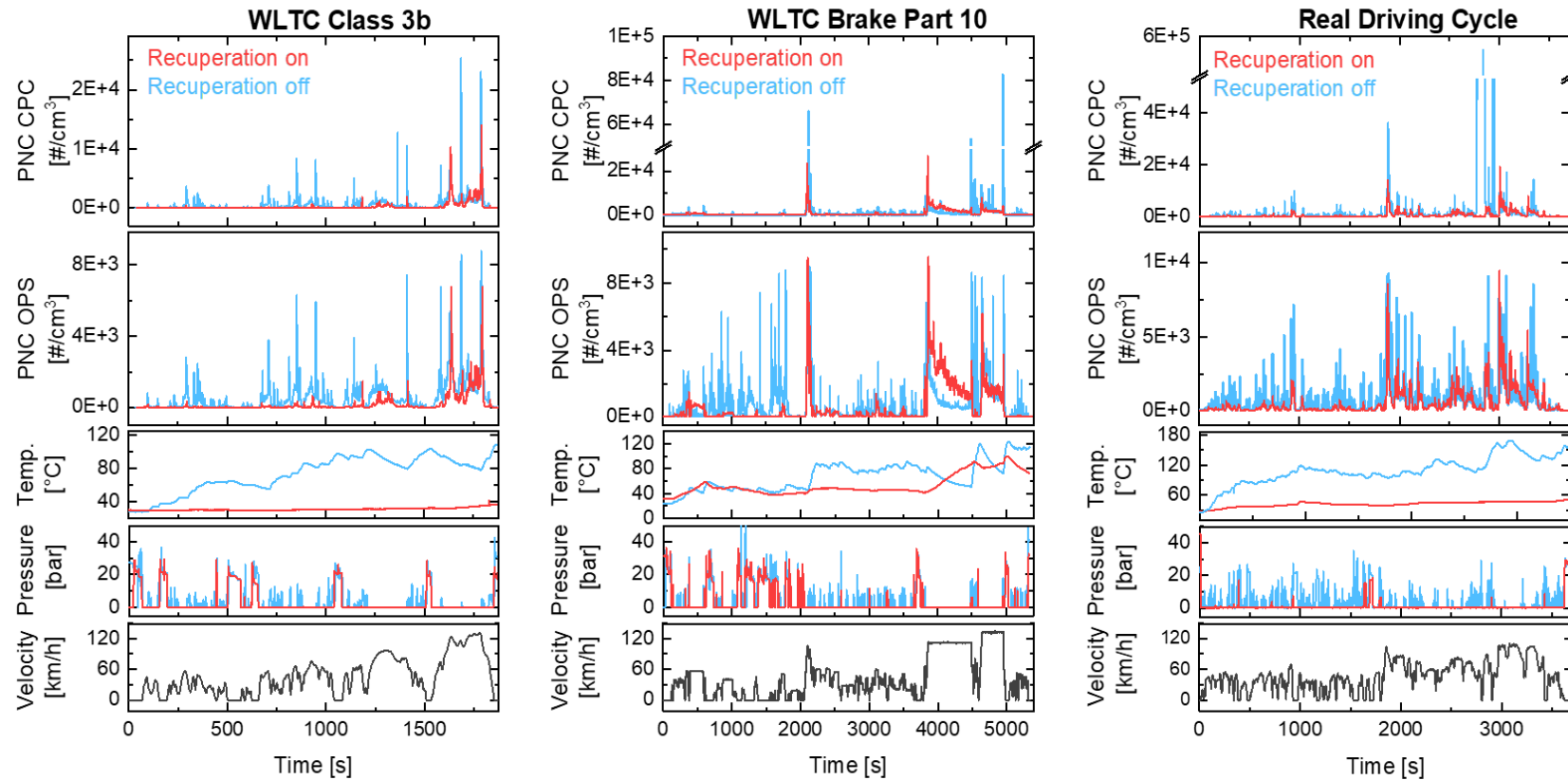
# Bremsemissionen und Grenztemperatur (ZEDU Accelerate Zyklus)



- Grenztemperatur liegt bei ca. 240°C
- Exponentieller Anstieg oberhalb der Grenztemperatur



# Bremsemissionen mit und ohne Rekuperation



Partikelzahlkonzentration von (Ultra-)feine Partikeln mit Durchmesser zwischen 4 nm und 3 µm wurden mit CPC gemessen.

