S. Schumacher, C. Asbach
A. Hellmann, K. Schmidt, S. Antonyuk

Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Abscheide-verhalten neuer und gealterter Elektretfilter

Laufzeit: 01.09.2016 – 31.08.2018

1. Sitzung des Projektbegleitenden Ausschuss
Duisburg, 6. April 2017

Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V.

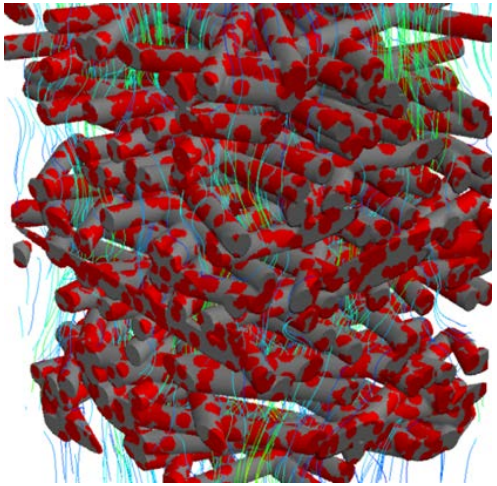
Luftreinhaltung & Filtration

TU Kaiserslautern

Technische Universität Kaiserslautern

Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik

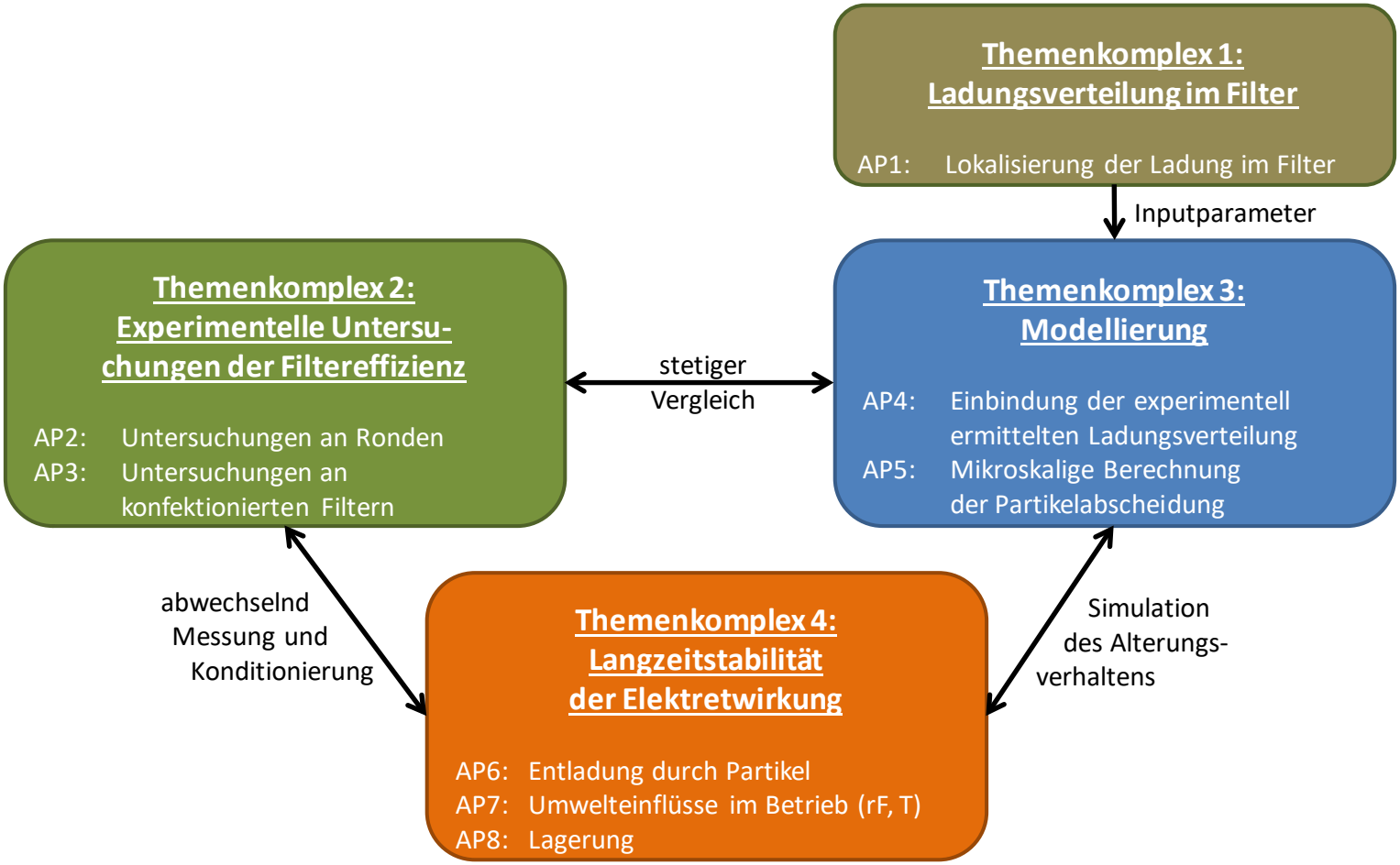
Motivation des Forschungsvorhabens



- Was sind Elektretfilter?
  - Fasermedien mit elektrisch geladenen Fasern
  - bei gleichem Druckverlust wesentlich höhere Abscheideeffizienz als rein mechanische Filter
  - Aber: abnehmende Abscheideeffizienz mit der Zeit
- Wo werden Elektretfilter eingesetzt?
  - breiter Anwendungsbereich, z.B. raumlufttechnische Anlagen, mobile Raumluftreiniger, Kfz-Innenraum, …
- seit den 80er Jahren eingehend untersucht, jedoch viele offene Fragen
  - Welche Mechanismen sind für die Alterung verantwortlich?
  - Welchen Einfluss haben die Betriebs- und Lagerungsbedingungen (T, rF)?
  - Wie sind die Faserladungen verteilt und beeinflusst dies die Abscheidung?
  - Lassen sich die Eigenschaften der Medien auf konfektionierte Filter übertragen?

