



Ostfalia

Hochschule für angewandte
Wissenschaften

Fakultät Maschinenbau Wolfenbüttel
Institut für Konstruktion und angewandten Maschinenbau



Deutscher Bundestag
Parlamentarischer Beirat
f. nachhaltige Entwicklung

Ausschussdrucksache
20(26)84

Feinstaub im Verkehr

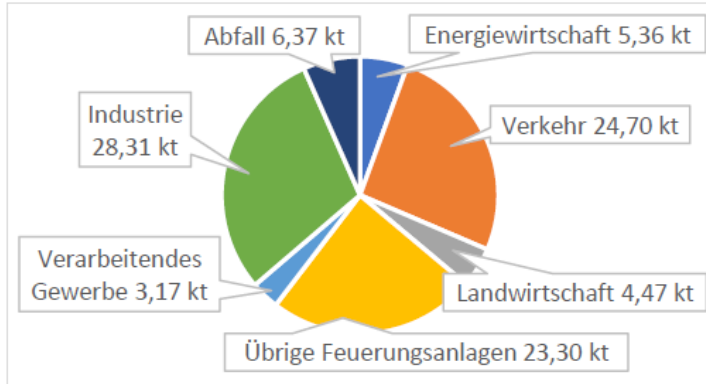
Situation und Entwicklungen

Prof. Dr.-Ing. Falk Klinge

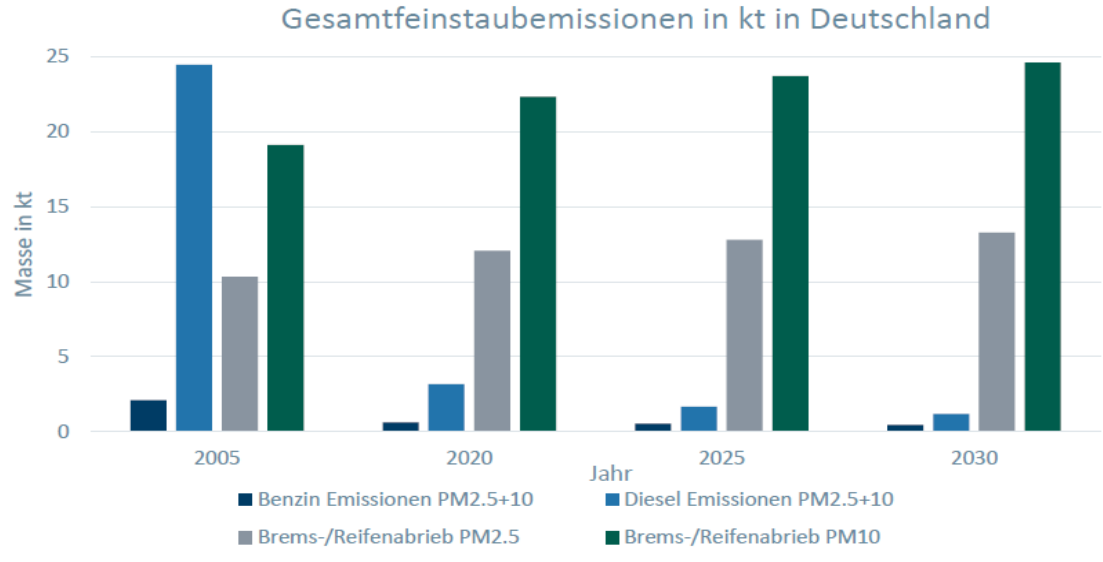
Problem: Feinstaubbelastung PM_{2,5}

(50% mit \varnothing 2,5 μm) - lungengängig

Industrie	29%
Verkehr (Auto, Bahn, Bus)	25%
➤ Abgas, Brems- u. Reifenabrieb	
Feuerungsanlagen	24%
Sonstige	22%



[Umweltbundesamt 2020]



[Umweltbundesamt 2014]

Zunahme der Staubbelastung durch

- mehr Verkehr
- schwerere Fahrzeuge (E-Autos: + 300kg)

Möglichkeiten zur Verringerung des Feinstaubes

- Ausbau ÖPNV
- (Einschränkung des Individualverkehrs)
 - Verringerung der Fahrgeschwindigkeit für schwere Fahrzeuge in der Stadt:
 - > 500 kg => 30 km/h
 - < 500 kg => 50 km/h
- Einbau von Filtern für Brems- und Reifenabriebsstäube:
 - Autos, LKWs
 - Bahnen
 - Busse
- Leichtere Fahrzeuge

kurzfristig: 3-6 Monate

mittelfristig: 1-2 Jahre

langfristig: > 3 Jahre

Kurzer Einschub: der HU Meier Windkanal (HUM)