Detektion größerer Partikeln zwischen 300 nm und 10 µm erfolgte mit OPS.

Korreliert: Geschwindigkeit des Fahrzeugs, Druck der hydraulischen Bremse und die Bremstemperatur.



## Bremsemissionen mit und ohne Rekuperation

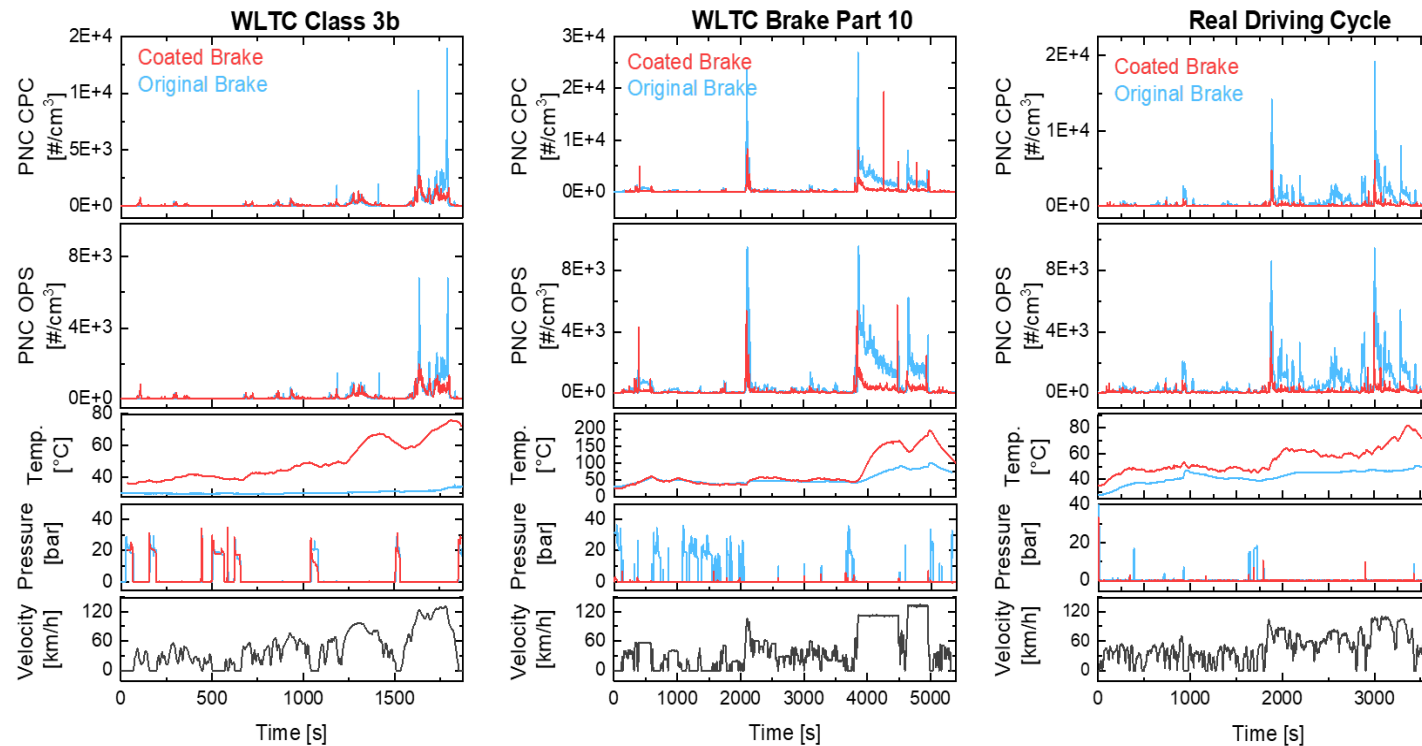
Fahrzyklus	Reduzierung der Bremsereignisse durch Rekuperation [%]	PN-Emissionen an der Hinterachsbremse [# / km]		Reduzierung der PN-Emissionen durch Rekuperation [%]	
		CPC 4 nm - 3 µm	OPS 300 nm - 10 µm	CPC 4 nm - 3 µm	OPS 300 nm - 10 µm
	#				
WLTC Clas 3b	95.8	$1.63 \times 10^8$	$1,29 \times 10^8$	65.4	67.9
WLTC Brake part 10	88.5	$5,11 \times 10^8$	$4,27 \times 10^8$	4.3	-15.2
Realer Fahrzyklus	87.7	$4.10 \times 10^8$	$3.45 \times 10^8$	<b>89.8</b>	34.6