Ziel des Vorhabens und Lösungsweg

- grundlegendes Verständnis zu Ladungsverteilung, Abscheidung und Langzeitstabilität
- kombinierter Ansatz aus Experimenten und Simulationen



AP1: Lokalisierung der Ladung (TU KL + IUTA)

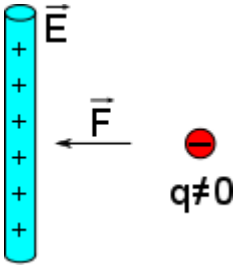
- Beaufschlagung von Elektretmedien mit (fluoreszierenden) Partikeln

  → Auswertung durch bildgebende Verfahren (REM/Fluoreszenzmikroskop)

- Untersuchung der elektrophoretischen Eigenschaften

  → Beaufschlagung mit monodispersen, positiv/negativ geladenen Partikeln

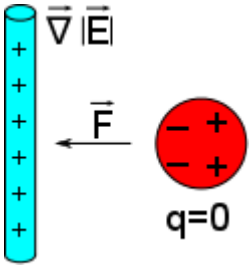
  → Größenbereich 100 – 300 nm (geringe mechanische Abscheidung)



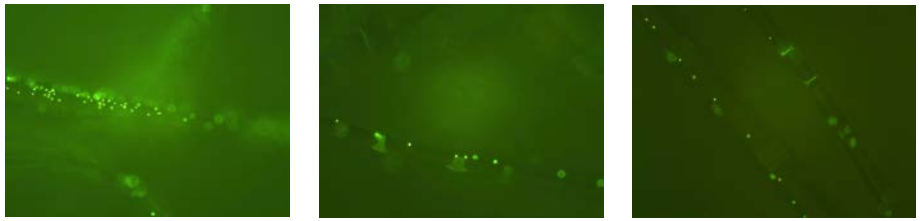
- Untersuchung der dielektrophoretischen Eigenschaften

  → Entwicklung eines ESP zur Bereitstellung ungeladener Partikel

  → Beaufschlagung mit größeren Partikeln mit hoher Dielektrizitätskonstante



- erste Vorversuche am IUTA → Vortrag A. Hellmann



Fluoreszierende Polystyrol-Latex (PSL)-Partikel

AP2: Untersuchungen an Filterronden (TU KL)

- Auswahl verschiedener Elektretmedien

(Beispielfoto)

(Beispielfoto)

- Faserdurchmesser ca. 30 µm
- deutlicher Elektreteffekt

  → ideal als Startpunkt für Simulationen

  → Details in Vortrag von A. Hellmann

- 3 Medien für Kfz-Innenraumfilter
- ähnlicher Anfangsabscheidegrad
- Unterschiede in Material, Grammatur, Luftdurchlässigkeit, Dicke, Herstellung

  → interessant für Alterungsversuche

- generelles Interesse an der Bereitstellung weiterer Filtermedien
- Korrelationen zu Eigenschaften der Medien (Material, Herstellungsverfahren, …)

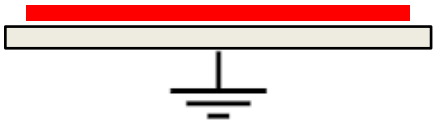
AP2: Untersuchungen an Filterronden (TU KL)

- Charakterisierung des Oberflächenpotentials mit elektrostatischem Voltmeter

  → AlphaLab Inc. Ultra Stable Surface DC Voltmeter (USSVM2)

- Wie ist das Oberflächenpotential zu messen?

At 1", the display shows **voltage** (+/-2%) **of a conductive surface**.



The above numbers are also **correct if** the surface is an **insulator that is coated onto a (large) metal surface** (that is, the insulator has a "ground plane“).

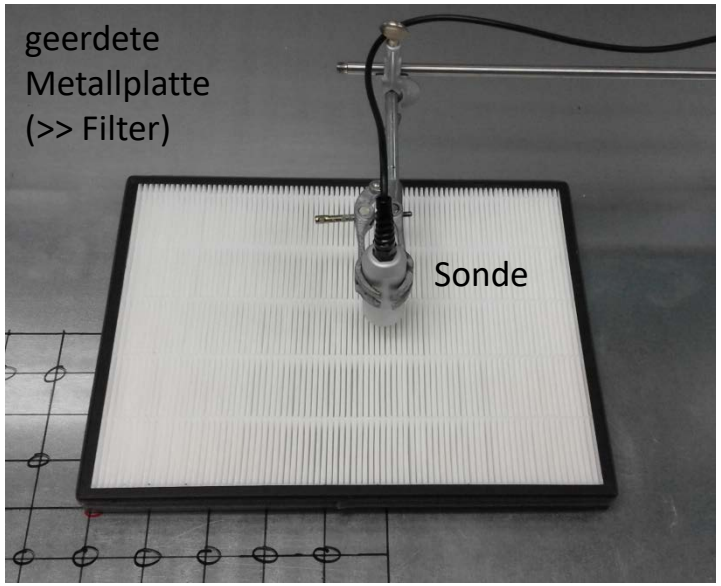
However, if the surface is a **bare insulator** (without a ground plane or metal backing) **that is charged**, then the insulator will emit an electric field (but **will not have a well-defined voltage**). The **electric field in volts per meter is approximately 30 times the reading** on the display. This is **correct if** the sheet […] has a **uniform amount of charge per area**.

