



Bremskonzepte und derer Feinstaub- Emissionsverhalten

**Untersuchungen und
Lösungen für das Zero
Emission Drive Unit Phase 1
(ZEDU-1) Fahrzeug**

**Franz Philipps, Linda Bondorf
DLR-Stuttgart**

Agenda

Herausforderung (Motivation)

- Gesundheitsrisiko Feinstaub
- EU-Luftreinheitsrichtlinie
- Euro 7

ZEDU1

- Ziele
- Fahrzeuge
- Bremsauswahl

Testverfahren

- Messkonzepte
- Messtechnik
- Prüfstände
- Fahrprofile

Messergebnisse

- Graugussbremse
- HM-Beschichtung
- Rekuperation
- Lamellenbremse



Allgemeines

Feinstaub



Herausforderung

Feinstaub

WHO/EEA /UBA:

- Aus Gesundheitsgründen Reduzierung des Feinstaubes in Städten erforderlich
(☛ ~ 9 Mil. Menschen/a weltweit (WHO); EU ~ 300.000 Menschen/a (EEA); DE ~ 50.000 Menschen/a (UBA))

Gesundheitsorganisationen:

- Lebensverkürzung durch Feinstaub
(Ø ~ 1 Jahr Lebenszeit Welt); Indien/China ~ 2-3 Jahre (Quelle: IHME, 2020))

UBA:

- Straßenverkehr dominierende Quelle für Feinstaub: ~ 40% - 60 %
- Nicht-Abgas-bedingte Feinstaub-Verkehrsemissionen: ~ 85 %
 - Bremsenabriebe: ~ 20 - 25 % des Feinstaubes in Deutschland (~90% UFP)
 - Abrieb von Reifen: ~ 30 - 35 % des Feinstaubes in Deutschland
 - Straßenabrieb: ~ 15 - 20 % des Feinstaubes in Deutschland
 - Mikroplastik: ~ 25 - 30 % des Mikroplastiks in Deutschland

EURO7:

- regelt nicht abgasbedingte Partikel aus Bremsabrieben (GTR24) (und Reifenabrieben (UN WP.29))
- ab 29.11.2026 für PKW neu (7 mg/km (PEV: 3 mg/km), ab 2035 für alle: 3 mg/km)
- ab 28.05.2028 für NFZ (t.b.d.)

Neue EU Richtlinien für Luftqualität:

- Defacto Halbierung der Feinstaub-Grenzwerte bis 2030
 - für $PM_{2,5}$: 10 $\mu g/m^3$ (Bedeutet: Verringerung um den Faktor 2,5 in 5 Jahren)
 - für PM_{10} : 20 $\mu g/m^3$ (Bedeutet: Verringerung um den Faktor 2 in 5 Jahren)

Fazit:

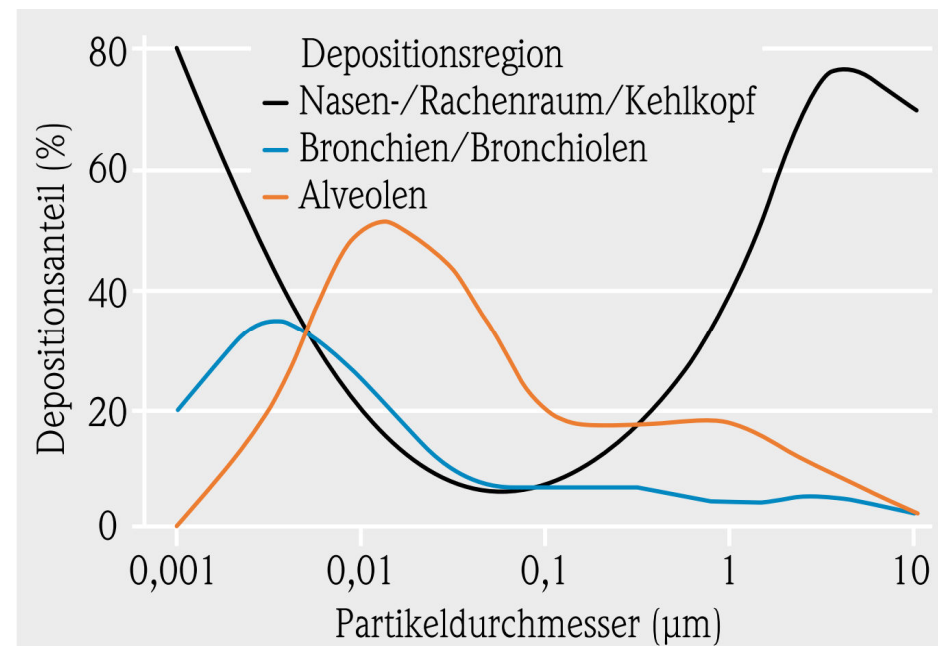
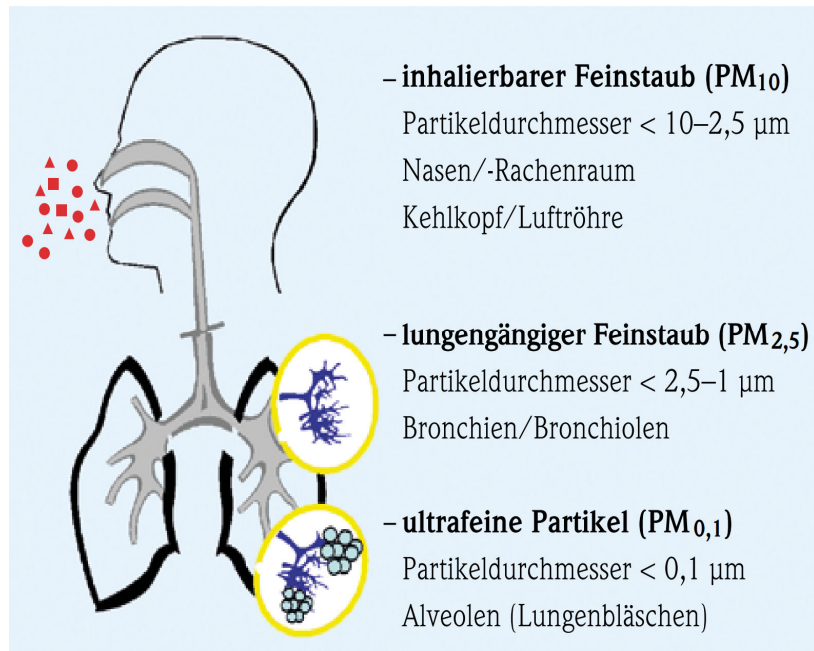
- Stakeholder:
 - Gesellschaft (Gesundheit)
 - Gesetzgeber (Verpflichtet der Gesellschaft)
 - Kommunen (Verpflichtet dem Gesetz/Gesellschaft)
 - Industrie (Verpflichtet dem Gesetz/Wirtschaftlichkeit)
- Regulierte Größe:
 - Masse (Gewicht)
- Gesundheitsrelevant:
 - Partikelgröße, Anzahl und biologische Wirksamkeit (chem. Zusammensetzung, reaktive Oberfläche, ..)

Quellen :

- [EURO7 EU-2024/1257-Verordnung](#)
- [Revision EU ambient air quality legislation \(europa.eu\)](#)
- [Commission proposes rules for cleaner air and water \(europa.eu\)](#)
- [Luftreinhaltung in der EU | Umweltbundesamt](#)

Herausforderung

Partikeldeposition als Funktion des Partikeldurchmessers

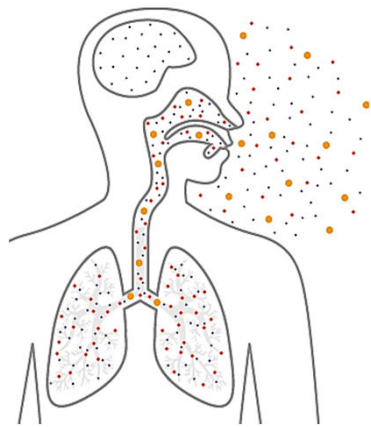


Fazit:

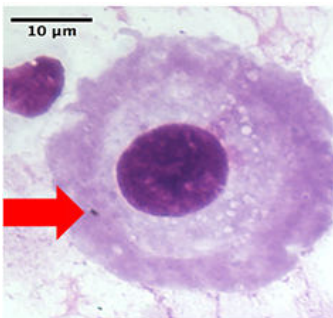
- Noch äußerst unklar, welche UFP welche Wirkung auf Organismen haben -> Etablierung der Nanotoxikologie.
- Wirksamkeit ist abhängig von: **Größe** (Depositionsregion), Konzentration, Oberfläche, Struktur, physikalischen und chemischen Eigenschaft sowie der gesundheitlichen Konstitution des Betroffenen.

Herausforderung

Feinstaub und ultrafeine Partikel (UFP)



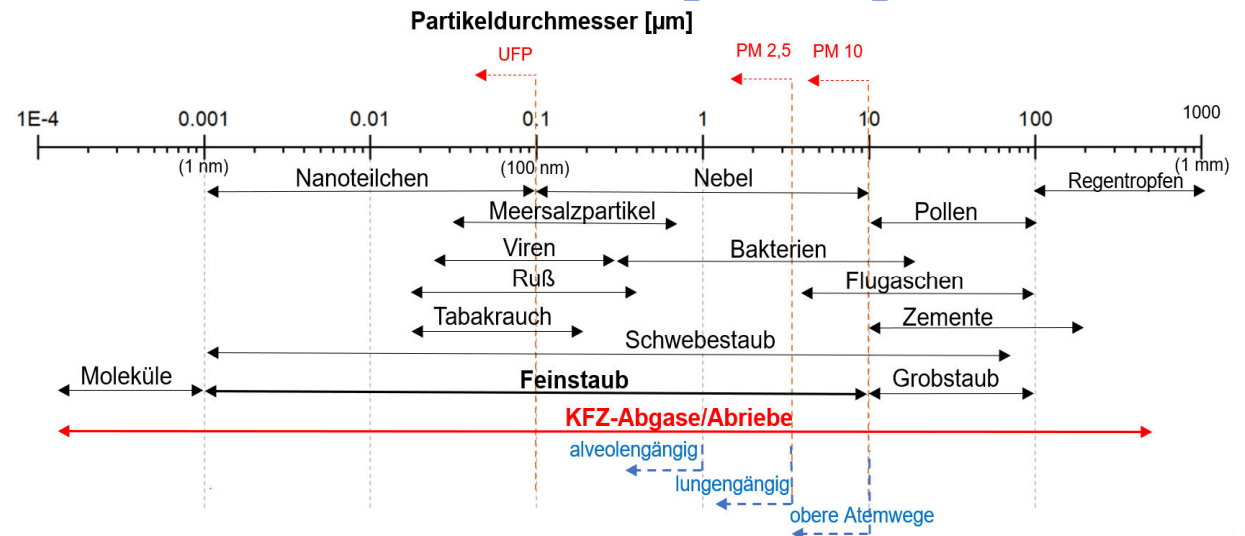
- 10 μm (PM₁₀)
- 2.5 μm (PM_{2,5})
- 0.1 μm (UFP)