CPC: Detektion von (Ultra-)feine-Partikelemissionen zwischen 4 nm und 3 µm

OPS: Detektion von größeren Partikel mit Durchmessern zwischen 300 nm und 10 µm



# Partikelemissionen Original- und beschichteten Bremsscheibe für unterschiedliche Fahrzyklen.



Partikelzahlkonzentration von (Ultra-)feine Partikeln mit Durchmesser zwischen  $4\text{ nm}$  und  $3\text{ }\mu\text{m}$  wurden mit CPC gemessen  
Detektion größerer Partikeln zwischen  $300\text{ nm}$  und  $10\text{ }\mu\text{m}$  erfolgte mit OPS.  
Dazu korrelieren Geschwindigkeit des Fahrzeugs, der Druck der hydraulischen Bremse und die Bremstemperatur.



# Bremspartikelemissionen und Emissionsreduktion durch Hardmetallbeschichtung

Fahrzyklus	PN-Emissionen an der Hinterachsbremse [#/km]		Reduzierung der PN-Emissionen durch Beschichtung [%]	
	4 nm - 3 µm	300 nm - 10 µm	4 nm - 3 µm	300nm - 10 µm
WLTC Class 3b	$1.33 \times 10^8$	$8.50 \times 10^7$	18.5	33,9
WLTC Brake Part 10	$1.45 \times 10^8$	$9.38 \times 10^7$	71.7	78
Realer Fahrzyklus (RDE)	$8,64 \times 10^7$	$5.85 \times 10^7$	<b>78.9</b>	83



# Massenverlust – Standardbremse vs. Beschichtete Bremse (diverse Profile)

Abgeriebene Masse pro 100 km:

Standardbremse:

0,77 g

Anteil Scheibe: 63 %

Beschichtete Bremse:

0,20 g

Anteil Scheibe: 58 %

- 74 %



# ZEDU1

Neckartor

## DEMONSTRATOR

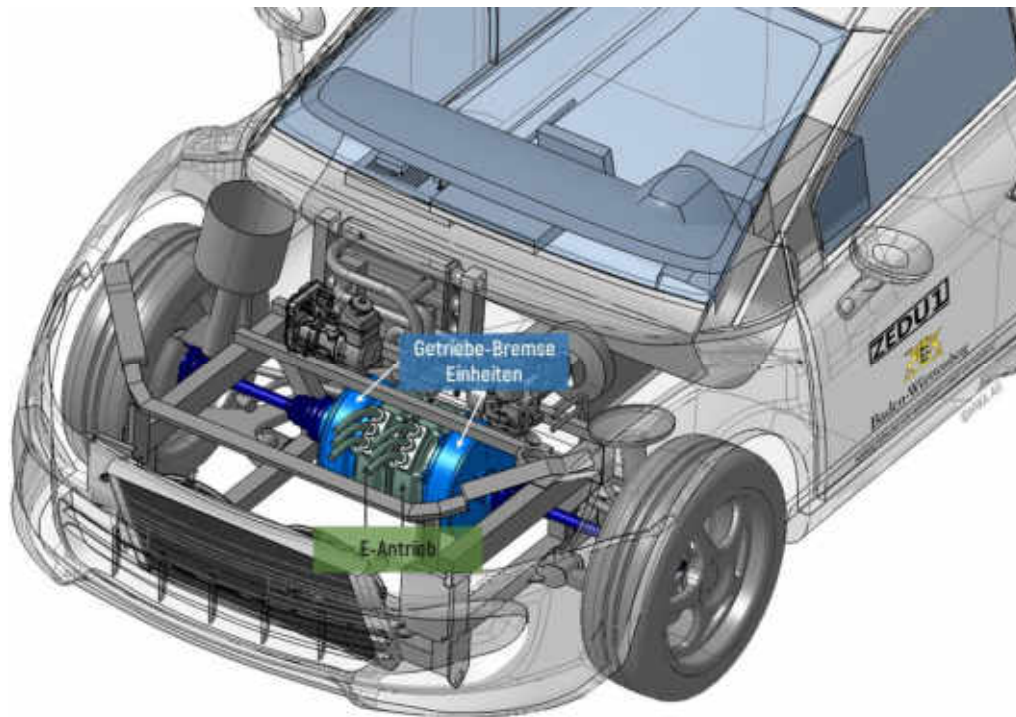


Mikroplastik

Euro 7



# ZEDU-1 Integration der Motor Bremseinheit ins Fahrzeug



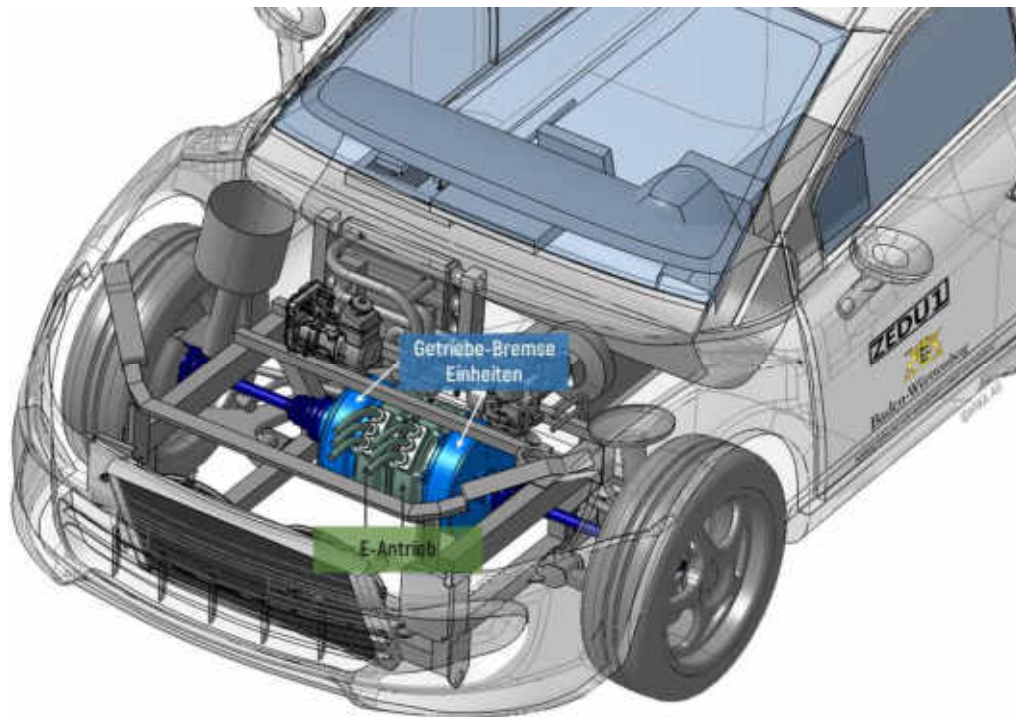
Packaging



Einbau



# ZEDU-1 Integration der Motor Bremseinheit ins Fahrzeug



Packaging



Einbau



# ZEDU-1: Fahrzeugdaten



Parameter	Wert
Gewicht	Leermasse: 1852 kg Gesamt inkl. Kühlkreisläufe: 1909 kg
Leistung (max.)	200 kW
Rekuperation (max.)	150 kW
Geschwindigkeit (max.)	150 km/h
Beschleunigung	0 auf 100 km/h in 7,9 s
Cw-Wert	0,392
Batteriekapazität	30,2 kWh
Reichweite WLTC	100 km
Radstand	2075 mm
Breite (ohne Messrad)	1956 mm