Zitate aus der Anleitung des USSVM2

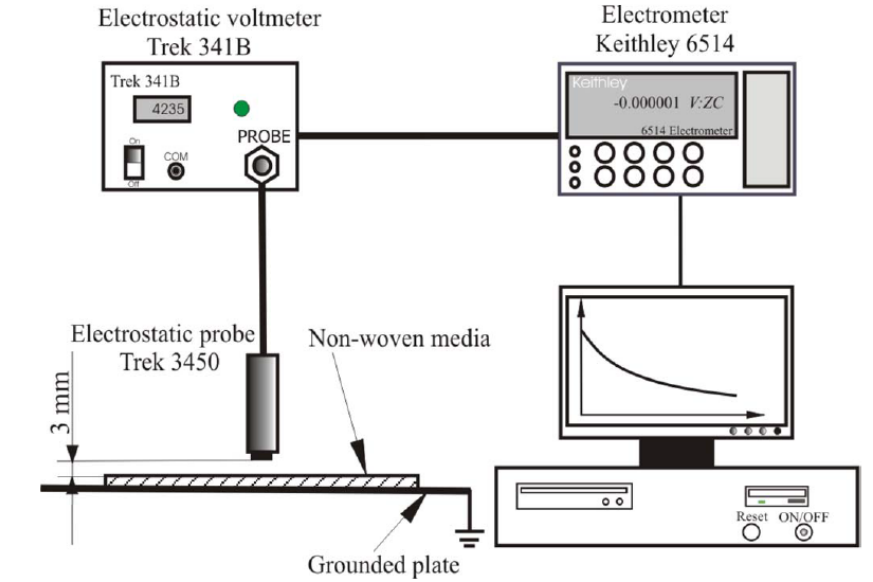
AP2: Untersuchungen an Filterronden (TU KL)

- Charakterisierung des Oberflächenpotentials mit elektrostatischem Voltmeter

  → Versuchsaufbau



Filter wird auf Platte verschoben



634 IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 46, NO. 2, MARCH/APRIL 2010

Corona-Charging and Charge-Decay Characteristics of Nonwoven Filter Media

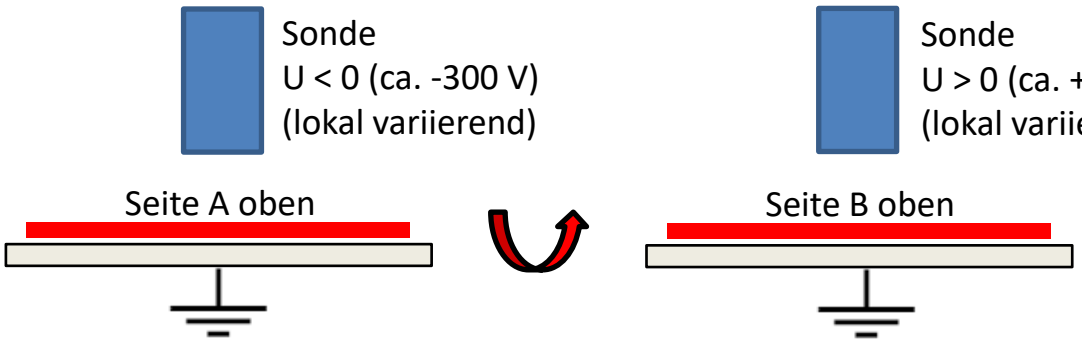
Belaid Tabti, Mohamed Rachid Mekideche, Marius-Cristian Plopeanu, Laurenţiu Marius Dumitran, Lazhar Herous, and Lucian Dascalescu, *Fellow, IEEE*

- ähnliche Anordnungen in der Literatur zu finden
- erste Versuche mit Medien zum Kennenlernen der Messtechnik

AP2: Untersuchungen an Filterronden (TU KL)

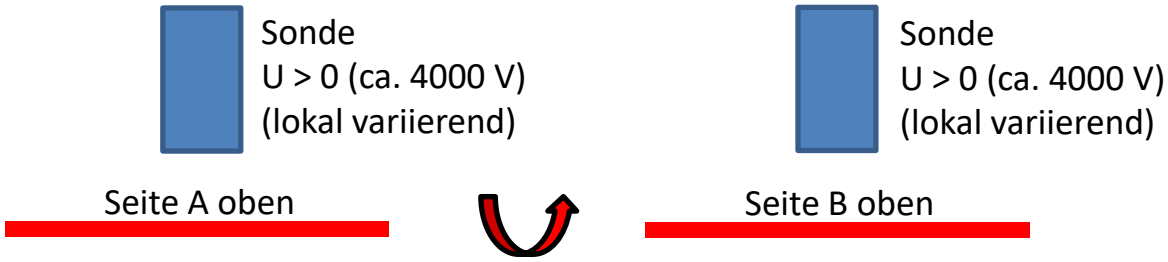
- Vorzeichen ändert sich reproduzierbar beim Umdrehen des Mediums

  → Hinweis auf Ladungsasymmetrie im Medium?



- deutlich größere Werte und gleiches Vorzeichen auf beiden Seiten

  → Alternative für Charakterisierung des Ladungszustandes?