Nanopartikel in einer Plazentazelle

Quelle:

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



Fazit:

⇒ Insbesondere Ultrafeinpartikel (UFP):

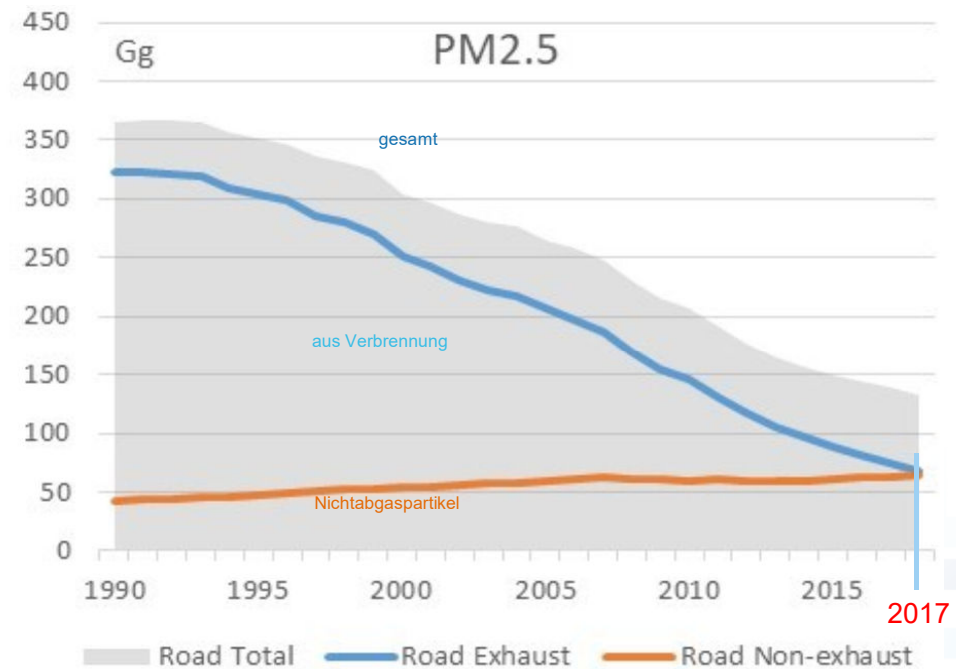
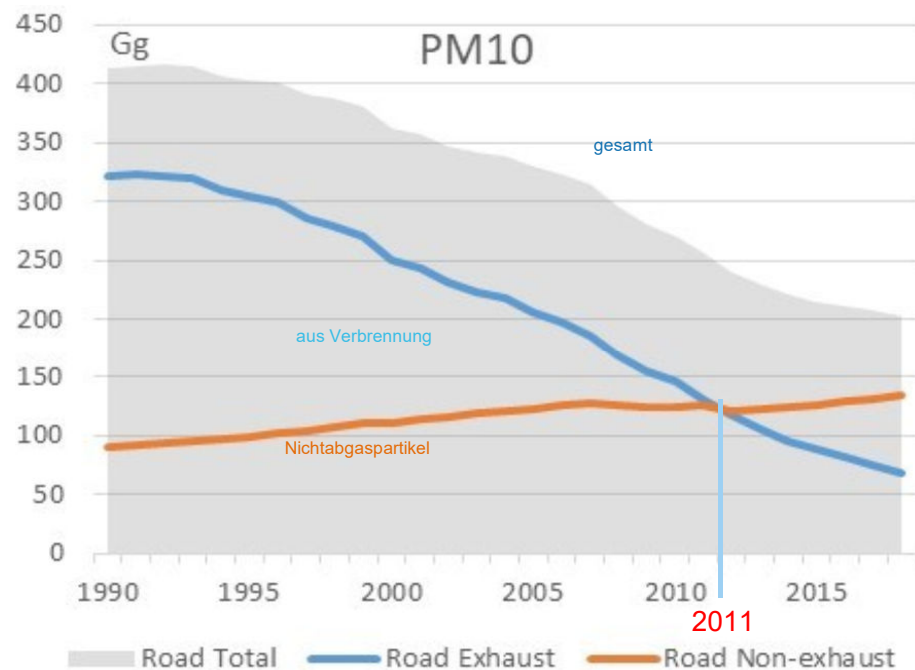
- Dringen tief in die Lunge bis in die Alveolen, Lungengewebe und Blutkreislauf
- Betreffen alle Organe
- Haben eine große (aktive) Oberfläche
- Bleiben beliebig lange in der Luft (Aerosole)
- Unbegrenzte Verbreitung (in der Antarktis, auf Gletschern, ... zu finden)
- Quelle des oxidativen Potentials ⇒ **Hohes Gesundheitsrisiko**

⇒ KFZ-Abriebe Quelle für Partikel aller Größen

⇒ Angaben PM₁₀ und PM_{2,5}: unzureichender Bezug zu biologischen Wirksamkeit

Herausforderung

Nicht-Abgasemissionen im Straßenverkehr

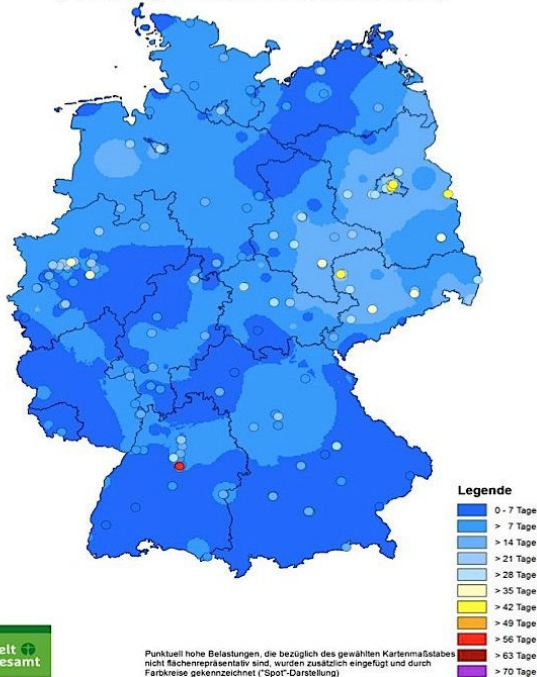


Quelle: Eionet Report - ETC/ATNI 2020/5

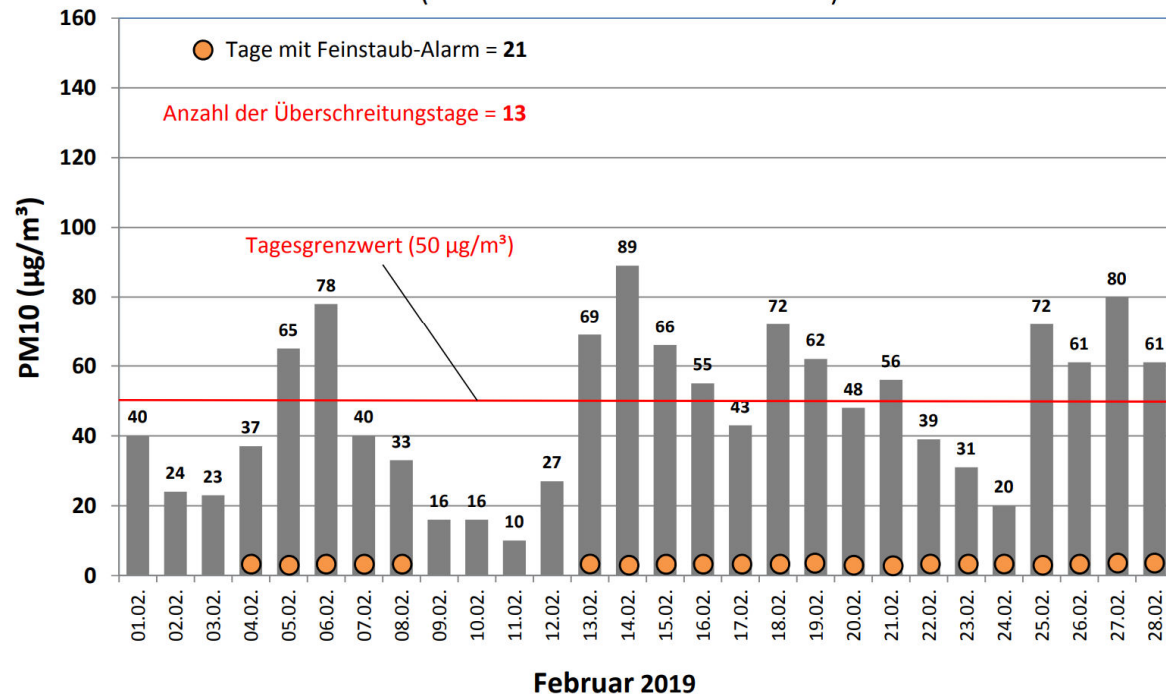
Herausforderung

Feinstaub-Messstelle: Am Neckartor, Stuttgart

PM₁₀ - Tagesmittelwerte
Zahl der Überschreitungen von 50 µg/m³
Jahr 2014
(vorläufige Daten Stand 21.01.2015)