## ZEDI-1: Demonstrator



Test auf dem DLR-Rollenprüfstand:



[Roll-out ZEDUI-1 am 2022.08.28 in Stuttgart mit Ministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut](#)



# Messszenarien Demonstrator-Fahrzeug

## Rollenprüfstand (DLR)



## Testgelände (Boxberg)



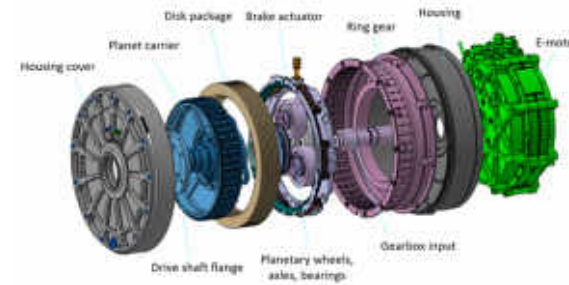
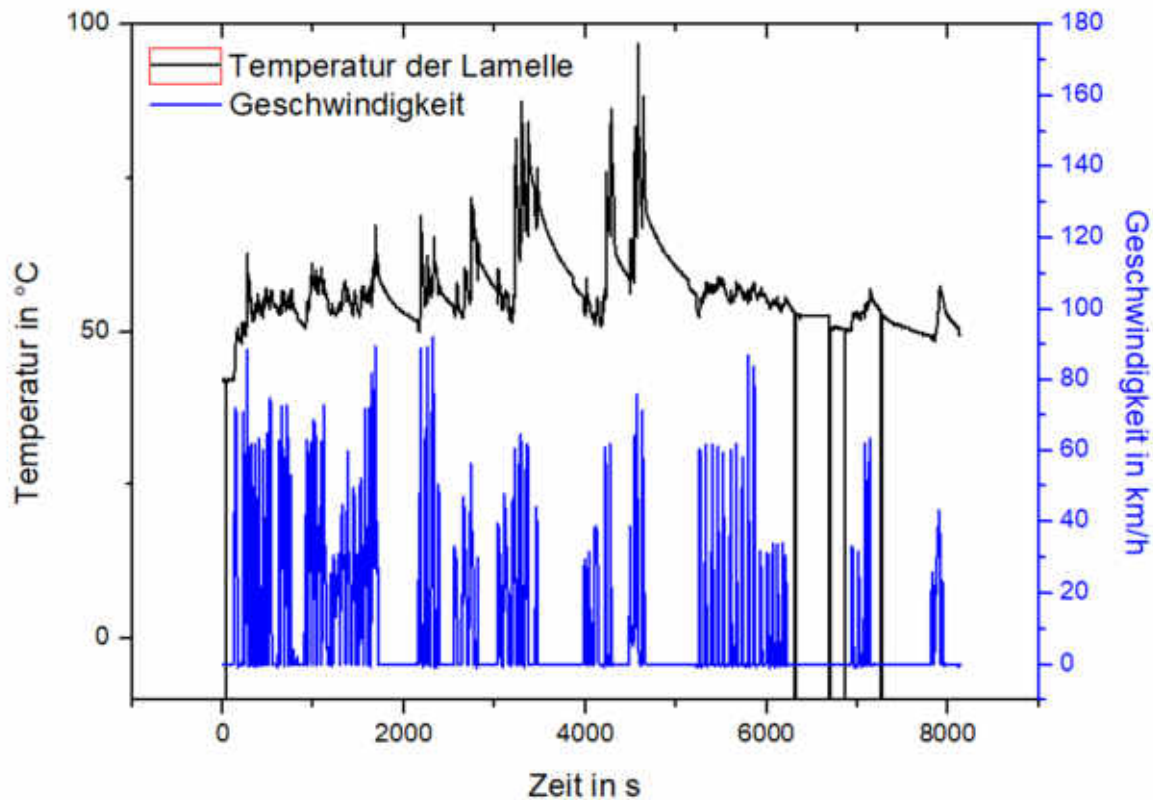
# ZEDU-1: Film (Kurzfassung)