→ Erfahrungen der TU KL im Vortrag von A. Hellmann

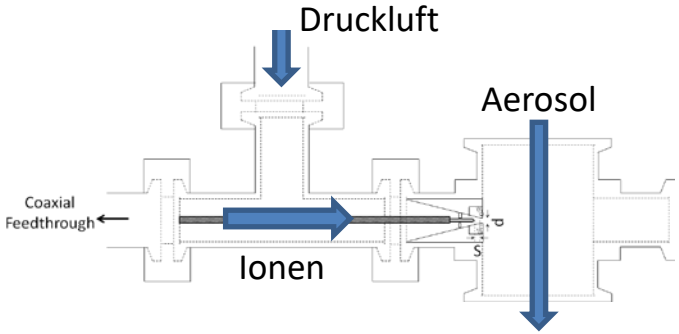
AP2: Untersuchungen an Filterronden (TU KL)

- Beaufschlagung mit definiert geladenen und ungeladenen Partikeln
  - bipolare Ladungsverteilung

TSI Aerosolneutralisator 3012

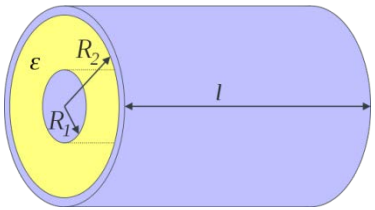
bipolare Entladungsstrecke
Palas CD 2000 Typ B

  - unipolar hochgeladene Partikel (selbst entwickelter Diffusionsauflader)



→ zurzeit Aufbau am IUTA

  - ungeladene Partikel (selbst entwickelter Elektroabscheider)



→ zurzeit Auslegung am IUTA

AP3: Untersuchungen an konfektionierten Filtern (IUTA)

- Auswahl verschiedener Elektretfilter aus (bisher) drei Anwendungsbereichen

RLT-Taschenfilter

(Beispielfoto)

→ zwei unterschiedliche Konfektionierungen

Kfz-Innenraumfilter

(Beispielfoto)

→ drei Typen mit ähnlicher Anfangsabscheidung

Filter für Raumluftreiniger

(Beispielfoto)

→ gut geeignet für Alterungsversuche

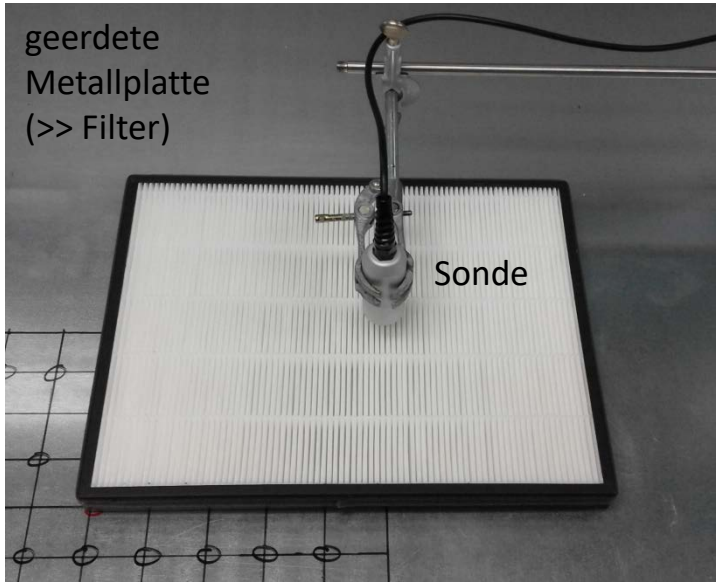
→ siehe AP 6

- generelles Interesse an der Bereitstellung weiterer Filter
- idealerweise mit zugehörigem Medium für Übertragbarkeitsstudien
- Vergleich zweier Filter, die sich in einem Parameter unterscheiden, besonders interessant

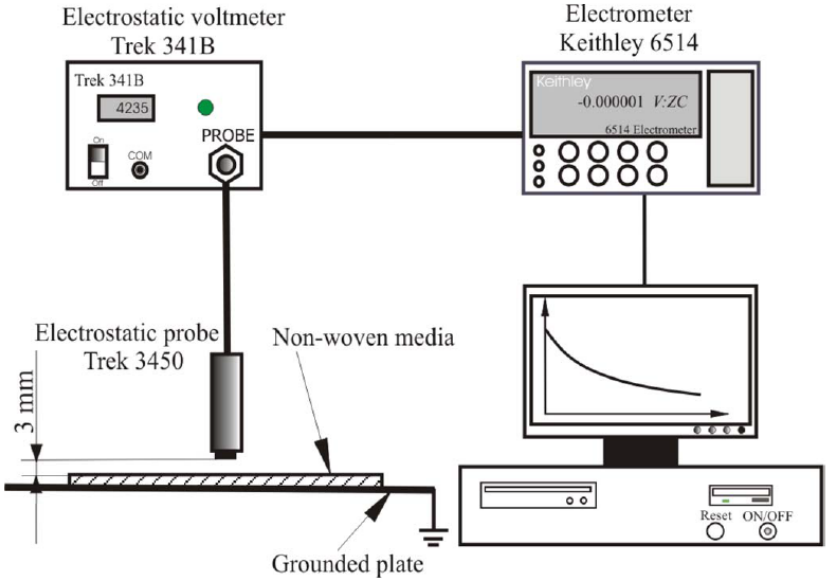
AP2: Untersuchungen an Filterronden (TU KL)

