

Bremsstaubmessungen im Projekt BrakeClean

Bremsstaub ist ein relevanter Bestandteil der verkehrsbedingten Nicht-Abgas-Emissionen und gewinnt sowohl regulatorisch als auch gesundheitlich zunehmend an Bedeutung. Im Projekt *BrakeClean* war das IUTA für die messtechnische Untersuchung von Bremsstaubemissionen verantwortlich. Die Arbeiten umfassten zum einen Untersuchungen an einem Schwungmassenprüfstand, auf dem Bremsvorgänge unter definierten und reproduzierbaren Bedingungen nachgebildet werden können, und zum anderen die Entwicklung und Validierung eines direkt im Fahrzeug einsetzbaren On-Board-Bremsstaubmesssystems. Ziel war es, Bremsstaubemissionen sowohl unter standardisierten Bedingungen als auch unter realitätsnäheren Randbedingungen belastbar zu erfassen und besser einordnen zu können.

Im ersten Arbeitsschwerpunkt wurde am Schwungmassenprüfstand ein Bremsstaubmesssystem in Anlehnung an die UN GTR Nr. 24 aufgebaut und für die Untersuchung unterschiedlicher Bremsenkonzepte genutzt. Hierfür waren umfangreiche technische Anpassungen des vorhandenen Prüfstands erforderlich. Ergänzend zu den gravimetrischen Messungen von PM_{10} und $PM_{2,5}$ wurden auch Partikelanzahlkonzentrationen, Größenverteilungen und elektrische Ladungszustände erfasst. Die Untersuchungen zeigten deutliche Unterschiede im Emissionsverhalten der betrachteten Bremsenkonzepte. Damit wurde deutlich, dass die Materialwahl der Reibpaarung, der Kombination aus Bremsscheibe und Bremsbelag, einen wesentlichen Einfluss auf Höhe und Charakteristik der Bremsstaubemissionen hat.

Der zweite Arbeitsschwerpunkt befasste sich mit der Entwicklung und Validierung eines On-Board-fähigen Bremsstaubmesssystems für eine PKW-Hinterachsbremse. Hintergrund war, dass standardisierte Prüfstandsmessungen zwar gut reproduzierbare Ergebnisse liefern, reale Bremsvorgänge im Fahrzeug jedoch zusätzlichen Einflüssen wie Fahrdynamik, Kühlung durch den Fahrtwind, lokalen Strömungen im Bereich von Rad und Felge sowie Hintergrundpartikeln aus der Außenluft unterliegen. Ziel war daher die Entwicklung eines Systems, das einerseits im Fahrzeug einsetzbar ist und andererseits eine möglichst kontrollierte und belastbare Probenahme ermöglicht.

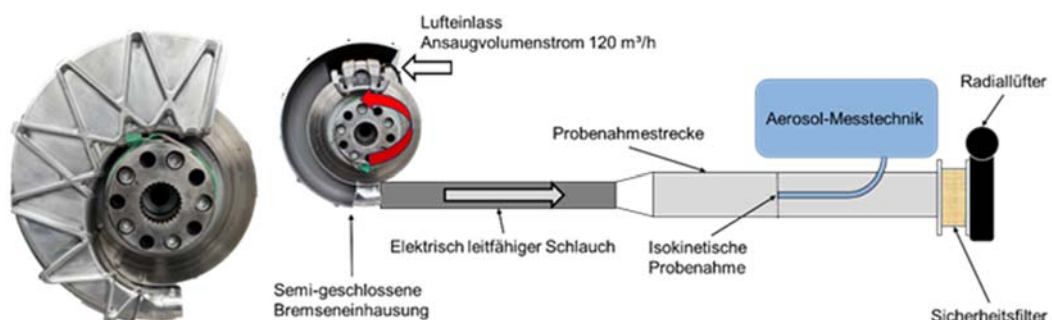


Abb. 1: Semi-geschlossene Bremseneinhausung des On-Board-Messsystems im Betriebszustand (links); geöffnete Bremseneinhausung zur Visualisierung des Innenraumes und der Position des Bremssattels sowie der Anbindung an das nachgeschaltete Transport- und Messsystem (rechts)

Das entwickelte Messsystem basiert auf einer semi-geschlossenen Bremseneinhausung im radnahen Bereich (siehe Abbildung 1). Dabei handelt es sich um eine teilweise umschlossene Probenahme direkt an der Bremse. Dieses Konzept stellt einen Kompromiss zwischen vollständig geschlossenen und offenen Systemen dar: Die Bremse bleibt in Wechselwirkung mit ihrer Umgebung und wird weiterhin realitätsnah gekühlt, gleichzeitig können die freigesetzten Partikel kontrolliert abgesaugt und einer nachgeschalteten Messtechnik zugeführt werden. Der grundlegende Aufbau umfasst einen Lufteinlass, die Bremseneinhausung selbst, einen elektrisch leitfähigen Transportschlauch, eine definierte Probenahmestrecke, die angeschlossene Messtechnik, einen Sicherheitsfilter sowie einen Radiallüfter. Neben gravimetrischen Feinstaubmessungen kamen direktanzeigende Geräte zur Bestimmung von Partikelanzahl, Größenverteilung und elektrischer Ladung zum Einsatz. Ergänzend wurden chemische Analysen durchgeführt, um Bremspartikel besser vom Hintergrundaerosol unterscheiden zu können.