Find ZEDU-1 at: DLR-Portal: [ZEDU-1: Das im Betrieb umweltfreundlichste Auto der Welt - DLR Portal](#)  
Ntv PS Automagazine: [Was steckt im "umweltfreundlichsten Auto der Welt"? - n-tv.de](#)  
SWR-Stuttgart: <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/stuttgart/stuttgart-umweltfreundlichstes-auto-der-welt-100.html>  
SWR-Landesschau: <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/sendung-1930-uhr-vom-2892022-108.html> (SWR 28.09.2022, from minute 12:20 )  
YouTube: [Roll-out ZEDU-1: emissionsfrei unterwegs in die Zukunft ohne Feinstaub und Mikroplastik](#)



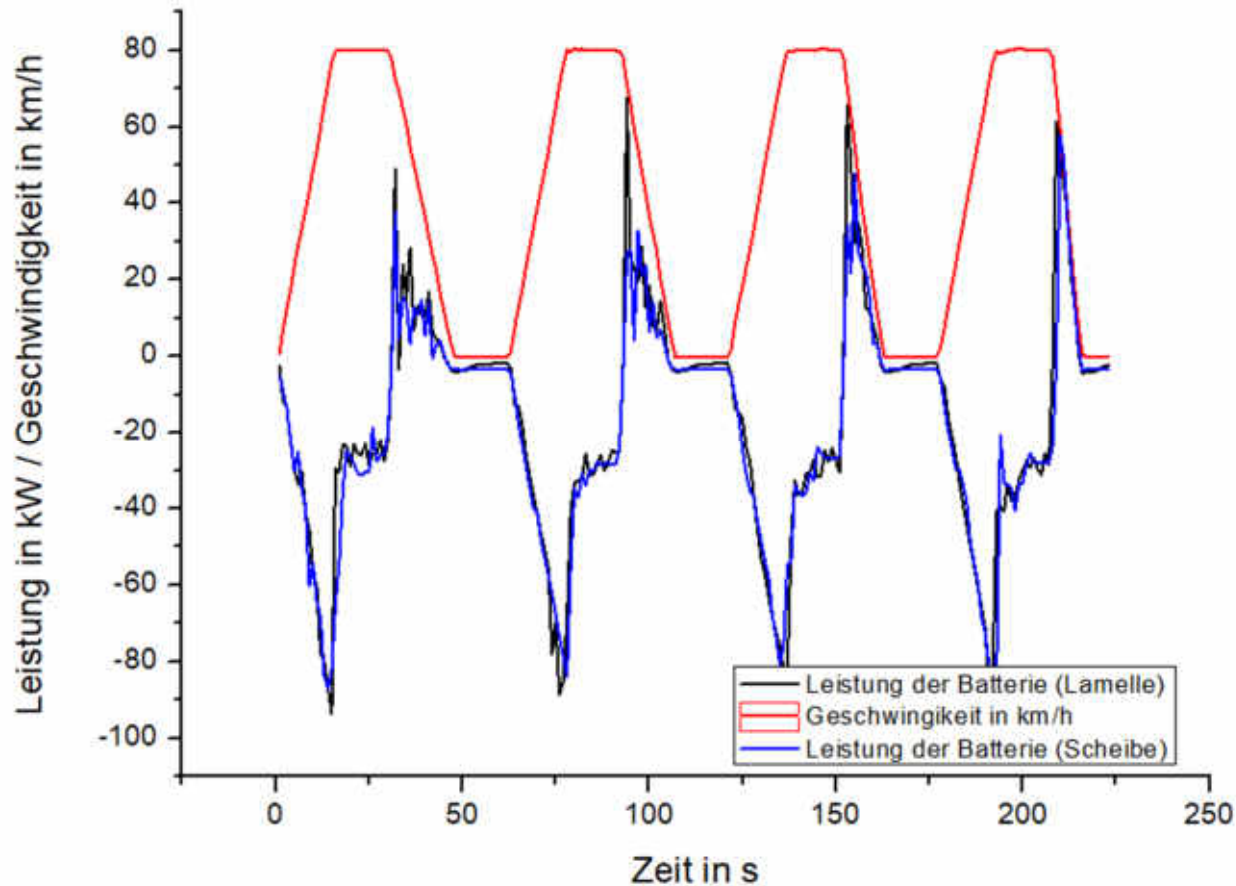
# Charakterisierung Lamellenbremse



- Fahrprofil: alternierende Beschleunigungs- und Bremstests
- Bremstemperatur steigt nicht über 100 °C (Grenzwert 180 °C)
- Absolute Verzögerung überschreitet Haftungsgrenze der Reifen
- → Ausreichende Verzögerung und Kühlung der neu entwickelten Lamellenbremse



# Technologie-Vergleich: Scheiben- und Lamellenbremse



- Lamellenbremse zeigt **vergleichbares Bremsverhalten** wie Scheibenbremse
- Keinen signifikanten Unterschied im **energetischen Verbrauch** der Bremssysteme