- Charakterisierung mit elektrostatischem Voltmeter

  → Versuchsaufbau



Filter wird auf Platte verschoben



634 IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 46, NO. 2, MARCH/APRIL 2010

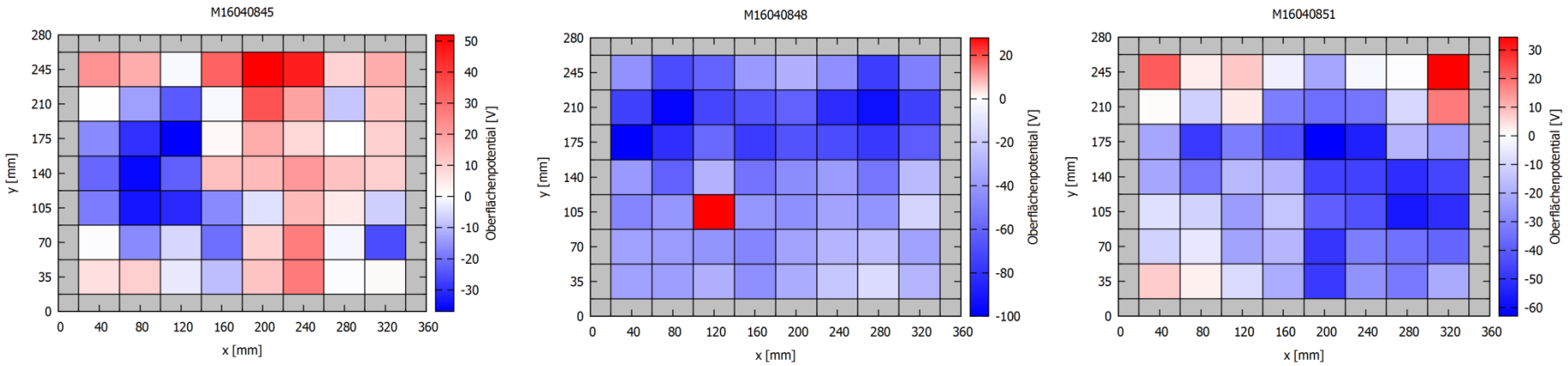
Corona-Charging and Charge-Decay Characteristics of Nonwoven Filter Media

Belaid Tabti, Mohamed Rachid Mekideche, Marius-Cristian Plopeanu, Laurenţiu Marius Dumitran, Lazhar Herous, and Lucian Dascalescu, *Fellow, IEEE*

- ähnliche Anordnungen in der Literatur zu finden
- erste Probemessungen an Filtern für Raumluftreiniger

AP3: Untersuchungen an konfektionierten Filtern (IUTA)

- Charakterisierung des Oberflächenpotentials mit elektrostatischem Voltmeter



- teils starke lokale Variation des Oberflächenpotentials
- deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen Filtern

  → Abscheideverhalten dennoch nahezu identisch
- geringe Reproduzierbarkeit, nachdem Filter wieder verpackt und ausgepackt wurde

  → Messung von Überschussladungen statt intrinsischer Ladungsträgerdichte?

  → weitere Untersuchungen notwendig

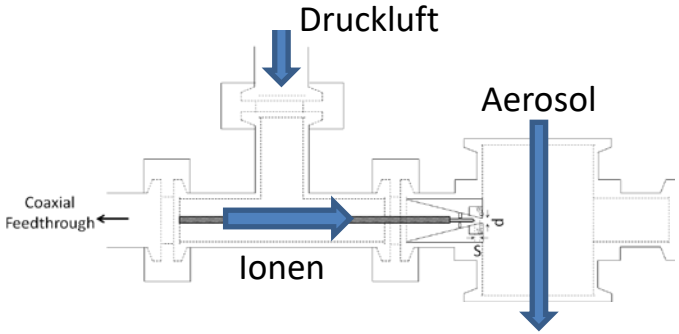
AP3: Untersuchungen an konfektionierten Filtern (IUTA)

- Beaufschlagung mit definiert geladenen und ungeladenen Partikeln
  - bipolare Ladungsverteilung

TSI Aerosolneutralisator 3012

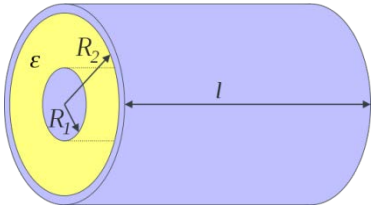
bipolare Entladungsstrecke
Palas CD 2000 Typ B

  - unipolar hochgeladene Partikel (Diffusionsauflader)



→ zurzeit Aufbau am IUTA

  - ungeladene Partikel (selbst entwickelter Elektroabscheider)



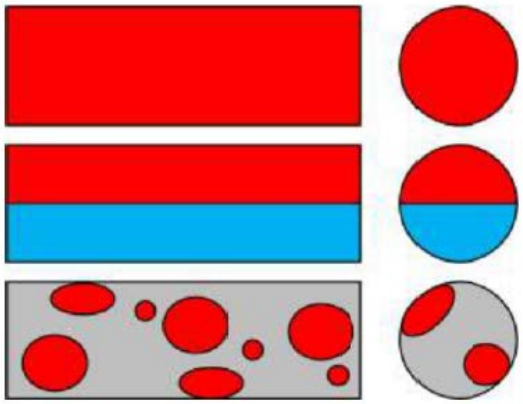
→ zurzeit Auslegung des Designs am IUTA

AP4: Einbindung der Ladungsverteilung (TU KL)

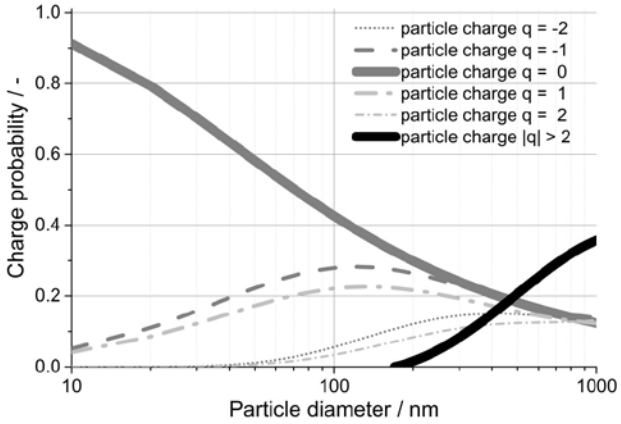
- Einbindung verschiedener Faserladungsverteilungen in DNSlab