H.-U. Meier Windkanal

Prof. Dr.-Ing. Falk Klinge

Video von Jona Hallmann

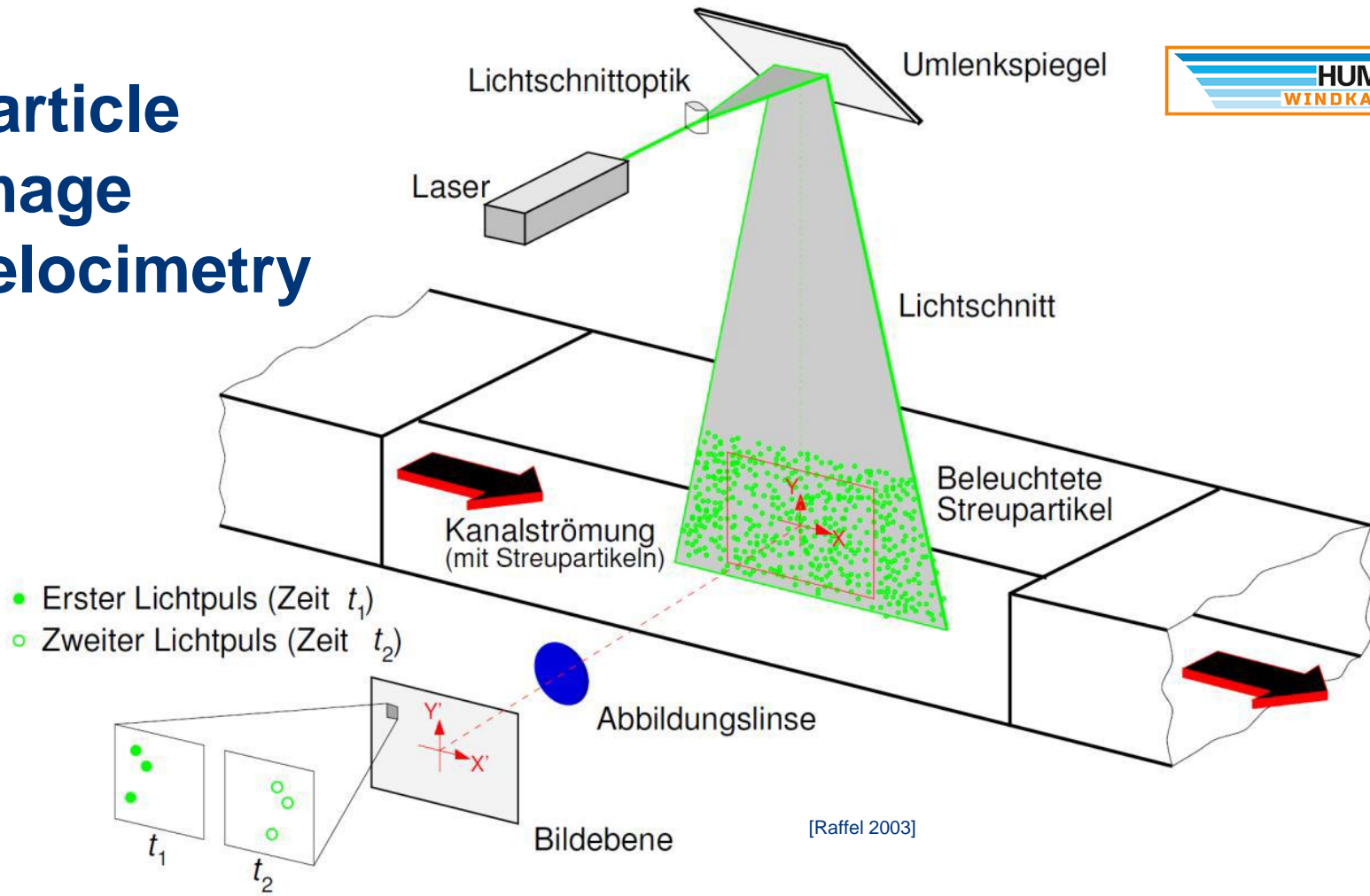
<https://www.youtube.com/watch?v=gC8ZimEflQU>
oder suchen unter: Meier - Windkanal