# Zusammenfassung

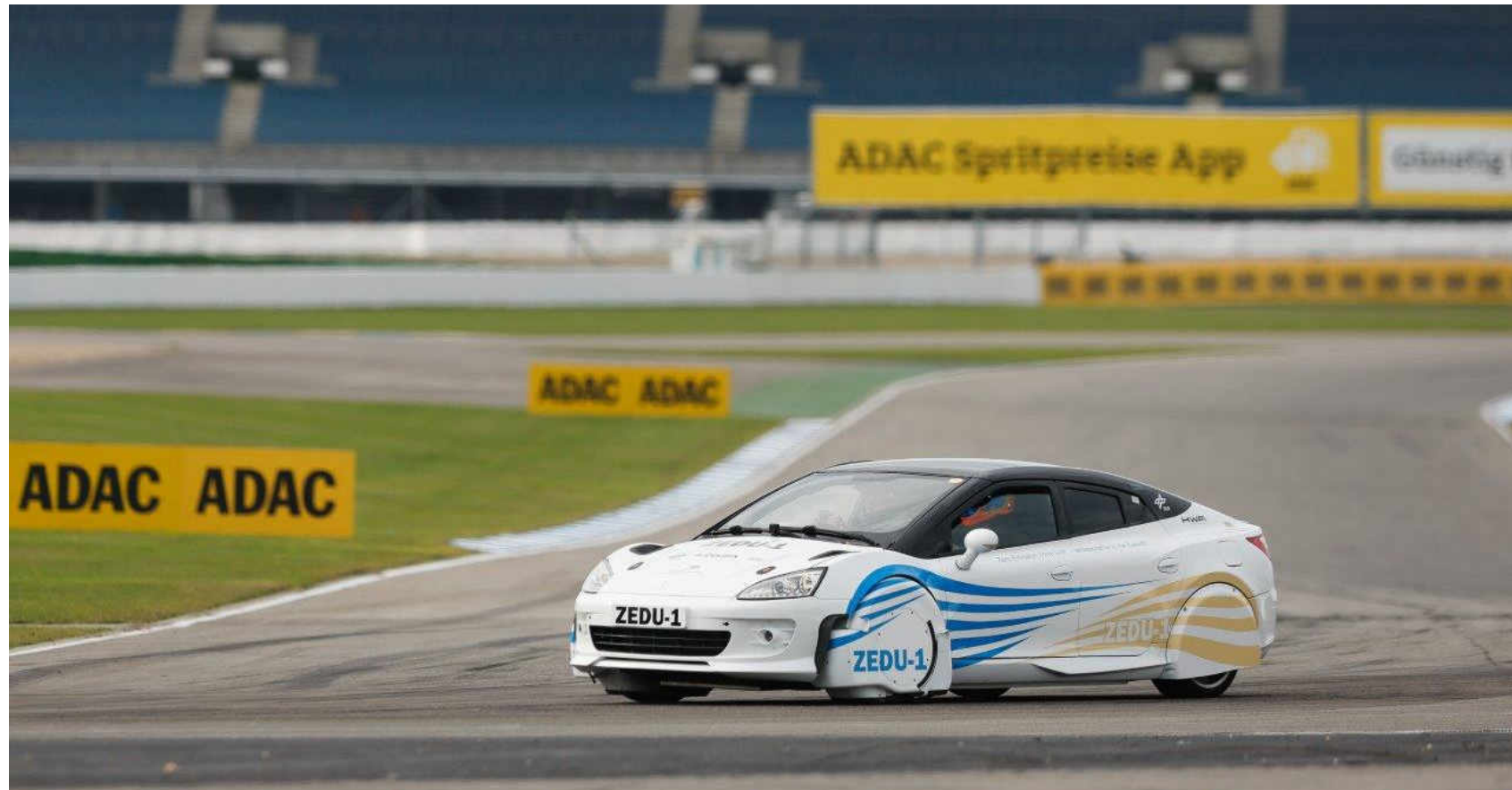


- Abgasemissionen sinken. Gleichzeitig steigen **Brems- und Reifenemissionen** (EU)
- Messung von Nicht-Abgaspartikeln – eine neue technologische Herausforderung (komplexes, dynamisches System)
- Der gezeigte on-board-Messaufbau:
  - bietet **verlustfreie, isokinetische** Probeentnahme
  - ist **geeignet** zur Bestimmung von Bremsabriebsemissionen auf einem Prüfstand und im realen Betrieb
  - => mögliches Konzept für **zukünftige RDE-Messungen** von Nicht-Abgasemissionen
- Für WLTC 3b, WLTC Brake 10 und reale Fahrten wurden Partikelverteilung und Konzentrationen im Bereich 4nm bis 10.000 nm (10 µm) gemessen
- Bremsabriebe sind nicht auf grobe mechanische Abriebe beschränkt, sondern Auch Quelle für feine und ultrafeine Partikel.
- Bremsabriebsemissionen auf dem Komponentenprüfstand unterscheiden sich stark von denen am Fahrzeug (vor allem im realen Betrieb) und spiegeln nicht die Komplexität des Systems wider.
- **„RDE-Messungen“** am Fahrzeug - eine Schlüsselmethode für die Validierung von Nicht-Abgasemissionen in realen Szenarien