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



Quelle: LUBW, Grafik: AfU Stuttgart

Motivation

Vision

➤ Emissionsfreie Mobilität

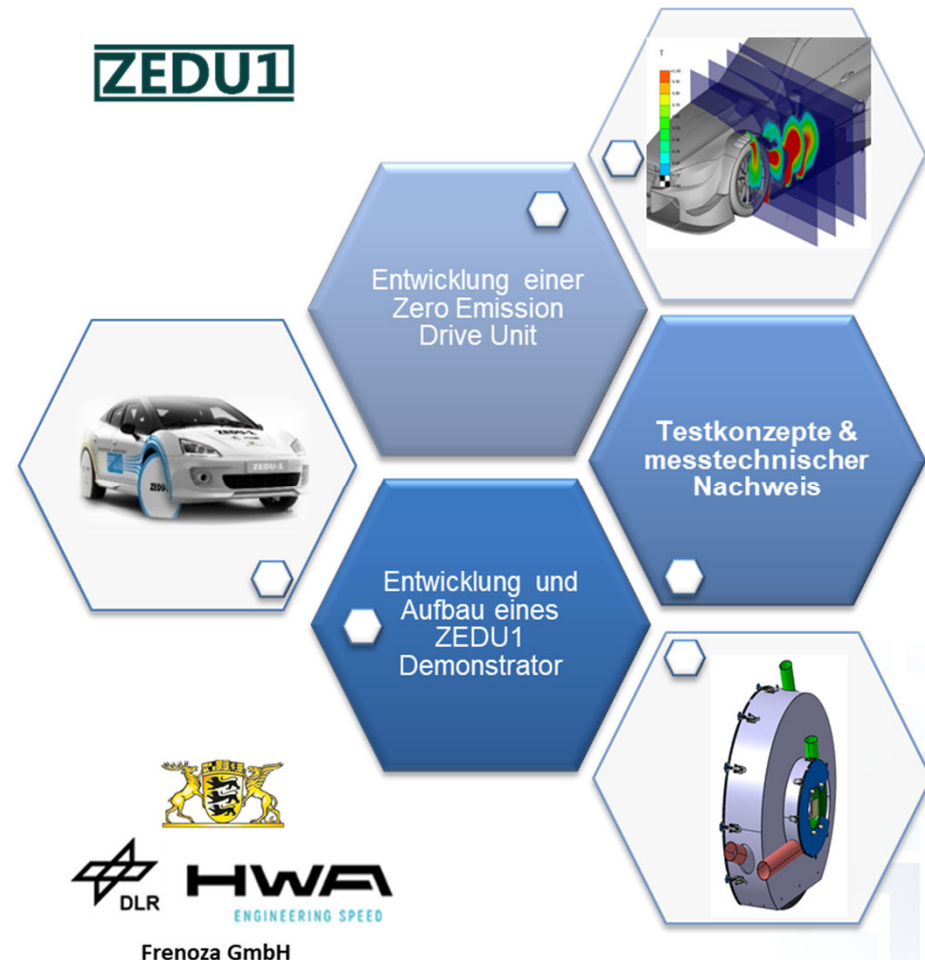
- Verbesserung der Luftqualität
- Reduktion der Belastungen durch den Fahrzeugverkehr
- Paradigmenwechsel: Autofahren verbessert die Luftqualität



ZEDU-1

Ziele

- 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



ZEDU-1

Fahrzeuge

Referenzfahrzeug

Methodenentwicklung und
Bestimmung von (Status Quo)
Partikelemissionen aus
Brems- und Reifenabrieben



BMW i3

- Entwicklung von Messverfahren
- Separate Vermessung von Bremsen und Reifenabrieben in unterschiedlichen Szenarien
- Fahrprofile: normkonforme (Rolle) und reale Straßen Tests (RDE)

Demonstrator-Fahrzeug

Demonstration der
Technologien



ZEDU1 – Demonstrator

- Vermessung der Emissionen zur Bestimmung der Feinstaub-Einsparung durch ZEDU-Technologie

ZEDU-1

Bewertung Bremskonzepte (Literatur)

WECODUR[®]

Different solutions for the reduction of particulate matter possible

Modification	Fine dust reduction	Weight reduction	Damping behavior	Initial design effort	Costs per vehicle	Running costs
Pad modification (NAO)	✓	-	-	-	-	-
Recuperation (e-drive)	✓✓	-	-	-	-	✗
Drum brakes	✓✓✓	✗	✗	✗	-	-
Filter systems	✓✓	✗✗	-	✗	✗	✗
Harder brake rotor alloys	✓✓	✓	✗	✓	✗✗	✓
Nitro-Carburizing	✓	-	-	✓	✗	✓
Hard coated brake rotors	✓✓✓	✓✓	✓	✓	✗	✓

AVL Techdays in Alzey, 07.03.2023

© HPL Technologies, Aachen

Fazit:

Laut Recherche sind zur Abriebsreduktion Vielversprechend:

- Technologien:
 - Rekuperation
 - Hartmetallbeschichtung
- Betriebsstrategien:
 - Fahrprofil
 - Geschwindigkeit

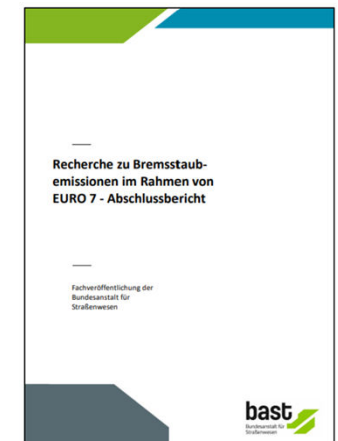
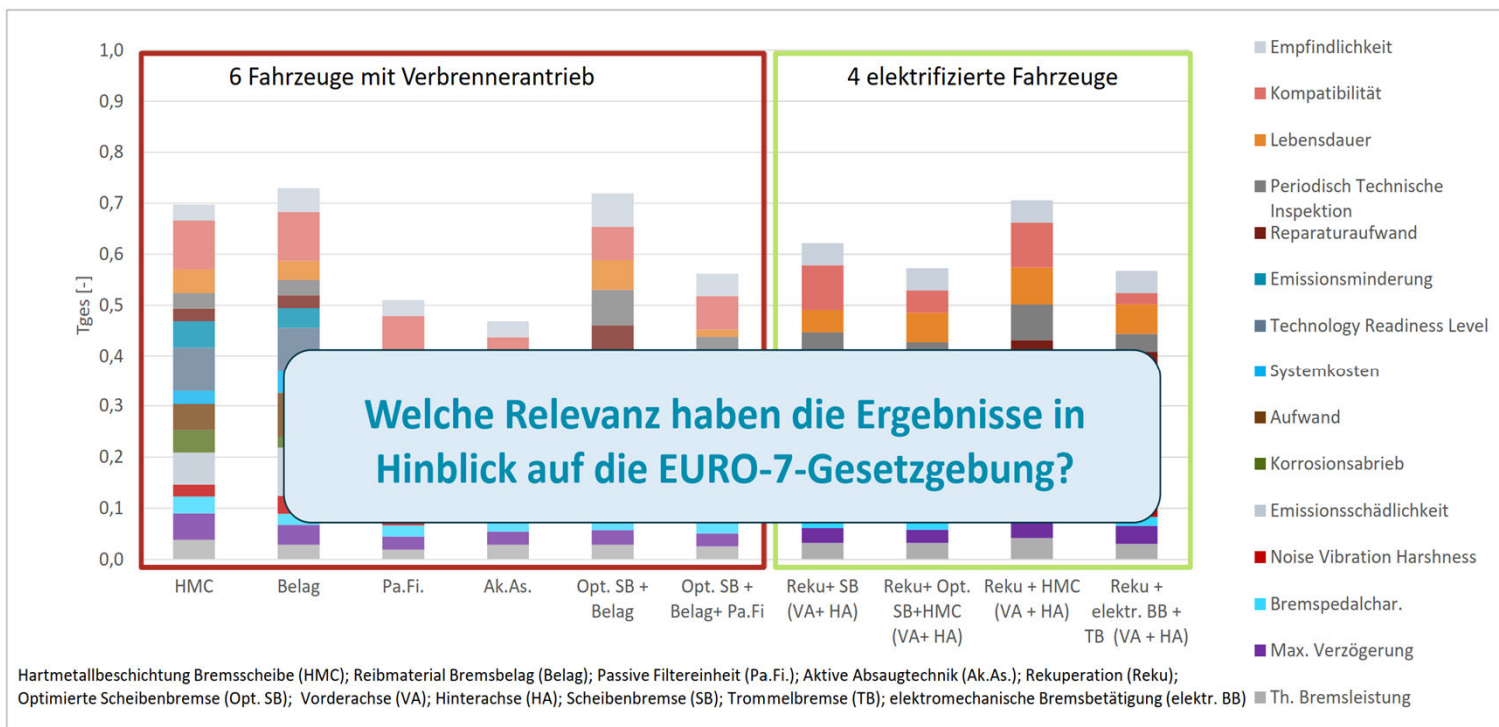
Temperatur als Emissionsreduktionspotential wurde nicht betrachtet

Technical options	Degree of emission reduction	Catch rates	Cost of component	Integration effort	Packaging requirements	Impact on other components/performance	Serviceability	Operational robustness	Cycle relevant (4/20)	GENERAL EVALUATION
Coated Discs	🟡	n.a.	🟡	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	Y	🟡
Friction materials (e.g. brake pads)	🟡	n.a.	🟡	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	Y	🟡
Recuperative braking	🟡	n.a.	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟡	Y	🟢
Deceleration strategies (e.g. predictive driving)	🟡	n.a.	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟡	N	🟢
Lower speed average in future	🟡	n.a.	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟡	N	🟢
Reduced drag torque	🟡	n.a.	🟡	🟡	🟡	🟢	🟢	🟡	Y	🟡
Active filtering (s. Tallano)	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟢	🟡	🟢	Y	🟡
Passive filtering (s. M&H)	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟢	🟡	🟡	Y	🟡

C. Danner: AVL Brake Wear Techday

ZEDI-1

Brems-Konzept Bewertungen (Literatur)



Fazit

Bremstechnologien mit Potential:

- Hartmetallbeschichtete Bremsscheibe
- Belagsmodifikation
- BEV's - Rekuperation

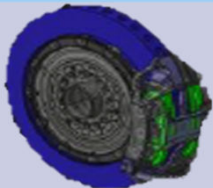
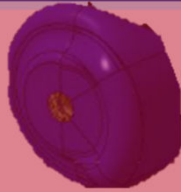
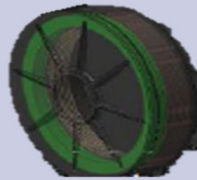
Nicht betrachtet:

- Fahrprofil (Einfluss Verzögerung)
- Geschwindigkeitsreduktion
- Temperaturreduktion

Quelle: Farwick zum Hagen: Recherche zu Bremsstaubemissionen im Rahmen von EURO 7

ZEDU-1

Konzepte Bremse - Auswahl

Kriterium	Konzept1	Konzept2	Konzept3	Konzept4	Konzept5
Darstellung					
Beschreibung	HM-Beschichtung	Filter zusätzlich	gekapselt	Lamellenbremse	Wird im Rahmen dieses Vortrags nicht betrachtet. Siehe dazu Beitrag von: Christoph Köhler „Bremsen ohne Feinstaubemissionen Die innovative Hybridbremse für Nutzfahrzeuge“
Grad der Emissionsvermeidung	teilweise ---	teilweise ---	vollständig +++	vollständig +++	
Entwicklungsaufwand	++	+	-	+	
Entwicklungsrisiko	+	0	- -	+	
Gewicht	+++	+	-	0	
Kosten	++	+	-	+	
Bewertung	+	--	0	+++	
Entwicklung bei	Frenoza			HWA	