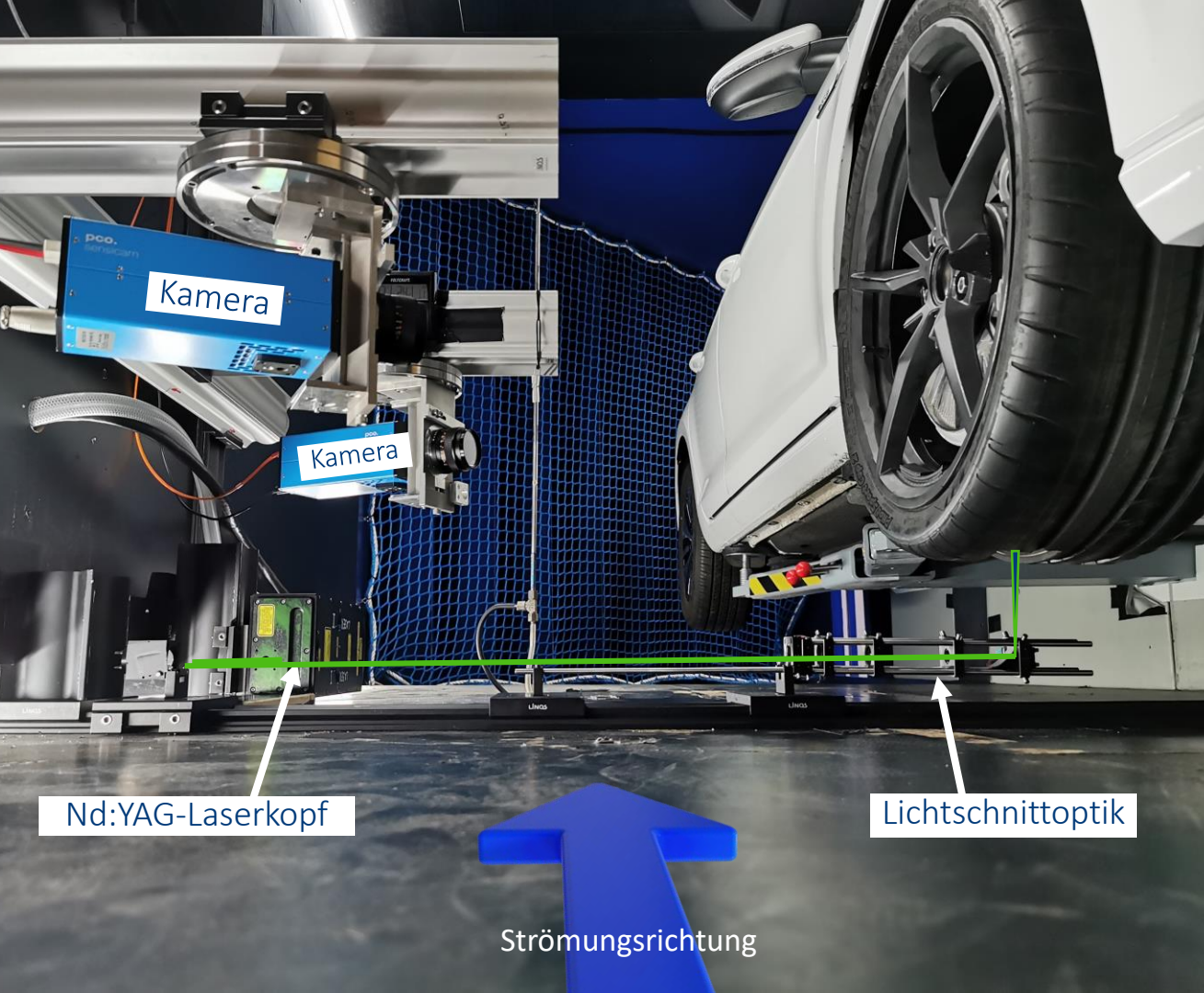
3C – PIV Aufbau im Windkanal

PIV = Particle Image
Velocimetry

Blick in Strömungsrichtung
durch die Düse in die
Messstrecke

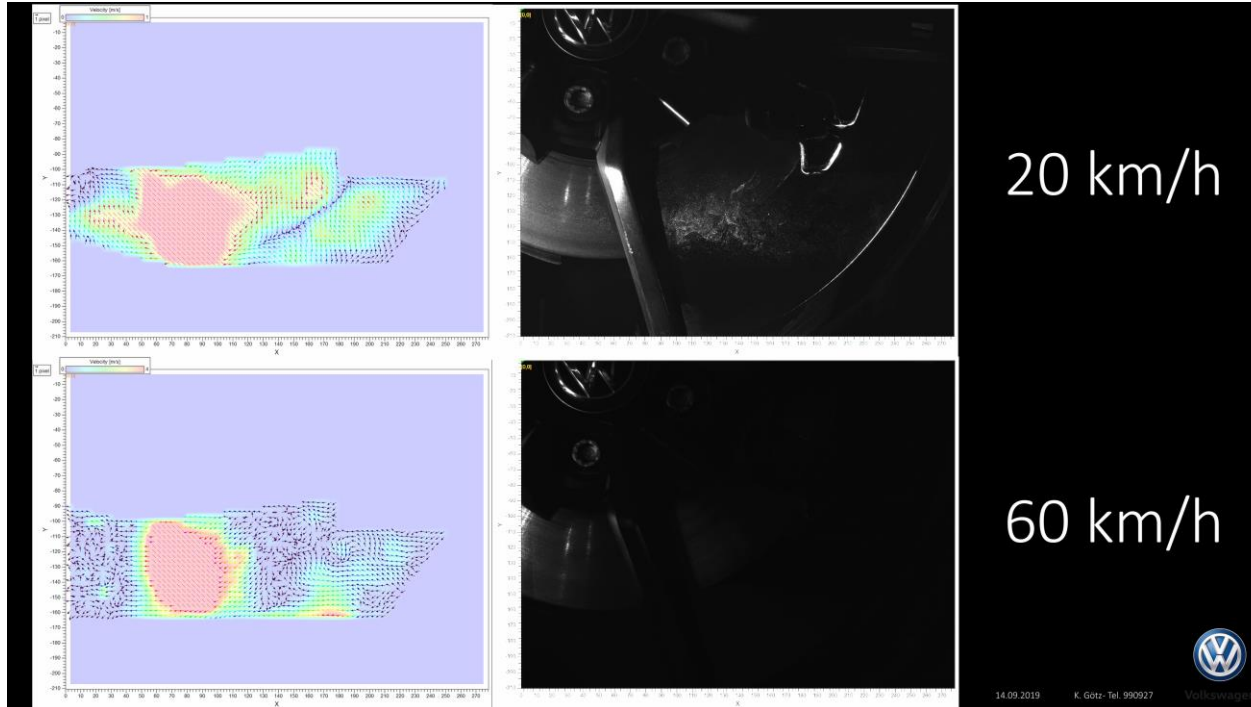
Particle Image Velocimetry





3C-PIV Aufbau

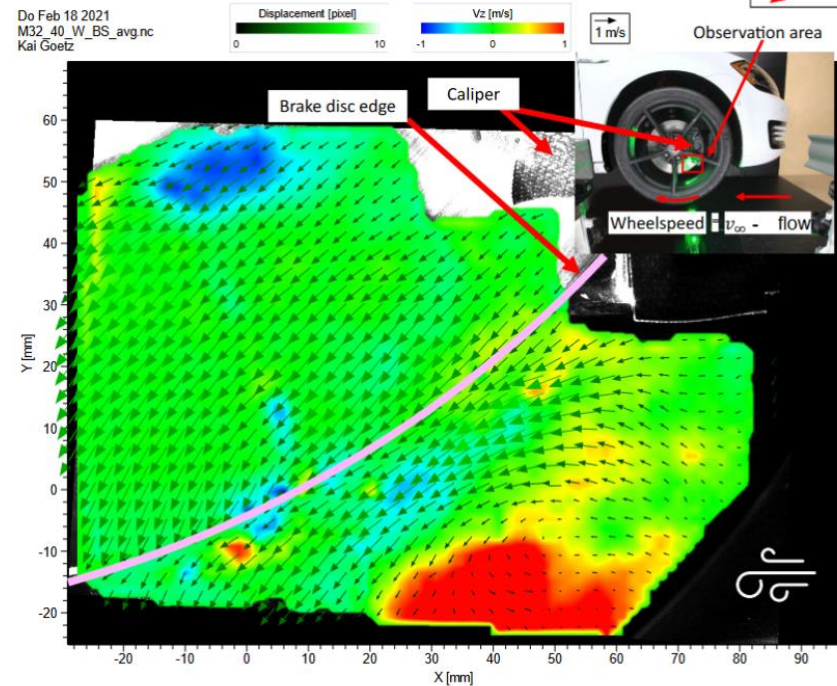
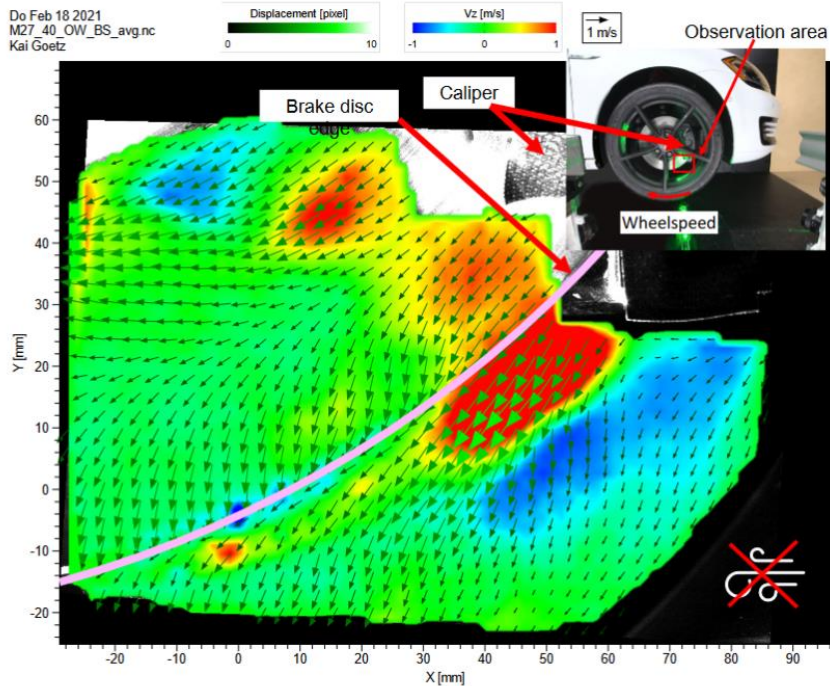
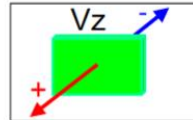
Ergebnisse I: e-Golf 7 im Windkanal



[Götz 2019]

Ergebnisse II

3C PIV Measurement results: Flow field 2 mm in front of brake disc, 40 km/h vehicle speed without and with flow



[Zmuda et al. 2023]

Zwischenstand