- Bisher wurden Messungen am Fahrzeug nur mit Verbrennern durchgeführt. Die Elektrifizierung der Fahrzeuge wirkt sich erheblich auf Bremsemission im realen Betrieb aus.
- Rekuperation => Reduktion der Emissionen um bis zu 90% (UFP)
- Hartmetall-Bremsbeschichtung -> Reduktion der Emissionen um bis zu 78,9% (80%)
- Lamellenbremse technisches Funktionsprinzip im Fahrzeugeinsatz (Demonstrator) nachgewiesen



Vielen dank für Ihre Aufmerksamkeit

**ZEDU1**



Vielen dank für Ihre Aufmerksamkeit

**ZEDU1**



Allrad-Rollenprüfstand - DLR Stuttgart

Find ZEDU-1 at: DLR-Portal: [ZEDU-1: Das im Betrieb umweltfreundlichste Auto der Welt - DLR Portal](#)  
Ntv PS Automagazine: [Was steckt im "umweltfreundlichsten Auto der Welt"? - n-tv.de](#)  
SWR-Stuttgart: <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/stuttgart/stuttgart-umweltfreundlichstes-auto-der-welt-100.html>  
SWR-Landesschau: <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/sendung-1930-uhr-vom-2892022-108.html> (SWR 28.09.2022. from minute 12:20 )  
YouTube: [Roll-out ZEDU-1: emissionsfrei unterwegs in die Zukunft ohne Feinstaub und Mikroplastik](#)