Die erste Validierungsstufe erfolgte am Schwungmassenprüfstand. Dort wurde das On-Board-System direkt einem Referenzaufbau gegenübergestellt, der sich an der UN GTR Nr. 24 orientiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die mit dem On-Board-System bestimmten PM_{10} -Emissionsfaktoren gut mit den Referenzwerten übereinstimmen. Begleitende Messungen im Prüfraum deuteten darauf hin, dass nur ein kleiner Teil der freigesetzten Partikel nicht vom System erfasst wurde. Damit konnte gezeigt werden, dass das entwickelte System trotz seiner kompakten und fahrzeugtauglichen Bauweise eine hohe Vergleichbarkeit mit einem Referenzverfahren erreicht.

In der nächsten Stufe wurde das System in ein batterieelektrisches Versuchsfahrzeug integriert und auf dem Rollenprüfstand untersucht, bei dem das Fahrzeug auf angetriebenen Rollen fährt. Hier traten zusätzliche fahrzeugnahe Einflussgrößen auf, insbesondere veränderte Strömungssituationen, Radrotation und fahrgeschwindigkeitsabhängige Kühlbedingungen. Nach Optimierung der Kalibrierstrategie des Fahrroboters zeigte sich, dass die gemessenen Emissionsfaktoren grundsätzlich mit den Ergebnissen des Schwungmassenprüfstands konsistent sind, tendenziell jedoch etwas niedriger liegen. Auch unter diesen realitätsnäheren Bedingungen erwies sich das System als grundsätzlich geeignet zur Erfassung von Bremsstaubemissionen.

Ergänzend wurde das System in begrenztem Umfang auch im Realfahrbetrieb eingesetzt. Die Realfahrten zeigten, dass emissionsrelevante Bremsereignisse grundsätzlich auch unter Straßenbedingungen erfasst werden können. Gleichzeitig wurde deutlich, dass Hintergrundbelastung und Resuspension von Straßenstaub einen erheblichen Einfluss auf die gemessenen Signale haben können.

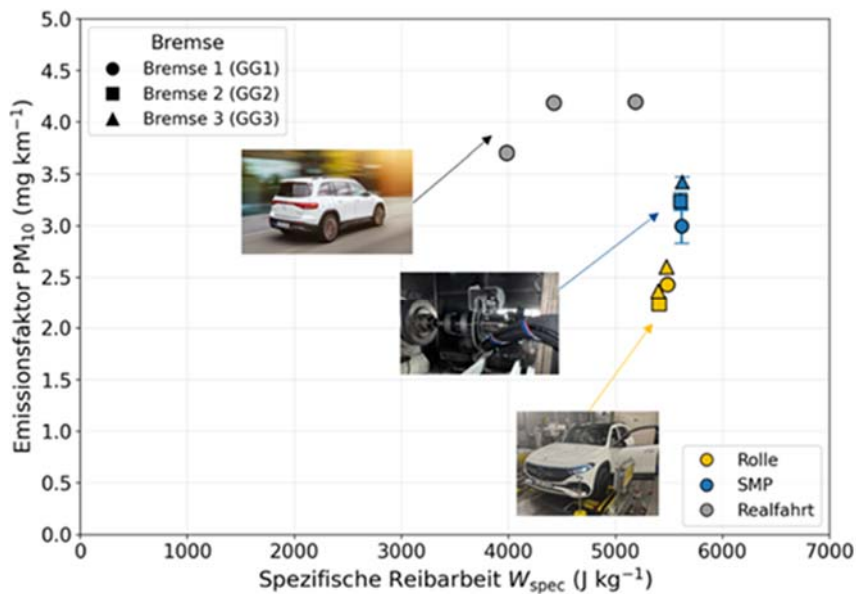


Abb. 2: Einordnung der PM_{10} -Emissionsfaktoren für eine Hinterachsbremse in der Realfahrt sowie in den Untersuchungen auf dem Schwungmassen- und Rollenprüfstand mit neuentwickelten On-Board-Bremsstaubmesssystem

Besonders aufschlussreich war eine Fahrt mit gezielt erhöhter Bremsbelastung und Bremsscheibentemperaturen von teils über 300 °C. Unter diesen Bedingungen zeigten sich Hinweise auf die zusätzliche Freisetzung ultrafeiner Partikel. Die Untersuchungen machten damit deutlich, dass für die Ableitung belastbarer realer Bremssemissionsfaktoren eine reine Partikelmessung noch nicht ausreicht. Erforderlich sind vielmehr eine weiterentwickelte Hintergrundmessung, belastbare Datenkorrekturen sowie zusätzliche chemische oder physikalische Tracer.

Insgesamt hat das IUTA im Projekt *BrakeClean* wesentliche methodische Grundlagen für die Untersuchung von Bremsstaub unter standardisierten und realitätsnäheren Bedingungen geschaffen. Besonders hervorzuheben ist die Entwicklung und schrittweise Validierung eines neuartigen, im Fahrzeug einsetzbaren Bremsstaubmesssystems sowie dessen gute Vergleichbarkeit mit einem Referenzaufbau am Schwungmassenprüfstand. Damit liefert das Projekt wichtige methodische Vorarbeiten für die zukünftige Entwicklung belastbarer und praxisnaher Bremsstaubmessungen.

Förderhinweis

Das Projekt BrakeClean wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) im Förderprogramm Innovative Fahrzeuge gefördert und von der TÜV Rheinland Consulting GmbH administrativ begleitet.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages