Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin
Nationales Metrologieinstitut

EMRP
European Metrology Research Programme
Programme of EURAMET
The EMRP is jointly funded by the EMRP participating countries within EURAMET and the European Union

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
Center of Smart Interfaces

Hochstabiler verbrennungsbasierter Rußaerosolgenerator zur Validierung von Rußmesstechniken

B. Eng. Arne Kuntze, Dr. Andreas Nowak, Dr. Anke Jordan Gerkens, Dipl. Lök. Margit Hildebrandt, Dr. Norbert Böse, Prof. Dr. Volker Ebert

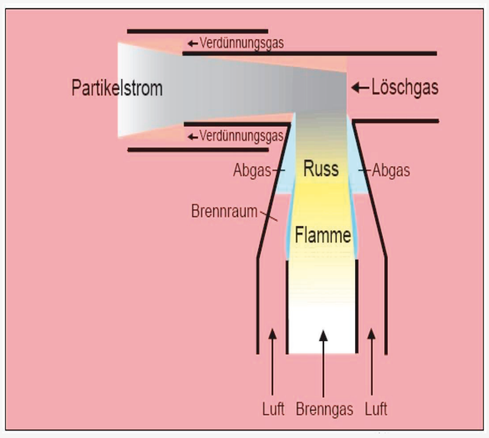
Einleitung

Der Hauptanteil der Gesamtpartikelanzahl in städtischer Umgebungsluft sind ultrafeine Aerosolpartikel (<100 nm), die zum größten Teil den Verbrennungsprozessen des Straßenverkehrs zugeordnet werden können. Dominiert werden diese ultrafeinen Aerosolpartikel von schwarzem Kohlenstoff (Ruß), der strukturbedingt effizient organische Schadstoffe aus der Luft bindet und damit die Toxizität der ultrafeinen Aerosole erhöht.

Im Zuge der Einführung der Abgasnorm Euro 5b zum 01.September 2011 wurde ein Grenzwert für PKW mit Dieselmotoren von $6x10^{11}$ Partikel/Kilometer erlassen. Die Messmethoden zur Erfassung der Partikel wurden im europäischen Particle measurement Program (PMP) entwickelt. Es bedarf neuartiger und sensibler Rußmesstechniken zur Sicherstellung der Grenzwerteeinhaltung. Die Kalibrierung und Validierung insbesondere unter den für das gesetzliche Messwesen erforderlichen metrologischen Prinzipien, ist derzeit nicht zufriedenstellend gelöst. Es fehlen stabile, genau charakterisierte und validierte Referenzgeneratoren für ultrafeine Rußpartikel. Zur genaueren Untersuchung und Charakterisierung von Rußmesstechniken wird an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) ein hochstabiler Referenzgenerator – ein sogenanntes Primärnormal – entwickelt und modifiziert, so dass verschiedene physikalische Methoden zur Messung der Rußpartikelanzahl rückführbar (bezogen auf SI-Einheit) und damit auch vergleichbar miteinander sind.

Rußgenerator

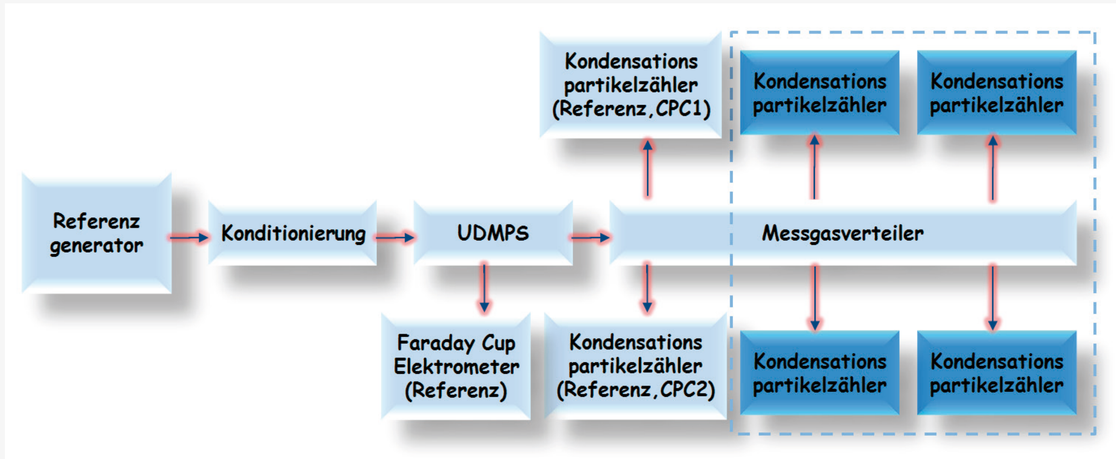
MiniCast (Jing Ltd) Generator



Verbrennungsprinzip eines Generators auf Basis von Diffusionsflammen

- Bereitstellung eines „dieselähnlichen“ Aerosols durch einen Mini-Combustion Aerosol STandard (Mini-CAST) im Größenbereich von 10 bis 100 nm
- Großer Konzentrationsbereich 1000 bis zu $9x10^6$ Partikel/cm^3
- Gezielte Variation der Mischungsverhältnisse von Propan (Brenngas), Luft und Stickstoff (Quenchgas) ermöglichen verschiedene Betriebspunkte in Bezug auf den mittleren Durchmesser der Partikelanzahlgrößenverteilungen (PAGV)

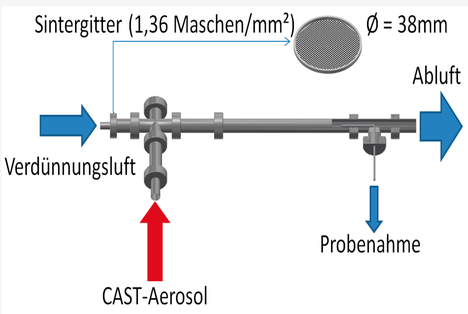
Laboraufbau zur Entwicklung eines Partikelanzahlnormals



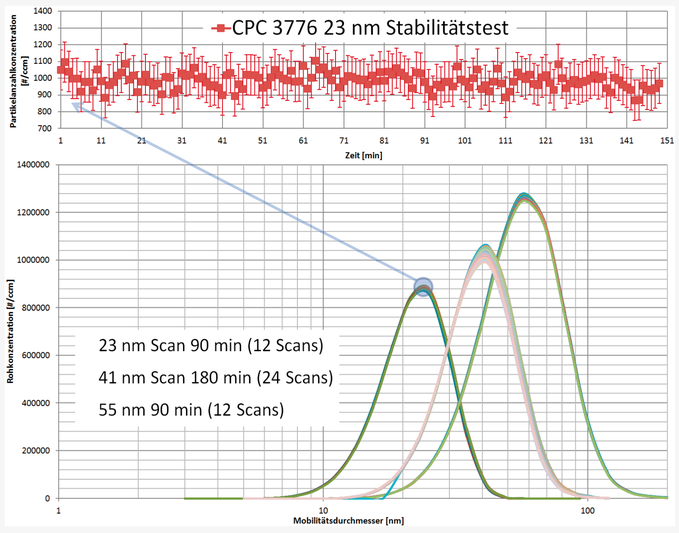
Referenzlaboraufbau zur Entwicklung eines Partikelanzahlnormals (schematisch)

- Umfassende Charakterisierung des erzeugten Rußerosols in Bezug auf Partikelanzahldichte und Partikelanzahlgrößenverteilung (PAGV)
- Vermessung der Zähleffizienz von Kondensationspartikelzählern (Condensation particle counter, CPC).
- Charakterisierung des Verlaufs der Detektionswahrscheinlichkeitskurven der CPC
- Zukünftige Partikelanzahlmessung mittels Aerosolelektrometer als Referenzgerät mit Rückführung auf die SI-Einheit Ampere

Aerosolkonditionierung und Stabilität



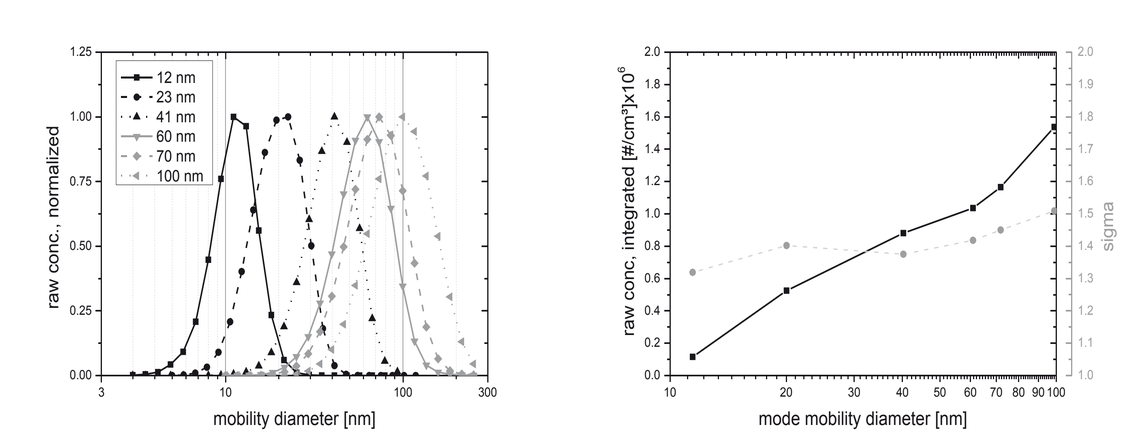
Oben: Schematische Darstellung der Rußaerosolkonditionierung



Rechts: PAGVs für 23, 41, sowie 55 nm Langzeitstabilitätstest für den 23 nm Punkt

- Entwicklung einer Konditioniereinheit zur Stabilisierung und Homogenisierung des Rußaerosols mittels Kreuzstrommischer mit eingesetztem Sintergitter für turbulenten Fluss
- Stabilitätstests zeigen reproduzierbare Partikelanzahlgrößenverteilungen mit geringen Schwankungen von 12% bei der Partikelanzahl bei $1x10^3$ Partikel/cm^3 (Herstellerangabe CPC 3776 10% bei $3x10^6$ Partikel/cm^3)

Erste Ergebnisse zur Partikelanzahlkonzentration



Links: Normalisierte polydisperse PAGV für verschiedene Betriebspunkte
Rechts: zugehörige Gaussfit Parameter für monodisperse Größenklassen

- Erste Ergebnisse zeigen schmale, polydisperse PAGV im Bereich 3 bis 300 nm
- Präzise monodisperse Selektion einzelner PAGV von 23 bis 70 nm bei gleichzeitiger Minimierung von Mehrfachladungen für ausgewählte PMP-konforme Punkte
- Hohe Partikelanzahlkonzentrationen (Maximal $9x10^6$ Partikel/cm^3 bei 105 nm) erlauben parallele Vergleiche mehrerer CPC

Zusammenfassung

- Erfolgreiche Tests der entwickelten Aerosolkonditionierung belegt durch reproduzierbare PAGV
- Für Kalibrieraufgaben in der Automobilindustrie müssen die Motoremissionen mittels speziell entwickelter CPC-Typen, sog. Engine Exhaust-CPC (EECPC) für mindestens fünf monodisperse Größenklassen zwischen 23 bis 70 nm überprüft werden.
- Es gelang die Realisierung einer Messstrecke für PAGV mit maximal $9x10^6$ Partikel/cm^3 und minimal $1x10^3$ Partikel/cm^3 im Größenbereich von 3 bis 300 nm.

Ausblick

- Neben der weiteren Quantifizierung des Generators werden als Nächstes verschiedene CPC im Bereich von 10^3 bis 10^5 Partikel/cm^3 untersucht und deren Zähleffizienz im Vergleich zu Referenzgeräten (Bauartverschiedene CPC und Aerosolelektrometer) bestimmt.
- Langfristiges Ziel stellt die Implementierung einer herstellerunabhängigen Kalibrierkette für EECPC dar.
- Rückgeführte Messungen der Partikelanzahlkonzentration durch Vergleich mit einem Aerosol Faraday Cup Elektrometer

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin

Arne Kuntze
Arbeitsgruppe 3.21
Feuchte

Bundesallee 100
38116 Braunschweig
Telefon: 0531 592-3207
Fax: 0531 592-3209
E-Mail: arne.kuntze@ptb.de
www.ptb.de