- Bestimmung der Bremsstaubströmung innerhalb der (drehenden!) Felge ist mit PIV möglich und damit die Entwicklung von geeigneten Filtern
- Nur im Windkanal kann diese Strömung realistisch aufgenommen werden, da der Fahrtwind einen relevanten Einfluss hat (= unser Entwicklungsvorsprung)
- Besonderheiten der Strömung (= Partikelbewegungen) konnten identifiziert werden: stabile Grenzschicht, Wirbel, etc.
- Auf dieser Basis wurden/werden von uns Konzepte zur Reduzierung der Emission entwickelt: OSTFALIA hat inzwischen 5 Patente zu Brems- und Reifenstaubfilterlösungen
- Eurobrake in Barcelona: viele Beiträge zum Thema Bremsstaub => großes internationales Interesse an der Emissionsverhinderung



Maßnahmenvorschläge

- Gesetzvorgabe: Staubfilter in Fahrzeugen > 500 kg (z.B.) ab 2030 mit Abscheidegraden von mehr als 50%
- Verstärkung des ÖPNV
- Stärkere Straßenreinigung: Entfernung der Stäube
- Reduzierung der Emissionen schwerer Fahrzeuge in Städten: SUV, PKW, durch gewichtsabhängige Geschwindigkeitsbeschränkungen
- Transportverlagerung auf die Schiene
- Verpflichtender Einbau von Bremsstaubfiltern in Bahnen ab 2030



Geschickte Aerodynamik kann die Staubemission um 50 ... 90% reduzieren

Zusammenfassung

- Problem: hohe Feinstaubbelastung u.a. durch Verkehr (Auto, Bus, LKW, Bahn)