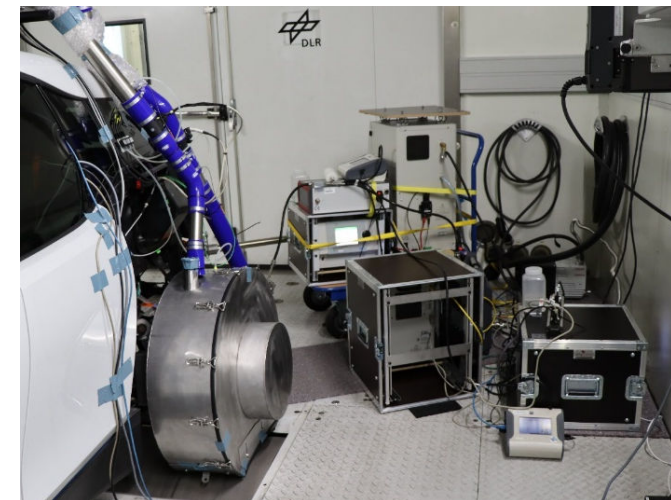
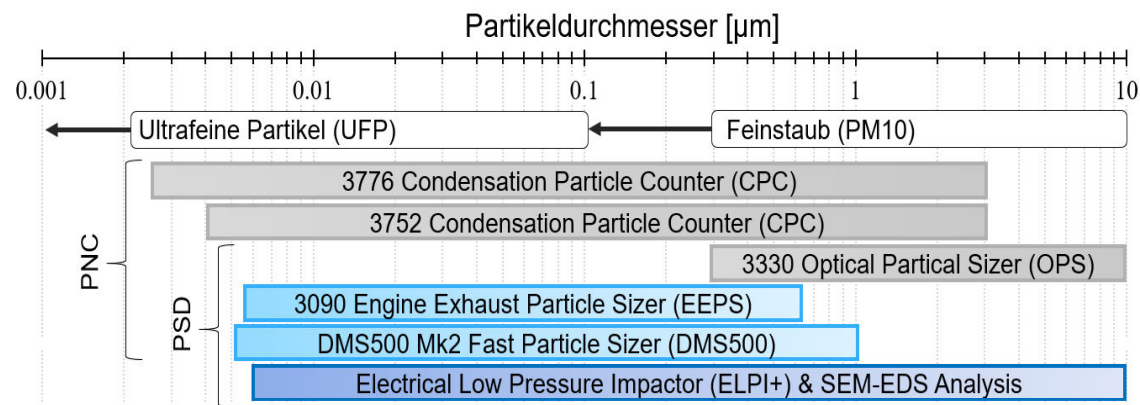
Testverfahren

Messkonzept Bremse



Testverfahren

Partikelmesstechnik



Fazit:

Charakterisierung der Emissionen:

- Partikelanzahlkonzentration
- Größenverteilung
- Morphologie
- Elementare Zusammensetzung

Testverfahren

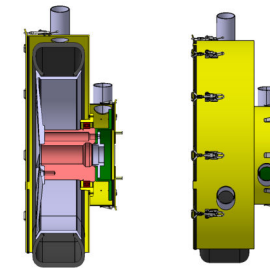
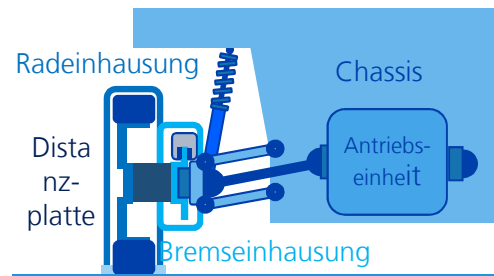
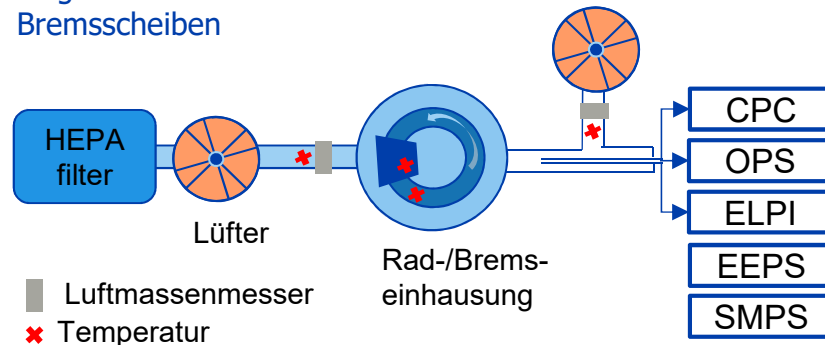
Referenzfahrzeug - Messkonzept

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



Lüfter 1&2

Zuluftkanal

Einhausung

HEPA-Filter

Abluftkanal

Probenahme



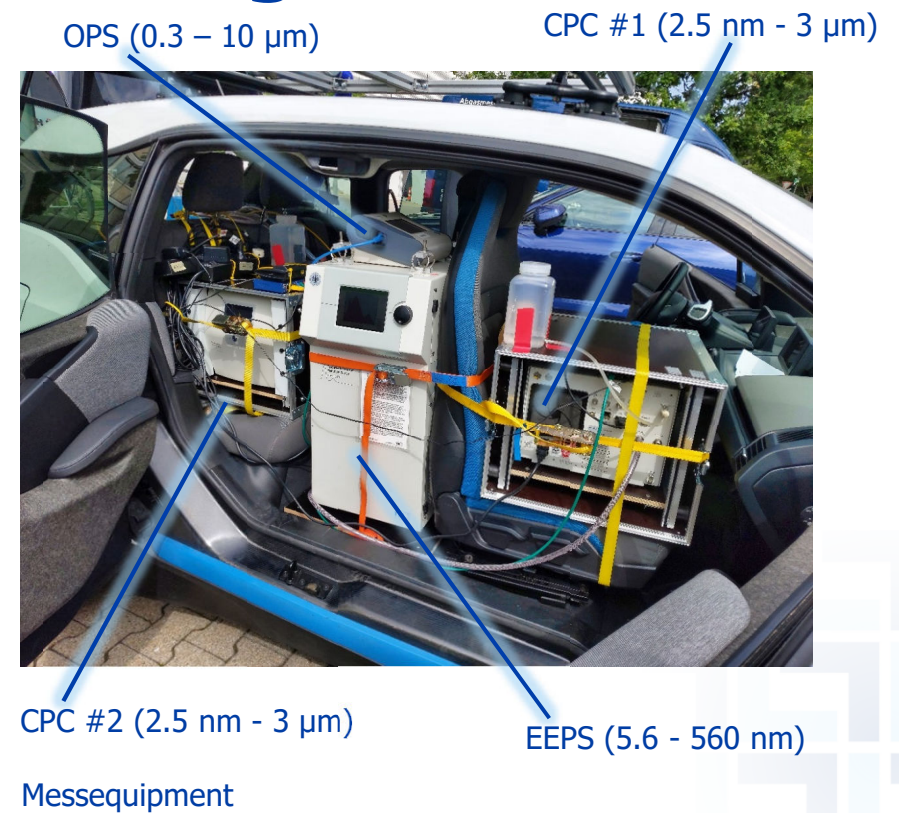
Patent: Augsburg, K., D. Hesse, and F. Wenzel, DE 10 2017 006 349 B4

Testverfahren

Messaufbau für mobile Messungen



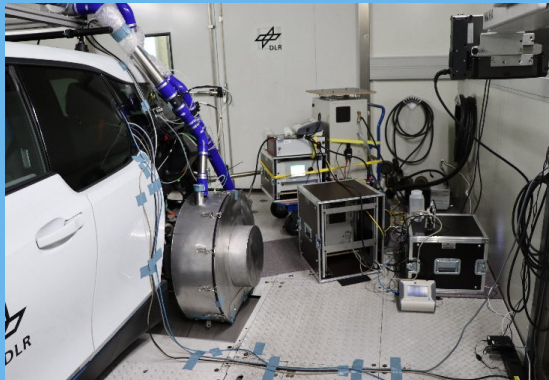
Stromversorgung, Datenlogger und Wandler



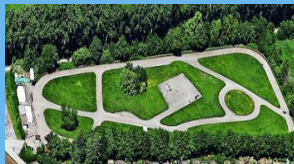
Testverfahren

Messfahrten Referenzfahrzeug

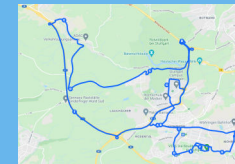
Rollenprüfstand



Testgelände



Realfahrten (RDE, Straße)



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



Testverfahren

Messszenarien Demonstrator-Fahrzeug

Rollenprüfstand (DLR)



Testgelände (Boxberg)



Messprogramm

Bremse	WLTC Class 3	WLTC Brake Part 10	RDE (Realer Fahrzyklus)	ZEDU- Accelerate	Rekuperation	Gewichts- bestimmung
Grauguss	✓	✓	✓	✓	✓	✓
HM-Beschichtet	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Induktion (Hybrid)				✓		
Lamellenbremse	✓		✓	✓		

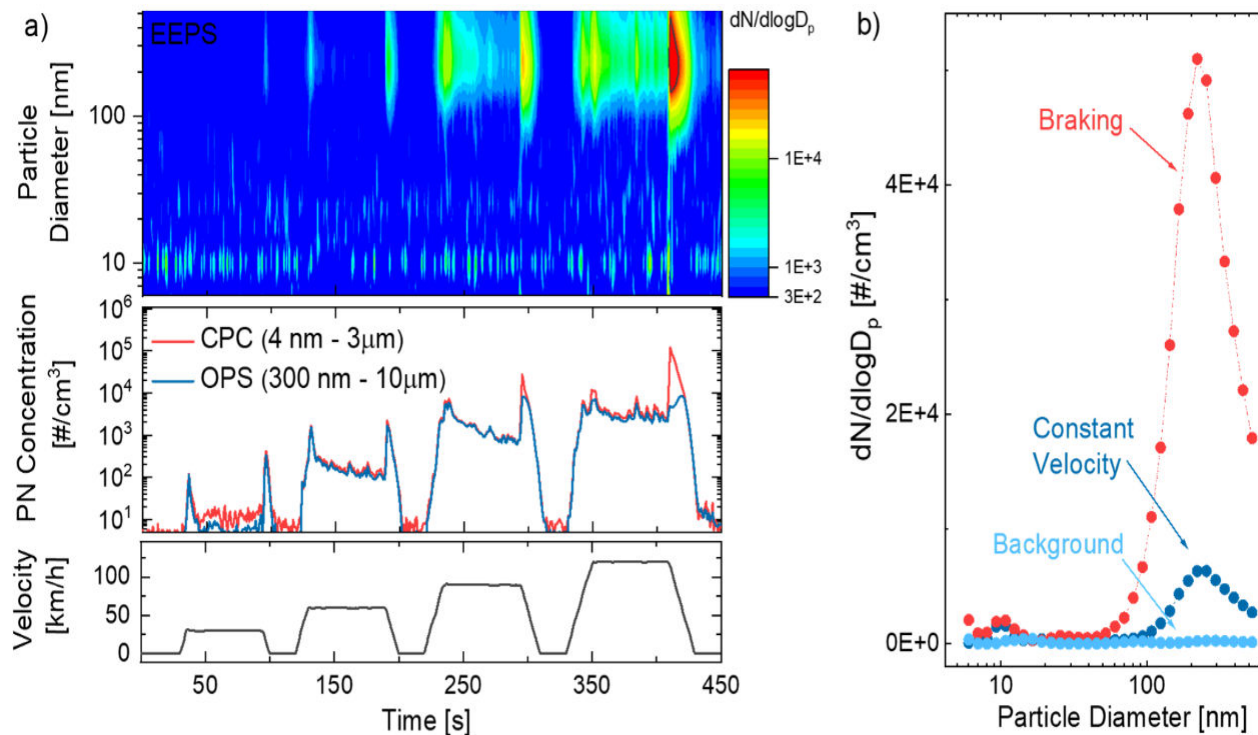
Messergebnisse

Konventionelle Bremse (Grauguss)