  → Ziel: Verwendung der experimentell bestimmten Ladungsverteilungen aus AP 1

- Einbindung verschiedener Partikelladungsverteilungen in DNSlab



mögliche unterschiedliche Faserladungsverteilungen

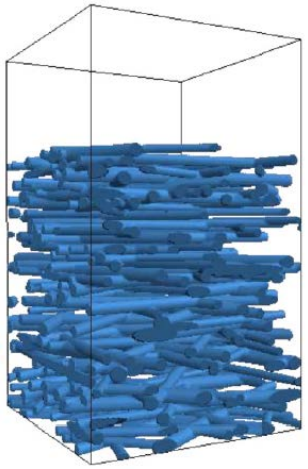


Beispiel der bipolaren Partikelladungsverteilung

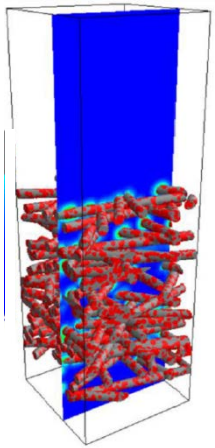
→ Details im Vortrag von A. Hellmann

AP5: Berechnung der Partikelabscheidung (TU KL)

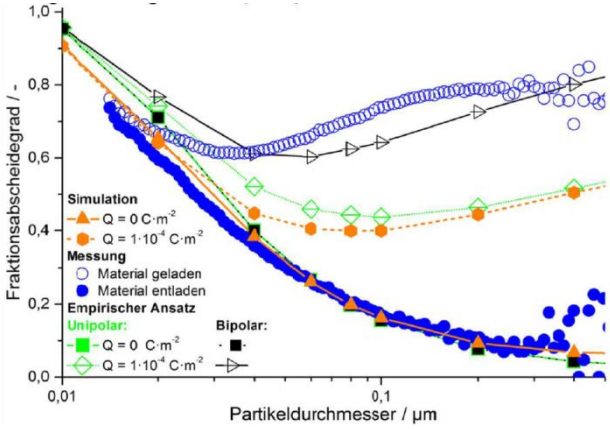
- Strukturgenerierung bzw. Tomographie für verschiedene Filtermedien
- Implementierung verschiedener Ladungsverteilungen
- Simulation des Partikeltransports (auch Betrachtung einzelner Trajektorien)
- Vergleich mit experimentellen Ergebnissen und empirischen Modellen
- Einbindung der Dielektrophorese als zusätzlicher Abscheidemechanismus



Strukturgenerierung



Berechnung des elektrischen Feldes



Vergleich mit Messungen und empirischen Modellen

→ Details im Vortrag von A. Hellmann

AP6: Entladung durch Partikel (IUTA + TU KL)

- Alterung von Filtern für Raumluftreiniger mit Zigarettenrauch

  → gleichzeitiges Abbrennen von 12 Zigaretten in ca. 25 m³ großem Raum

  → Rauchmaschine mit simuliertem Atemzyklus

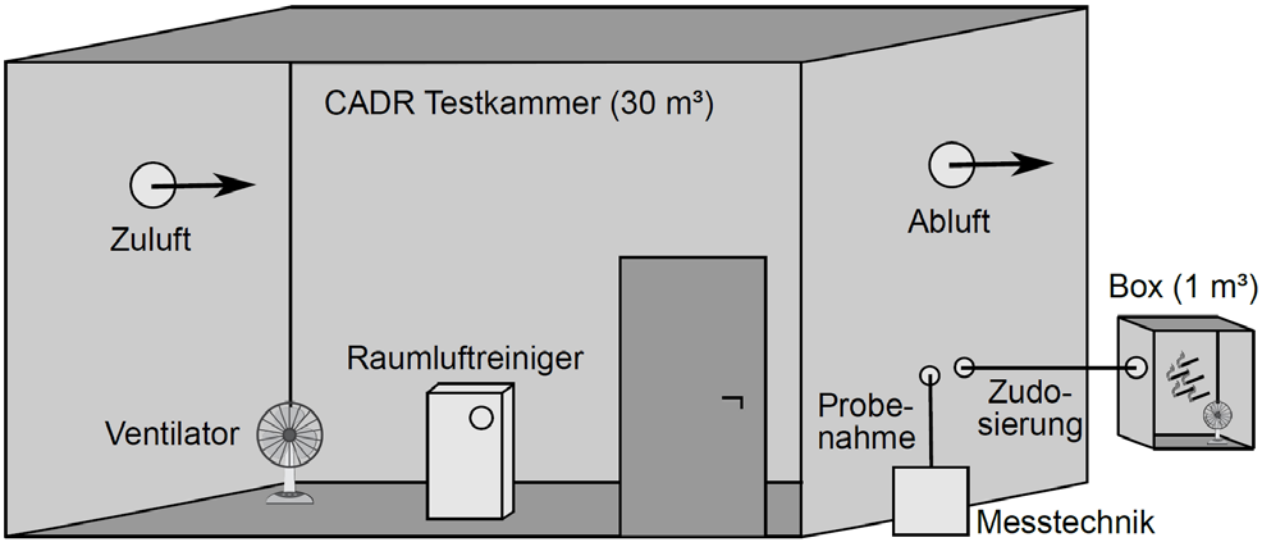
Raum für Alterung

Rauchmaschine für 12 Zigaretten

AP6: Entladung durch Partikel (IUTA + TU KL)

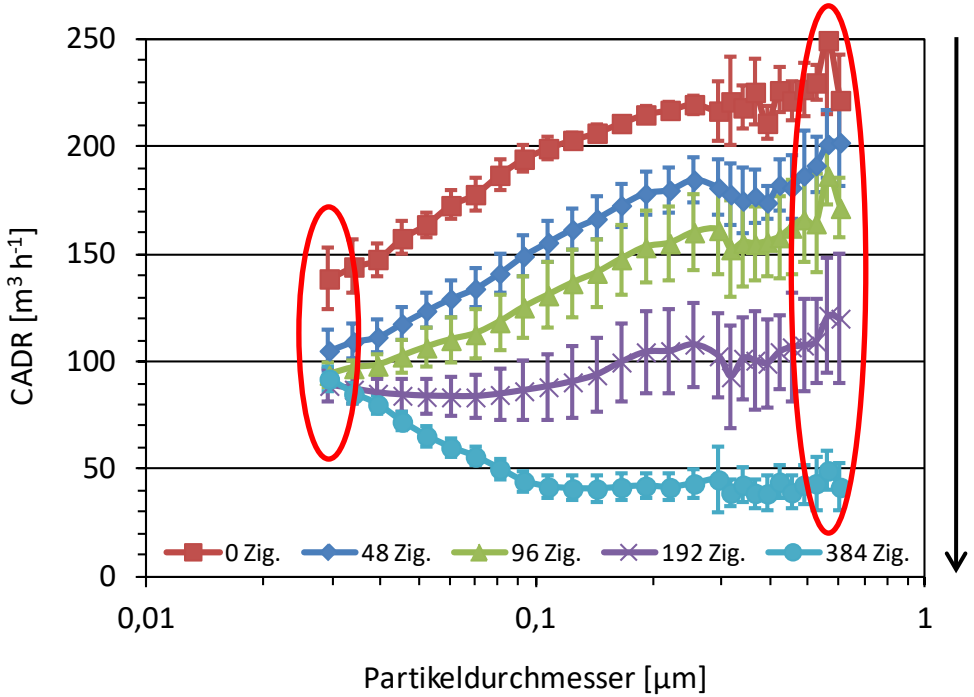
- Messung der Clean Air Delivery Rate (CADR)
  - Einleiten einer Startkonzentration an Zigarettenrauch
  - Bestimmung der exponentiellen Abklingkurve mit Raumluftreiniger → k_{RLR}
  - Bestimmung der natürlichen Abklingkurve ohne Raumluftreiniger → k_{nat}

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-kt} \Rightarrow CADR = (k_{RLR} - k_{nat}) \cdot V_{Kammer} \cong \dot{V}_{Gerät} \cdot \eta_{Gerät} \tilde{\propto} \eta_{Filter}$$



AP6: Entladung durch Partikel (IUTA + TU KL)

- starke Partikelgeößenabhängigkeit der Alterung

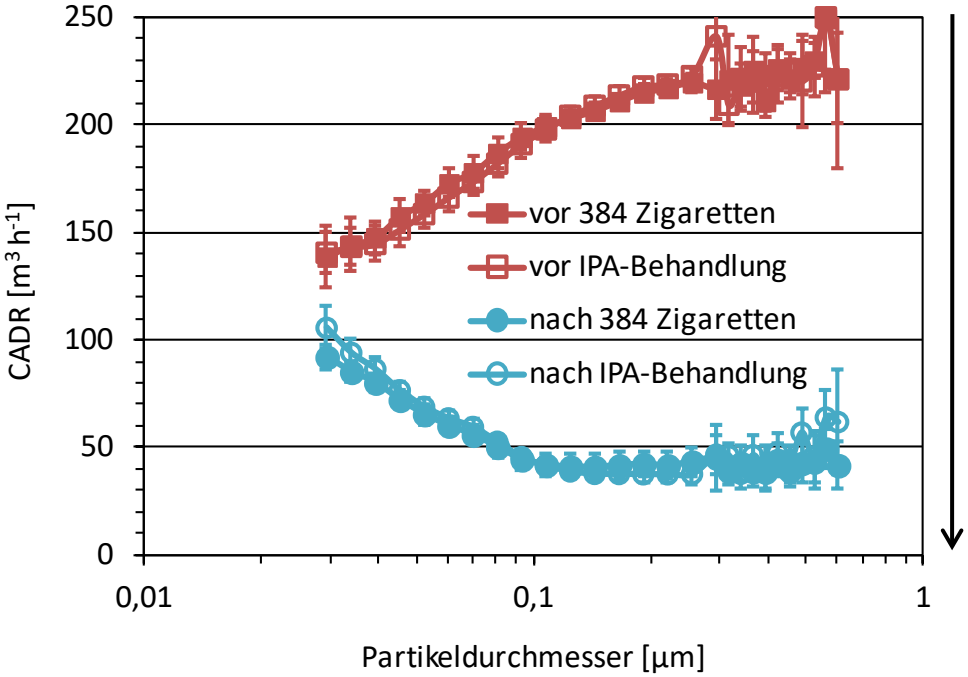


schrittweise Beladung
mit Zigarettenrauch

Kleine Partikel (0,03 µm)	Große Partikel (0,6 µm)
hohe mechanische Abscheidung	geringe mechanische Abscheidung
geringer Anteil an Partikeln geladen	hoher Anteil an Partikeln geladen
→ geringer Beitrag der Elektrophorese	→ hoher Beitrag der Elektrophorese

AP6: Entladung durch Partikel (IUTA + TU KL)