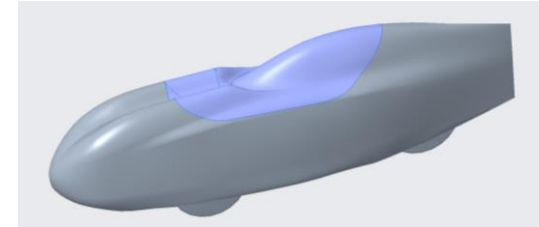
- Ursachen (steigende Verkehrsbelastung und Fahrzeuggewichte):

- Abgase: Tendenz sinkend
- Bremsstaub und Reifenabrieb: Tendenz steigend (Faktor 5...6)



- Abhilfe (nur innerhalb des Verkehrssektors):

- Gesetzliche Grundlage: EU 7 (und weitere)
- Einbau von Filtern für Bremsstaub und Reifenabrieb
- Reduzierung der Fahrzeuggewichte (bzw. Komfort)
- Beschränkung der Fahrgeschwindigkeiten in den Städten für schwere Fahrzeuge
- Förderung von emissionsfreien Leichtfahrzeugen



Quellen

- Umweltbundesamt, Feinstaubbelastung, 2014, 2020
- Götz, K., Bachelorarbeit, OSTFALIA, 2019
- Götz, K., Masterarbeit, OSTFALIA, 2021
- Zmuda, K., Bachelorarbeit, OSTFALIA, 2022
- Klinge, F., Deutsches Patentamt, 2019
- Sommer, C.: Universität Kassel, 2022



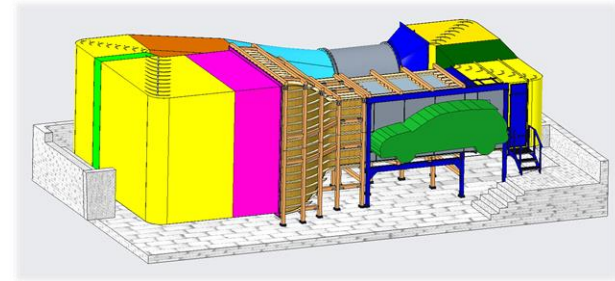
Lösungen (Brems- und Reifenstaub)

1. Staubverhinderung von Brems- und Reifenstaub
 - leichtere Fahrzeuge (< 500 kg), Velomobile
 - Stärkere Geschwindigkeitsbeschränkung für schwerere Fahrzeuge in Städten (Uni Kassel)
2. Staubfilterung extern von Brems- und Reifenstaub
 - Filter vorn am Fahrzeug filtert die Luft allgemein – Bilanzfilterung (Effizienzproblem)
3. Staubfilterung aktiv von Brems- und Reifenstaub
 - Absaugung an den Bremsen (bzw. Rädern), zentrales Filtermodul im Auto (teuer, ineffizient)
 - Absaugung an den Bremsen und Rädern mit geschicktem Aero-Management (teuer, sehr effizient)
4. Staubfilterung passiv von Brems- (und Reifen-)Staub
 - Filter hinter den Bremssätteln (günstig, effizient mit gutem Aero-Management)

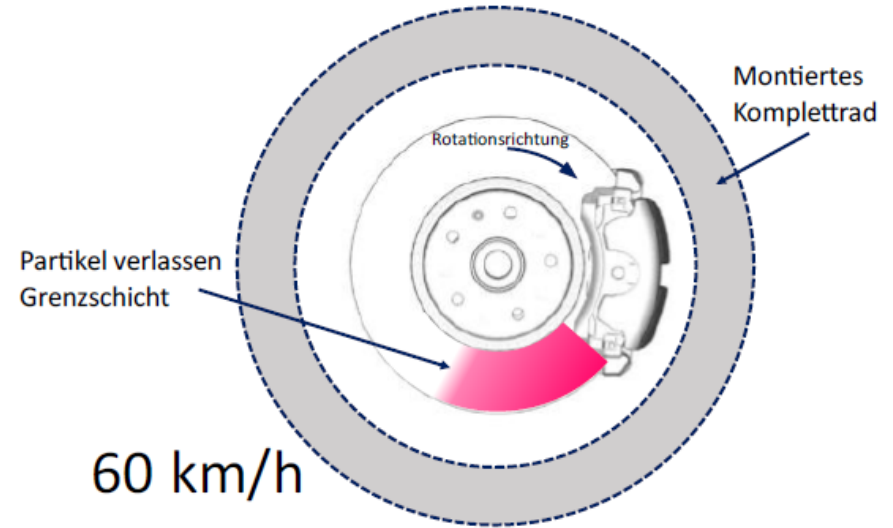
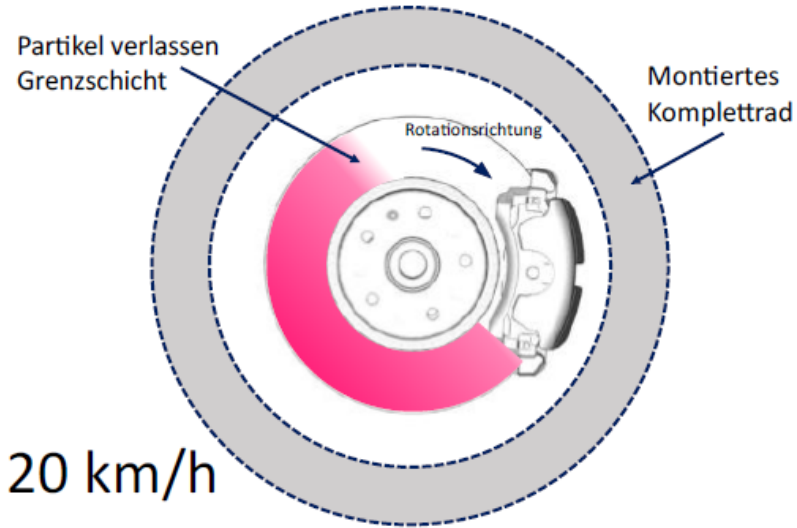
Vorstellung



- 2001 NATO-Stipendium: Von Karman Institut for Fluid Dynamics, VKI, Brüssel
- 2003 Promotion am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Göttingen
> Leitung nationaler und internationaler Forschungsprojekte
- 2005 EU-Projektleiter eines STREP zur Entwicklung optischer Messtechnik für Flugversuche ‚Advanced Inflight Measurements‘ (AIM)
- 2008 Professor an der OSTFALIA in Wolfenbüttel
 - Windkanalbau: HUM Windkanal
 - Entwicklungen:
 - Feinstaubfilterkonzepte
 - Untersuchungsmethoden für reale Bremsstaub-Strömungen
 - Bau von effizienteren Velomobilen



Ergebnis II



[Götz 2019]

Die Strömung aus dem Bremsspalt bildet eine sehr stabile Grenzschicht aus!

Handlungsoptionen



Interessen:

- Verbesserung der Luftqualität in den Städten
- Landflucht aufhalten, bzw. Individualverkehr erhalten
- CO₂- und Feinstaub-Einsparung

• Verbesserung des Technologievorteils der hiesigen Produkte:

- Autobahn-Test Tempolimit ??
- Velomobilentwicklung > leichtere Fahrzeuge !!
- Gesetzgebung (EU 7) > sauberes Abgas, weniger Staubemission !!
- Brems- und Reifenabriebfilter > Feinstaubemissionsreduktion

Lösungsvorschläge

- autofreie Städte ??
- Verkehrseinschränkung ??
- Elektrofahrzeuge ??
- leichtere Fahrzeuge ✓

Prüfmöglichkeiten



- Bisherige Prüfnorm: Kammerprüfstand ohne Rad und Vorderwagen
 - schlechte Übereinstimmung mit der realen Strömung an der Bremse
 - noch nicht mal untereinander vergleichbare Ergebnisse
 - keine Berücksichtigung von Umwelteinflüssen (Regen, Dreck, Salz, etc.)
- Prüfmöglichkeit im Windkanal: sehr gut für die Entwicklung und die Zulassung, aber nicht für jedes einzelnes Fahrzeug durchführbar
- Einfacher Prüfaufbau und Messtechnik-Aufbau für den TÜV-Standort erforderlich: verlässliche Messdaten mit überschaubarem Aufwand > muss erst noch entwickelt werden!

Was bräuchte man für die Filterentwicklung?

Forschungsteam Prof. Dr.-Ing. Falk Klinge

- Entwicklungszeit: 12 - 36 Monate
- 4 Entwicklungsingenieure
- Kooperation mit einem / mehreren Filterhersteller (Hengst SE, ...)

Allgemein

- Vereinfachung der bürokratischen Hürden zur Firmengründung, Forschung
- Zusammenschluss der Autohersteller: konzertierte Grundlagenentwicklung
- Wettbewerb in der Filterleistung als Verkaufsargument