Messergebnisse: konventionelle Bremse

Bremspartikelemissionen (ZEDU Brake Zyklus)



Fazit:

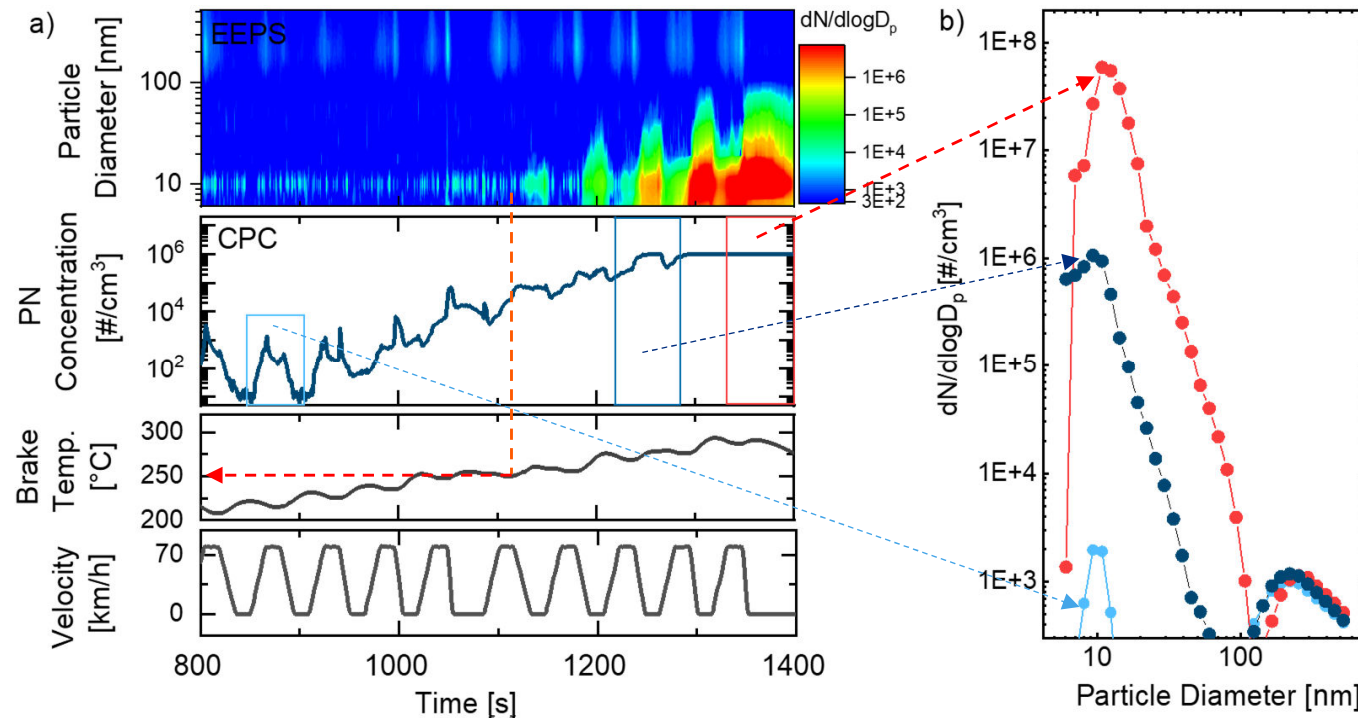
- Bremspartikelemissionen finden hauptsächlich in den Bereichen ~ 10 nm und ~ 200 nm bis 300 nm statt
- Emissionen auch bei konstanter Geschwindigkeit - überwiegend im Bereich ~ 200 nm bis 300 nm (Schleifen)
- Emissionspeaks bei Bremsvorgängen im Bereich ~ 200 nm bis 300 nm
- Emissionen der Modi im Bereich 200nm sind Bremskraft abhängig (mechanisch)
- **Reduktionspotential:** Unterbinden des „Schleifen“ der Belege.

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

b) Größenverteilung der Partikelemission (EEPS) für verschiedene Fahrsituationen: konstante Geschwindigkeit von 120 km/h, Bremsvorgang und Hintergrund.

Messergebnisse: konventionelle Bremse

Bremspartikelemissionen (ZEDU Accelerate Zyklus)



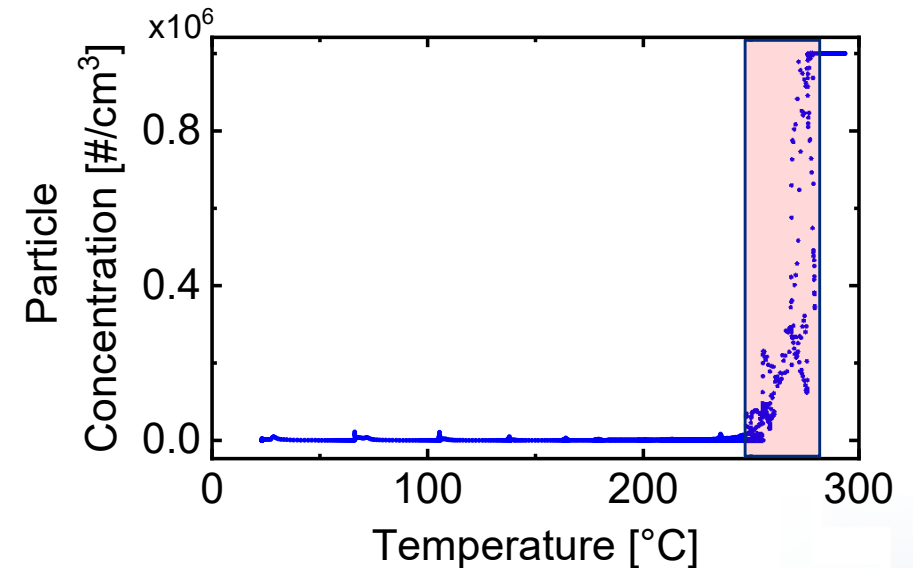
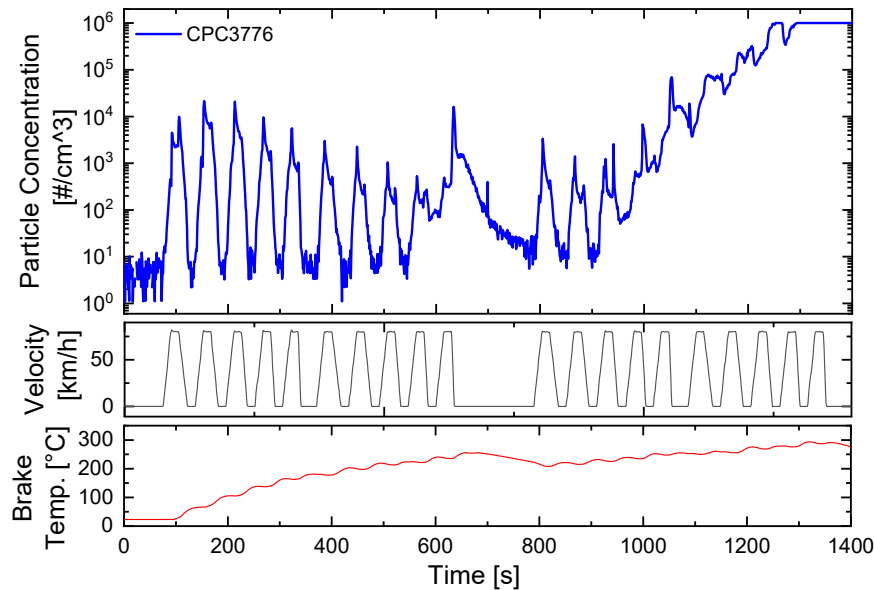
Fazit:

- Bremspartikelemissionen bei höheren Temperaturen finden hauptsächlich in den Bereichen ~ 10 nm statt (thermisch induzierte Prozesse)
- Anzahl der Emissionspartikel bei einer Temperatur der Bremse im Bereich $\sim 275^\circ\text{C}$ bis $\sim 300^\circ\text{C}$ um Faktor **10^5** höher als durch die Bremskraft bedingte Emissionsanzahl.
- **Emissionsreduktionspotential:** Temperatur der Bremse unter der kritischen Grenze, $\sim 250^\circ\text{C}$, halten.

- a) Partikelanzahlkonzentration und Partikelgrößenverteilung mit CPC bzw. EEPS gemessen.
b) Größenverteilung der Partikel unterschiedliche für Brems Temperaturen (EEPS). Der gemittelte Zeitraum ist farblich gekennzeichnet.