- Entladung der Filter durch Tränken in Isopropanol und anschließende Trocknung



Alterung mit Zigarettenrauch bzw. Isopropanolbehandlung

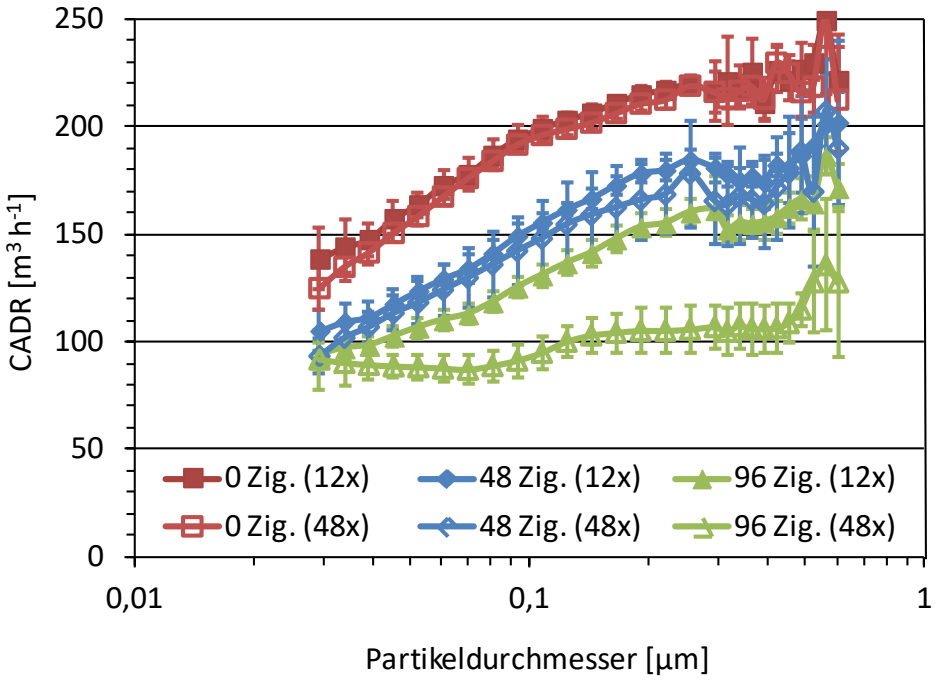
- vollständig entladener Zustand spätestens nach 384 Zigaretten erreicht
- Isopropanolentladung gibt keine Informationen über zeitlichen Verlauf der Alterung
- geplante Versuche: Alterung in Isopropanoldampf (schneller und ressourcenschonender)

AP6: Entladung durch Partikel (IUTA + TU KL)

- Vergleich zweier verschiedener Alterungsmethoden

12 Zigaretten gleichzeitig in 25 m³ Raum

48 Zigaretten gleichzeitig in 3 m³ Box (GB/T 18801:2015)



- Ergebnis: Alterung in 3 m³ Box schreitet deutlich schneller voran
- Einflussfaktoren: Agglomerationsrate, Stöchiometrie, Ladungszustand (Temperatureffekt)

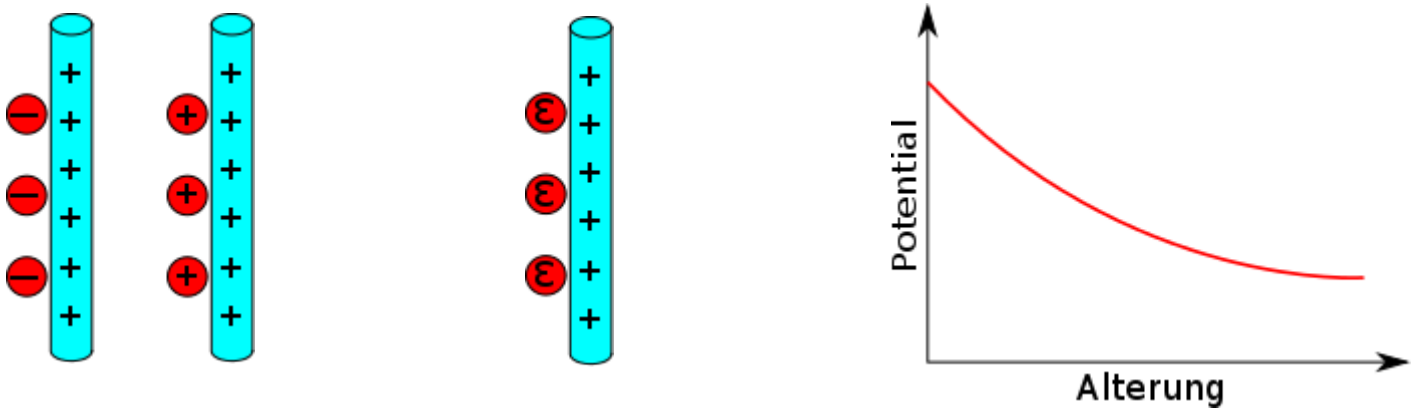
AP6: Entladung durch Partikel (IUTA + TU KL)

- Weiteres Vorgehen

  → definiert positiv oder negativ geladene NaCl-Partikel (Ladungskompensation)

  → Partikel mit unterschiedlicher Dielektrizitätskonstante (Abschirmungseffekte)

- Charakterisierung des Entladungszustandes mit elektrostatischem Voltmeter



AP7: Umwelteinflüsse im Betrieb (IUTA + TU KL)

- Exposition gegenüber unterschiedlichen Temperaturen und Feuchten

  → regelmäßige Bestimmung des Fraktionsabscheidegrades

- zugänglicher Bereiche: Temperatur 10 bis 40°C, Feuchte 40 – 90 % rF
- besonderes Augenmerk: Effekte reversibel oder irreversibel?

  → Beginn der Arbeiten im weiteren Projektverlauf

AP8: Lagerung (IUTA)

- parallele Lagerung von Filtern und Medien unter kontrollierten Bedingungen

  → regelmäßige Bestimmung des Fraktionsabscheidegrades

- zusätzlich Lagerung in einem nicht-klimatisierten Raum (typischer Anwendungsfall)

  → Beginn der Arbeiten im weiteren Projektverlauf

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 19145 N der Forschungsvereinigung Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. – IUTA, Bliersheimer Straße 58–60, 47229 Duisburg wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

ALLIANZ INDUSTRIE FORSCHUNG

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!