Messergebnisse: konventionelle Bremse

Bremspartikelemissionen & Bremstemperaturen



Anmerkung. Typische Bremstemperaturen:

- Stadtverkehr ca. 150 °C
- Moderates Bremsen bis ca. 250°C
- Scharfes Bremsen 300°C - 500°C
- Sportliches Fahren/Notbremsung ca. 600°C bis 800°C

Materialversagen:

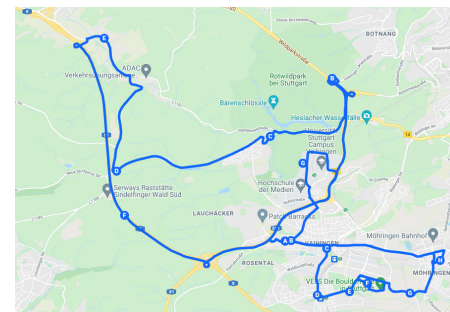
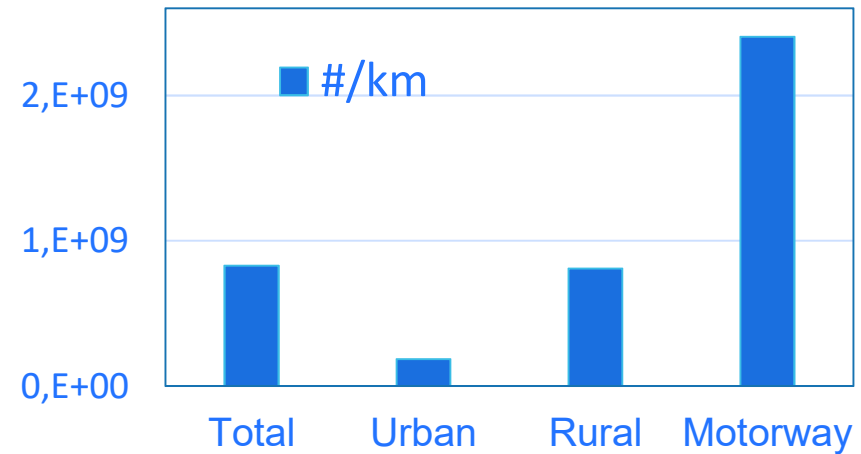
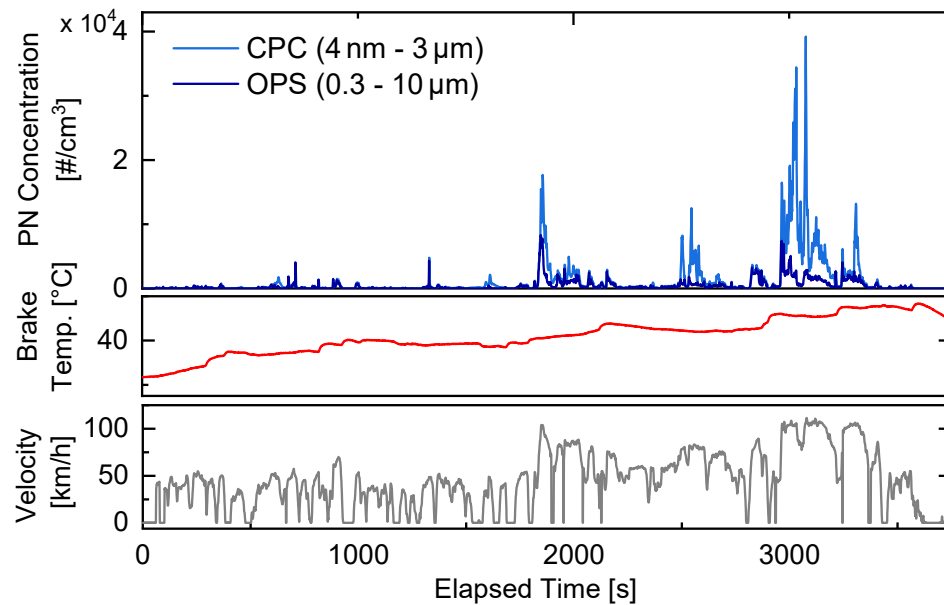
- Guss-Schieben ca. 600°C-700°C
- Carbon-Keramik über 1000°C

Fazit:

- Grenztemperatur liegt bei ~ 250°C
- **Exponentieller** Anstieg oberhalb der Grenztemperatur
- **Emissionsreduktionspotential:** Temperatur der Bremse unter der kritischen Grenze, ~250°C, halten.

Messergebnisse: konventionelle Bremse

Bremspartikelemissionen: RDE-Stuttgart



Fazit:

- Emission der Bremspartikelanzahl bei höheren Geschwindigkeiten höher.
- Emissionsreduktionspotential:** Reduktion der Fahrgeschwindigkeit.

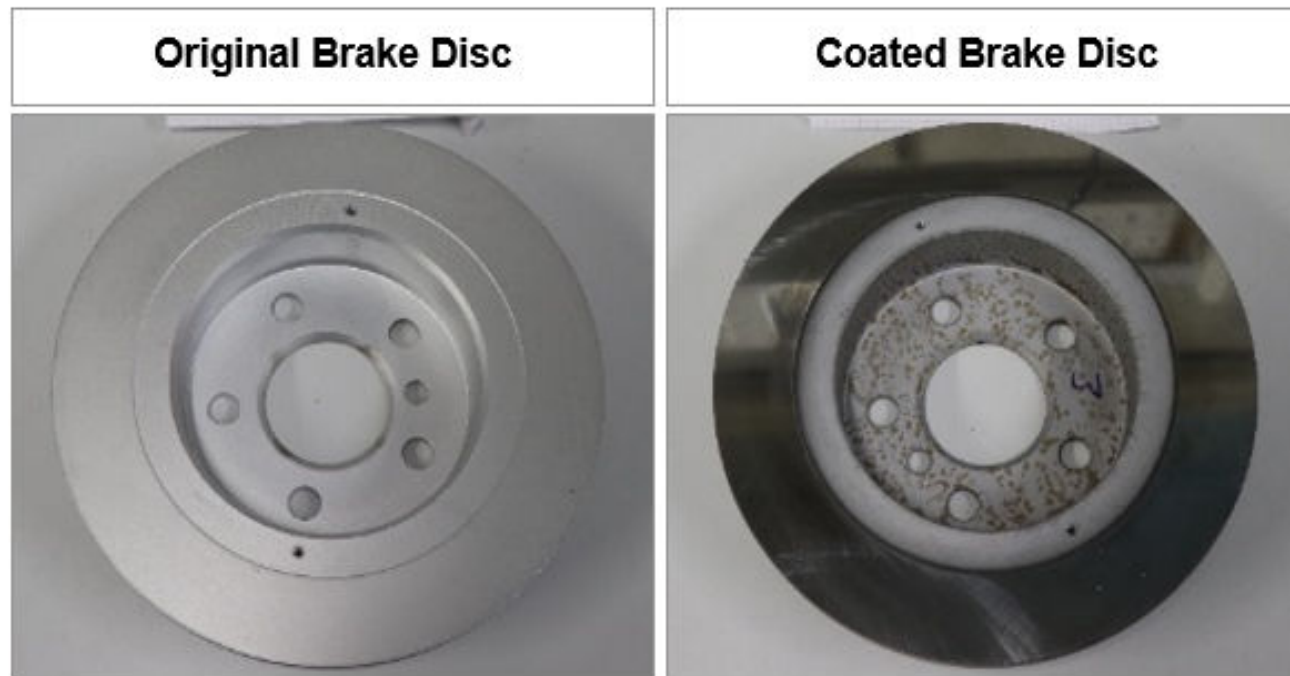
Messergebnisse

HM-Beschichtete Bremse



ZEDU-1

Original Guss-Bremsscheibe & HM-Beschichtet



Hartmetallschichtung: 20 % Wolframcarbid und 30 % Titancarbid in einer 50 % duktilen Matrix aus rostfreiem Stahl.

©FRENOZA GmbH

Messergebnisse: HM-Beschichtete Bremse

Massenverlust – Standardbremse vs. Beschichtete Bremse



Abgeriebene Masse pro 100 km:

- Standardbremse:
- Beschichtete Bremse:

0,77 g

0,20 g

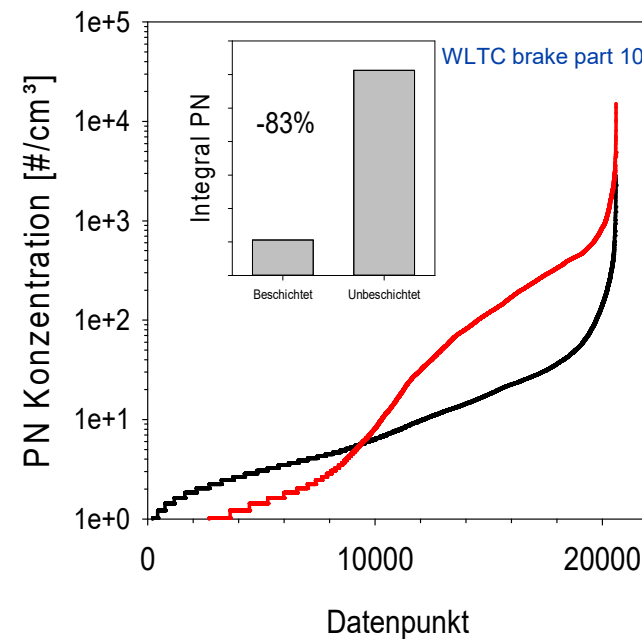
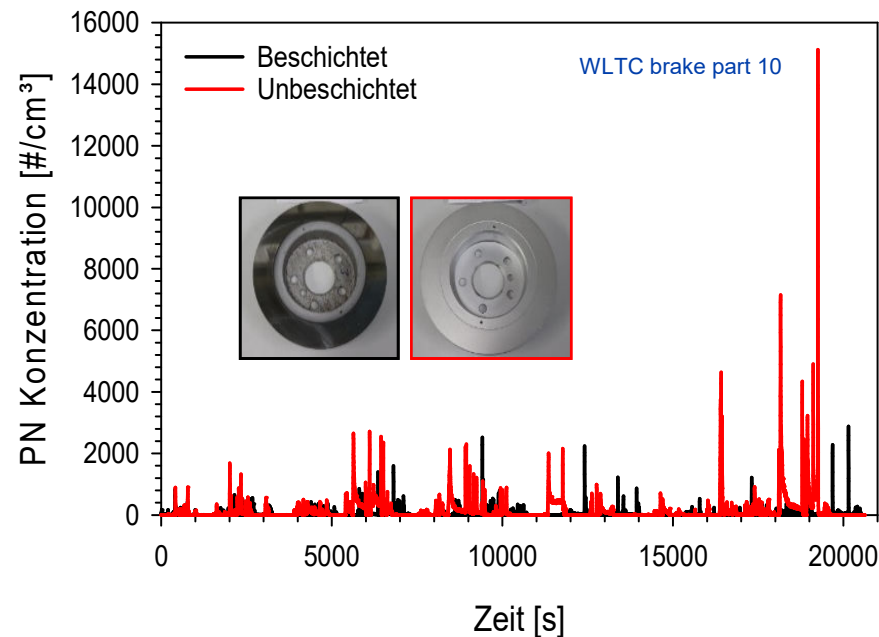
- 74 %

Abgeriebene Masse pro 100 km:

- Anteil Scheibe: 63 %. Anteil Belege 37 %
- Anteil Scheibe: 58 %. Anteil Belege 42 %

Messergebnisse: HM-Beschichtete Bremse

Bremsemissionen (PN) am Komponentenprüfstand: Einfluss der Beschichtung



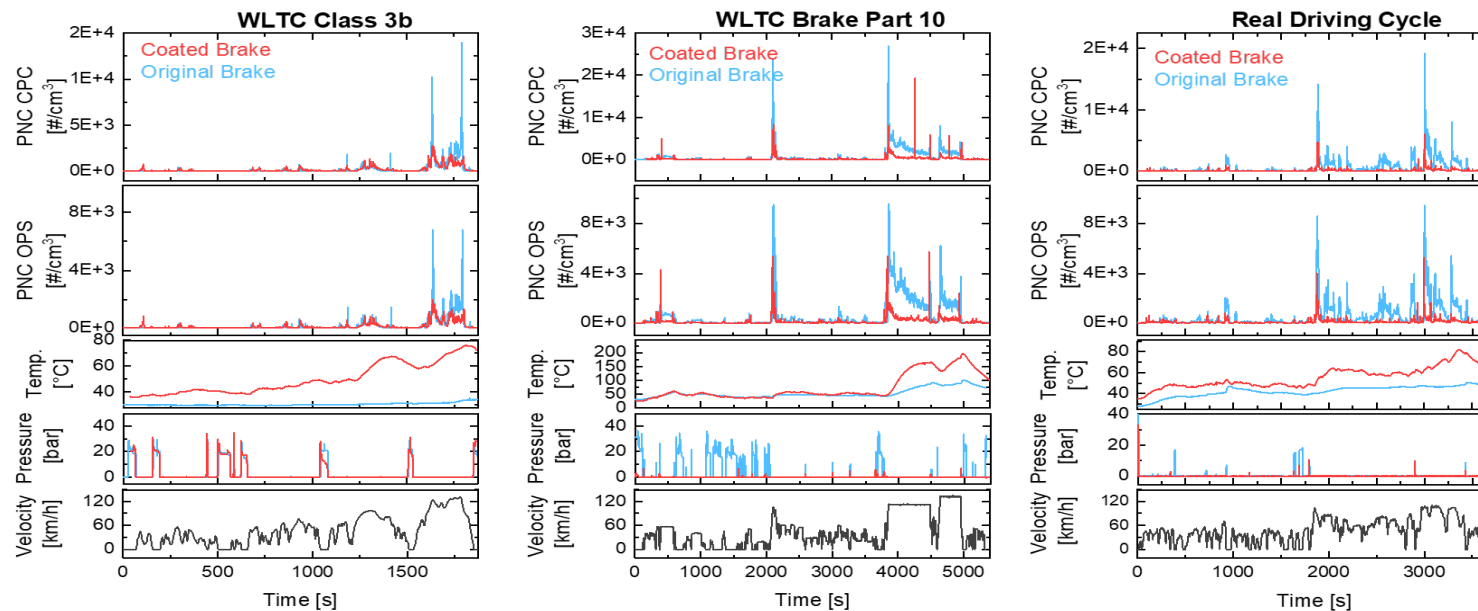
Fazit:

Beschichtung sorgt für deutliche Reduktion der Partikelemissionen.

- Gewicht: ca. 74% (diverse Fahrprofile)
- Partikelanzahl: bis zu ca. 83% (WLTC brake part 10)

Messergebnisse: HM-Beschichtete Bremse

Bremsemissionen (PN): Standard ver. HM-Beschichtete Bremsscheibe



- a) Partikelzahlkonzentration von (Ultra-)fein Partikeln mit Durchmesser zwischen 4 nm und 3 μm mit CPC gemessen
- b) Konzentration größerer Partikeln zwischen 300 nm und 10 μm mit OPS gemessen.
- c) Korrelierter Druck, Temperatur der Bremse und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs

Messergebnisse: HM-Beschichtete Bremse

Bremsemissionen (PN) und Reduktion einer HM-Beschichteten zu einer Standardbremsscheibe

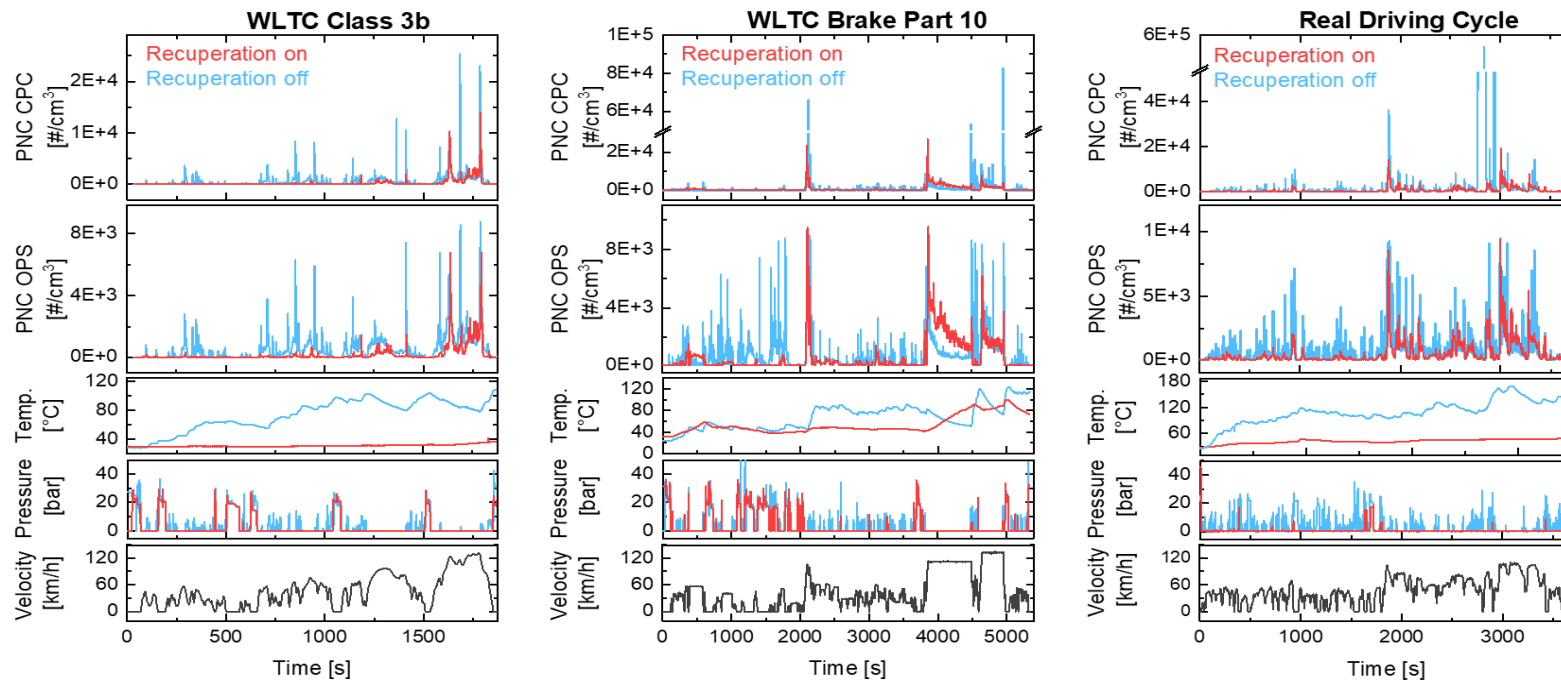
Fahrzyklus	PN-Emissionen an der HM-beschichteten Bremsscheibe [#/km]		Reduzierung der PN-Emissionen durch Beschichtung [%]	
	4 nm - 3 µm	300 nm - 10 µm	4 nm - 3 µm	300nm - 10 µm
WLTC Class 3b	1.33×10^8	8.50×10^7	19	34
WLTC Brake Part10	1.45×10^8	9.38×10^7	72	78
Realer Fahrzyklus (RDE)	$8,64 \times 10^7$	5.85×10^7	79	83

Messergebnisse

Rekuperation



Bremsemissionen (PN) mit und ohne Rekuperation



- a) Partikelzahlkonzentration von (Ultra-)fein Partikeln mit Durchmesser zwischen 4 nm und 3 µm mit CPC gemessen
- b) Konzentration größerer Partikeln zwischen 300 nm und 10 µm mit OPS gemessen.
- c) Korrelierter Druck, Temperatur der Bremse und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs

Messergebnisse: Rekuperation

Bremsemissionen (PN) 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	96	1.63×10^8	$1,29 \times 10^8$	65	68
WLTC Brake Part 10	89	$5,11 \times 10^8$	$4,27 \times 10^8$	4	
Realer Fahrzyklus	88	4.10×10^8	3.45×10^8	90	35

a) Partikelzahlkonzentration von (Ultra-)fein Partikeln mit Durchmesser zwischen 4 nm und 3 µm mit CPC gemessen

b) Konzentration größerer Partikeln zwischen 300 nm und 10 µm mit OPS gemessen.

c) Korrelierter Druck, Temperatur der Bremse und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs

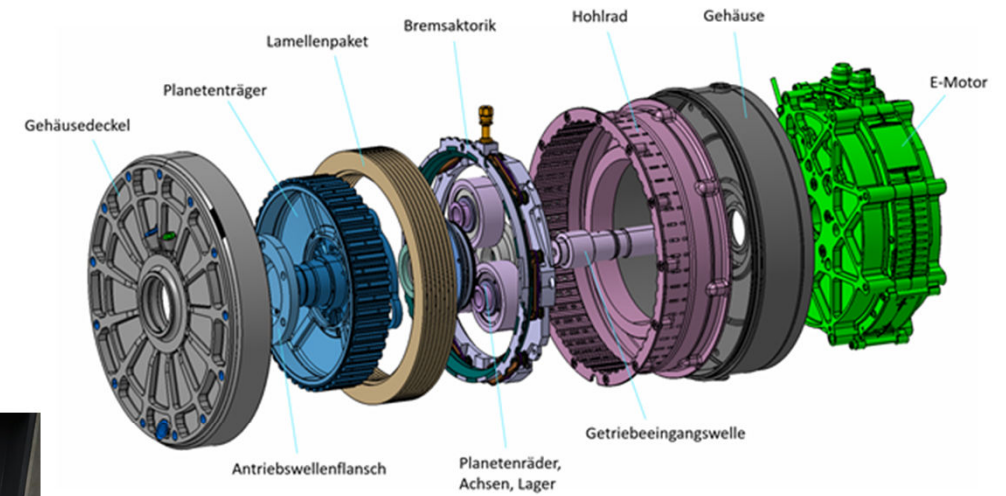
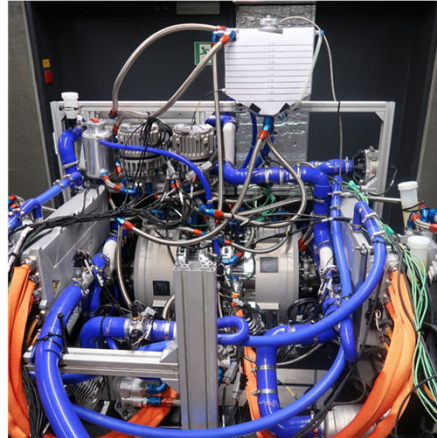
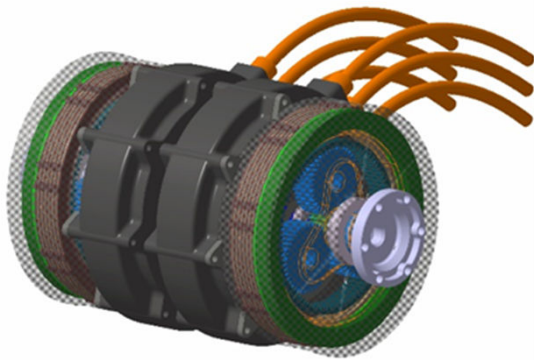
Messergebnisse

ZEDU-1 Demonstrator



ZEDU-1

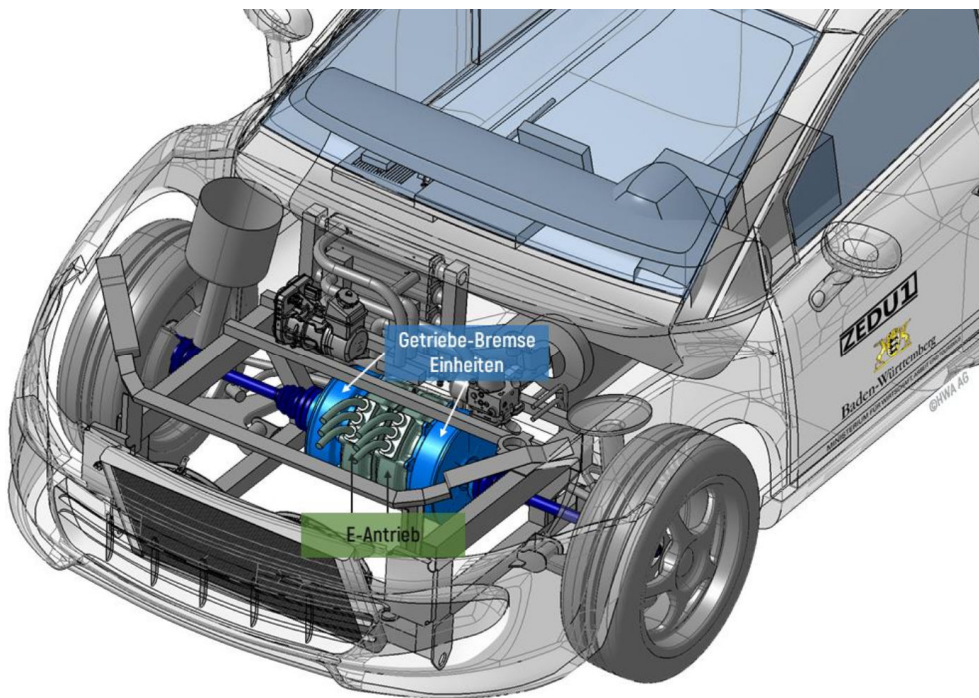
Lamellenbremse



Lamellenbremse: Packaging, Explosionszeichnung und Prüfstands Aufbau

ZEDU-1

Integration der Motor Bremseinheit ins Fahrzeug

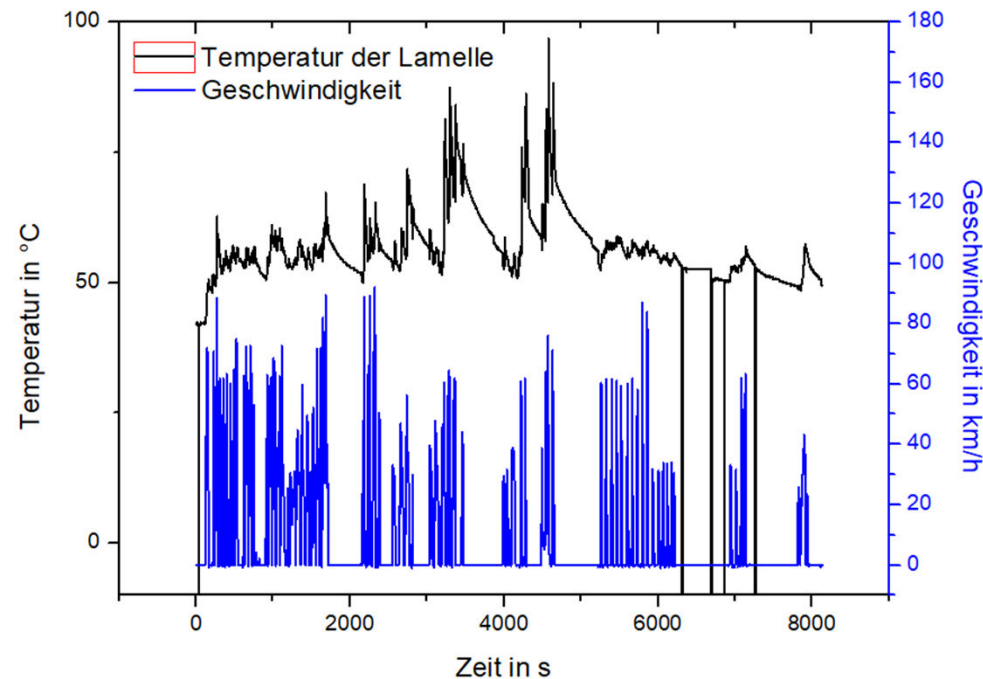


Packaging

Einbau

Messergebnisse: Lamellenbremse

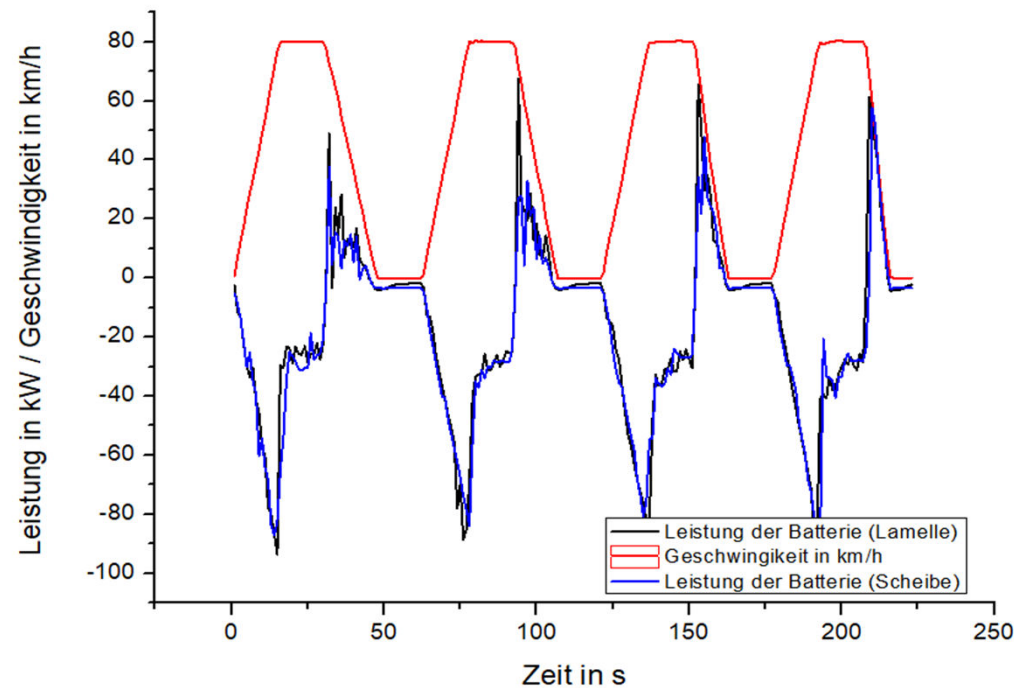
Lamellenbremse: Charakterisierung



Fazit:

- Keine Emissionen
- Bremstemperatur < 100 °C (Grenzwert 180 °C)
- Absolute Verzögerung überschreitet **Haftungs Grenze** der Reifen
- ➡ Ausreichende Verzögerung und Kühlung der neu entwickelten Lamellenbremse

Technologie-Vergleich: Scheiben- und Lamellenbremse



Fazit:

- Lamellenbremse weist ein **vergleichbares Bremsverhalten** wie die Scheibenbremse auf
- Keine signifikante Unterschiede im energetischen **Verhalten/Eigenschaften** der Bremssysteme

Fazit

Zusammenfassung

- Die gesundheitliche Relevanz der Feinstaubpartikel ist u.a. im wesentlichen abhängig von der Größe, Anzahl, chemischen Zusammensetzung, aktiven Oberfläche (Morphologie), individuellen Dispositionen der betroffenen Person u.a.m.
- Eine **reine Massenbestimmung** der Non Exhaust Emissions ist im Bezug auf gesundheitliche Relevanz nicht hinreichend.
- Abriebsemissionsprozesse sind komplexe, dynamische Systeme
- Messung der Nicht-Abgaspartikeln im realen Betrieb, im Speziellen deren Anzahl, Größenverteilung, Morphologie und elementaren Zusammensetzung ist eine neue technologische Herausforderung
- Der gezeigte on-board-Messaufbau:
 - bietet **verlustfreie, isokinetische** Probeentnahme bis in den UFP Bereich (4 nm bis 10.000 nm (10 µm))
 - ist **geeignet** zur Bestimmung von **Brems- (und Reifenabriebs-)emissionen** aufm Prüfstand und im **realen Betrieb**
 - => geeignetes Konzept für **zukünftige Enzelffahrzeug- und RDE-Messungen** von Nicht-Abgasemissionen
- Partikelverteilung und -konzentrationen hängt vom **Fahrprofil** (Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft) und **Temperatur** ab.
- 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
- **Rekuperation** => Reduktion der Bremsemissionen um bis zu **90%** (UFP)
- **Hartmetall-Bremsbeschichtung** => Reduktion der Bremsemissionen um bis zu **83%** (RDE)
- **Lamellenbremse** technisches Funktionsprinzip im Fahrzeugeinsatz nachgewiesen. => Reduktion der Emissionen um **100%**
- **Emissionsreduktionspotential:** Temperaturkontrollierte Bremse (T_{Bremse} unter der kritischen Emissionsgrenze (~250°C) halten) sowie Betriebsstrategien (geringere Geschwindigkeiten/Verzögerungen) und Geschwindigkeitsbegrenzungen.



Team:

Franz Philipps, Linda Bondorf, Manuel Löber, Tobias Grein, Sven Reiland, Steffen Wieser, Tobias Schripp

Sponsor: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg

Partner: HWA AG, Frenosa GmbH, Continental AG, Mann+Hummel GmbH, ZF



Franz Philipps
E-Mail: franz.philipps@dlr.de
Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt (DLR)
Institut für Fahrzeugkonzepte
70569 Stuttgart, Deutschland

ZEDU1


Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS

HWA
ENGINEERING SPEED

Frenosa
GmbH

**MANN+
HUMMEL**

 Continental


DLR

**Danke an das Projektteam,
unsere Partner
und für Ihre Aufmerksamkeit!**

ZEDU-1: Film (Kurzfassung)

