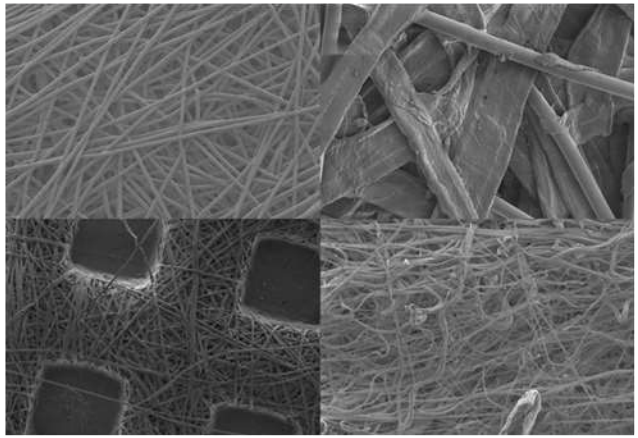
Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Abscheideverhalten neuer und gealterter Elektretfilter



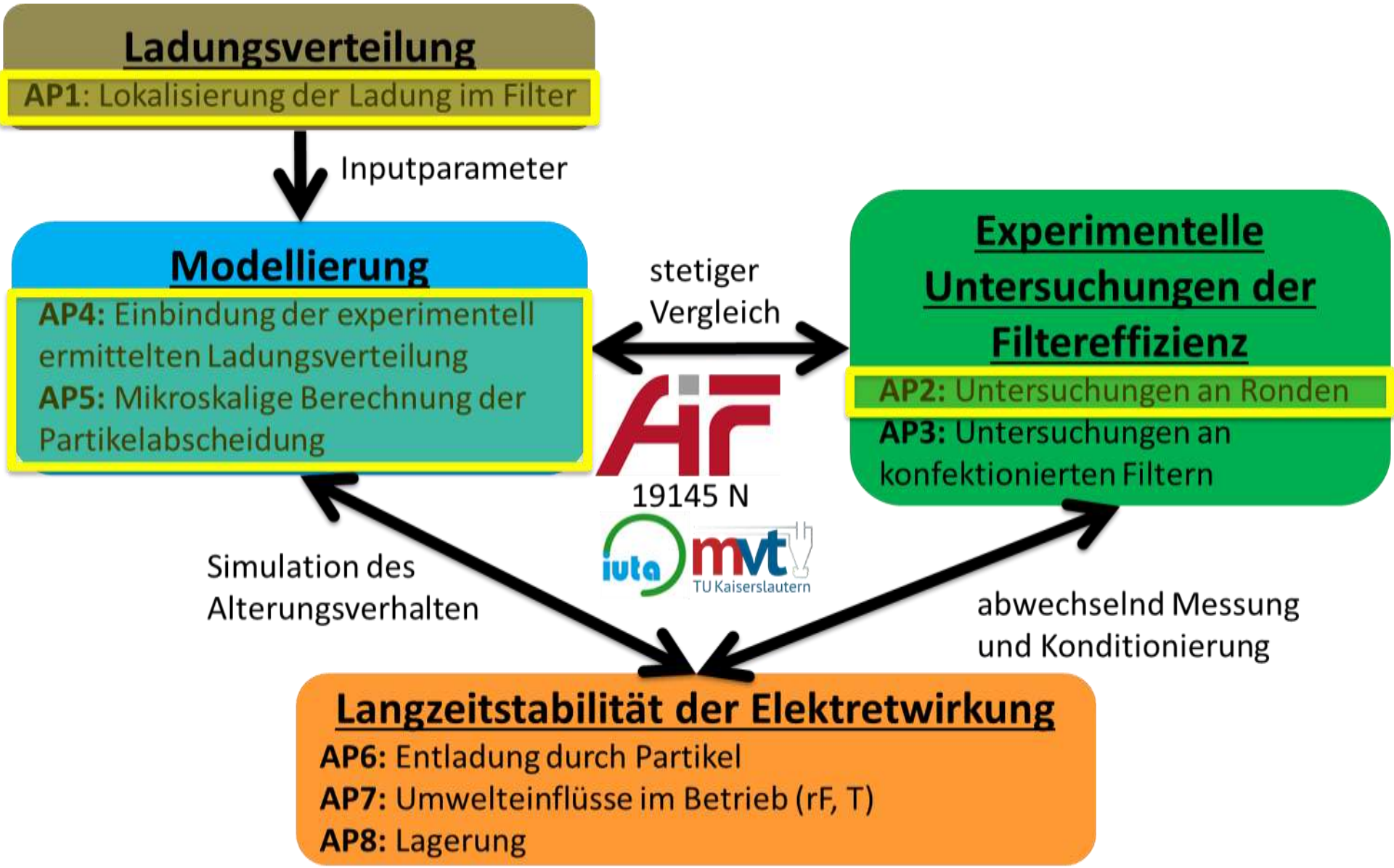
PA-Sitzungen
06.04.2017
IUTA, Duisburg

A. Hellmann[1], K. Schmidt[1], S. Schumacher[2],
C. Asbach[2], S. Antonyuk[1]

[1]Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik, TU Kaiserslautern
[2]Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA)

19145 N

Themenkomplexe

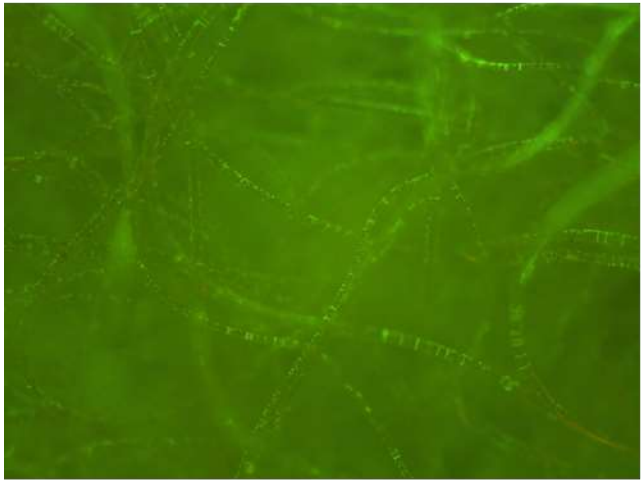


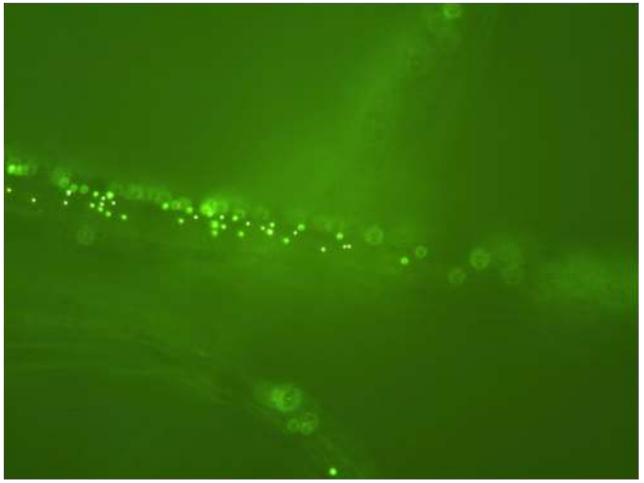
Agenda

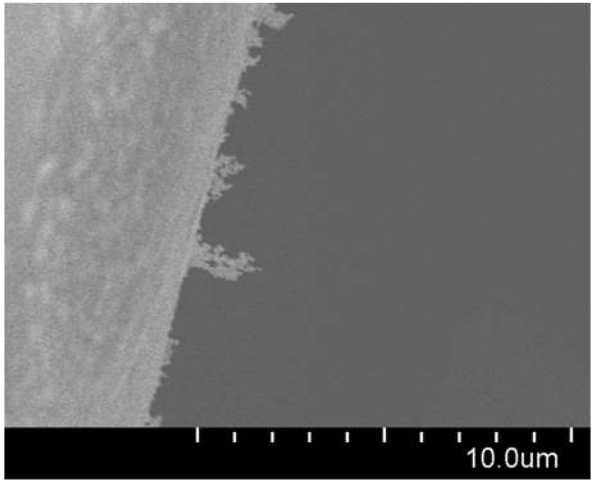
- **Themenkomplex: Ladungsverteilung**
  - AP1: Lokalisierung der Ladung im Filter
    - **Elektrostatisches Voltmeter**
    - **Fluoreszenzmikroskop oder REM Aufnahmen**
- **Themenkomplex: Experimentelle Untersuchungen der Filtereffizienz**
  - AP2: Untersuchungen an Ronden
    - **Experimenteller Aufbau**
- **Themenkomplex: Modellierung**
  - AP4: Einbindung der experimentell ermittelten Ladungsverteilung
    - **Generierbare Modelle**
  - AP5: Mikroskalige Berechnung der Partikelabscheidung
    - **3D Simulation, empirische Gleichungen, Messung**
      - Unipolar
      - Bipolar
- **Zusammenfassung**

AP1: Lokalisierung der Ladung

- **Ladungsverteilung**
  - Untersuchung unterschiedlicher Modifikationen
- **Experimentelle Untersuchungen der Filtereffizienz**
  - Unterschiedliche Materialien
  - Bestimmung des Ablagerungsortes der Partikeln
  - Bsp.: 500 nm PSL-Partikeln 10- bzw. 50-Fach vergrößert
- **Langzeitstabilität der Elektretwirkung**
  - Einlagerung und Einflüsse auf die Abscheidung
  - Reduktion der Oberflächenladung durch Partikeleinlagerung

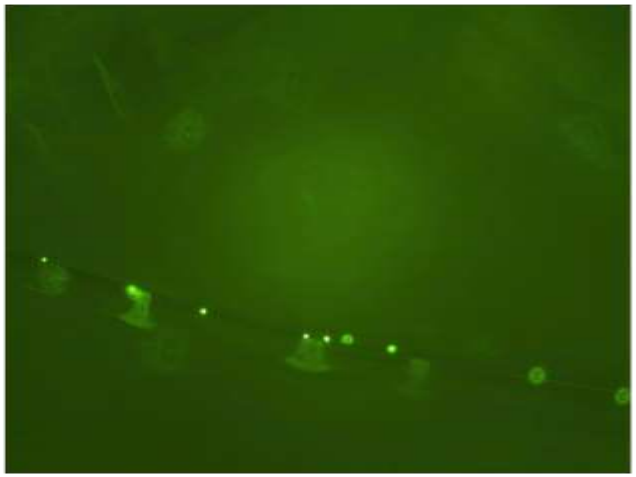


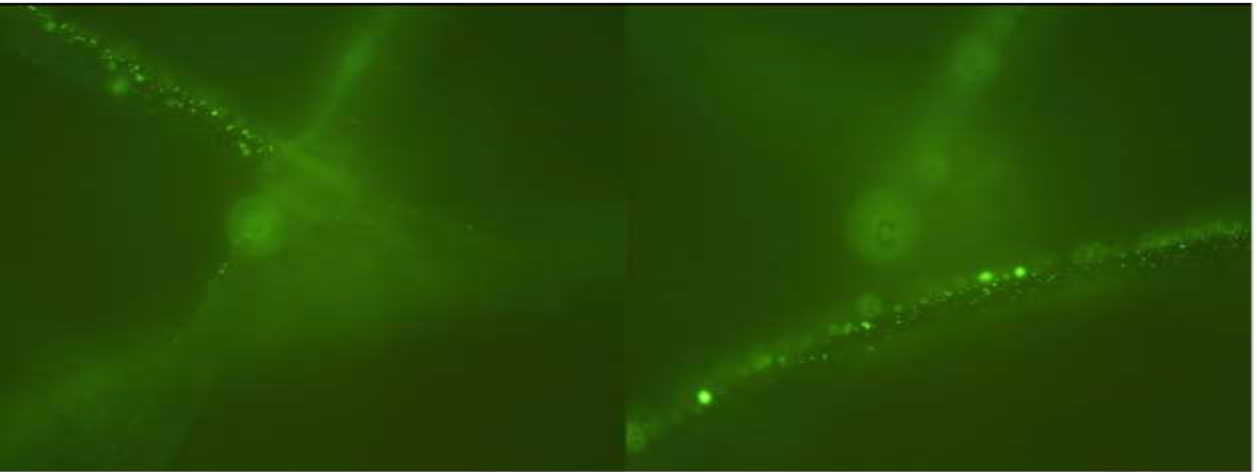


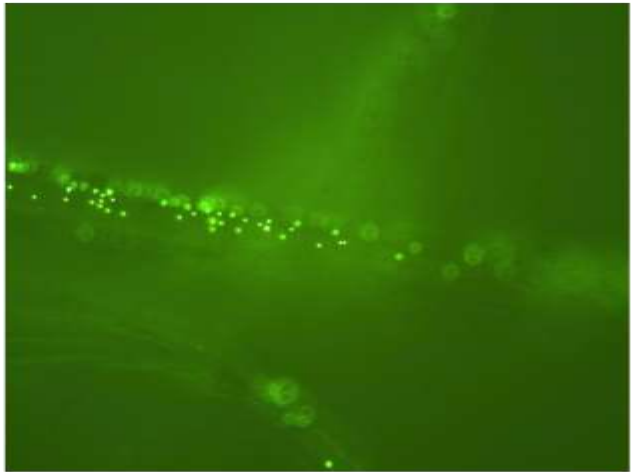


AP1: Lokalisierung der Ladung

- Erste Schritte mit einem Fluoreszenzmikroskop
- Partikel (Polystryrol-Latex , Topas ATM 226, 7,8 cm/s)
  - 750 nm
    - Faserseite senkrecht zur Anströmrichtung
  - 500 nm
    - Breitere Verteilung auf der Faser
  - 200 nm
    - Um die Faser verteilt







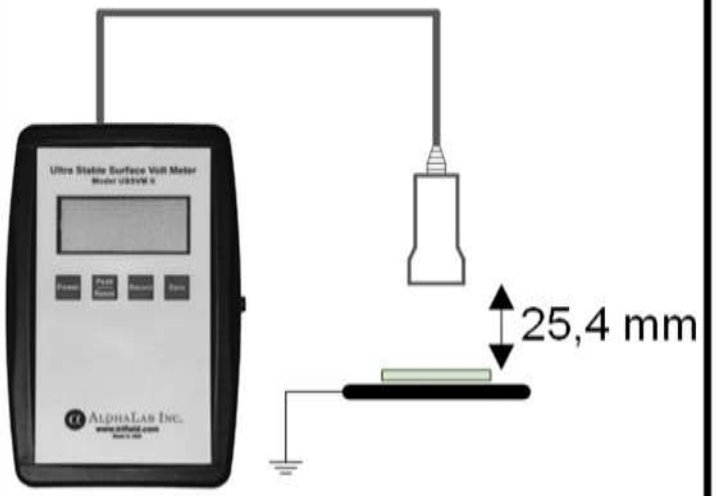
AP1: Lokalisierung der Ladung

- **Erste Schritte für eine Lokalisierung**
- **Mögliches Messkonzept:**
- **Krypton-Quelle**
  - Ladung (+/ -)
- **Entladungsstrecke**
  - Partikelladung (+ / - / 0)
- **Filtermaterial**
  - Ladung(+ / -)
  - Mit unterschiedlichen Herstellungsmethoden

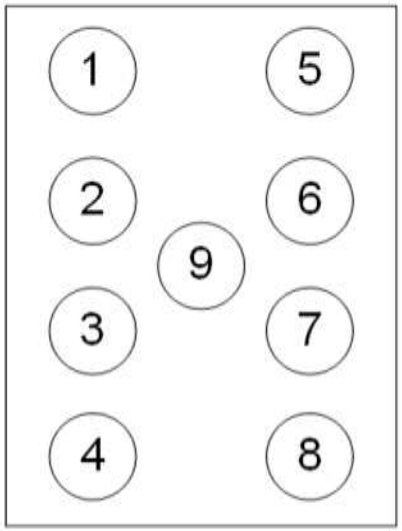
www.tsi.com

www.palas.de

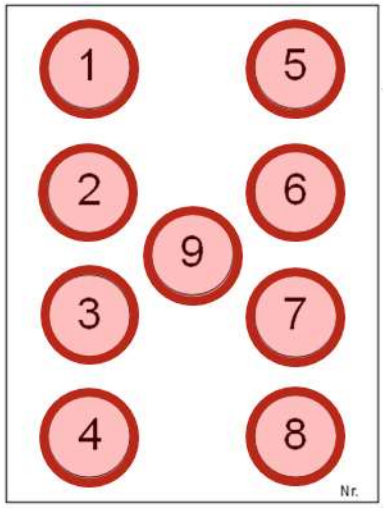
Elektrostatisches Voltmeter



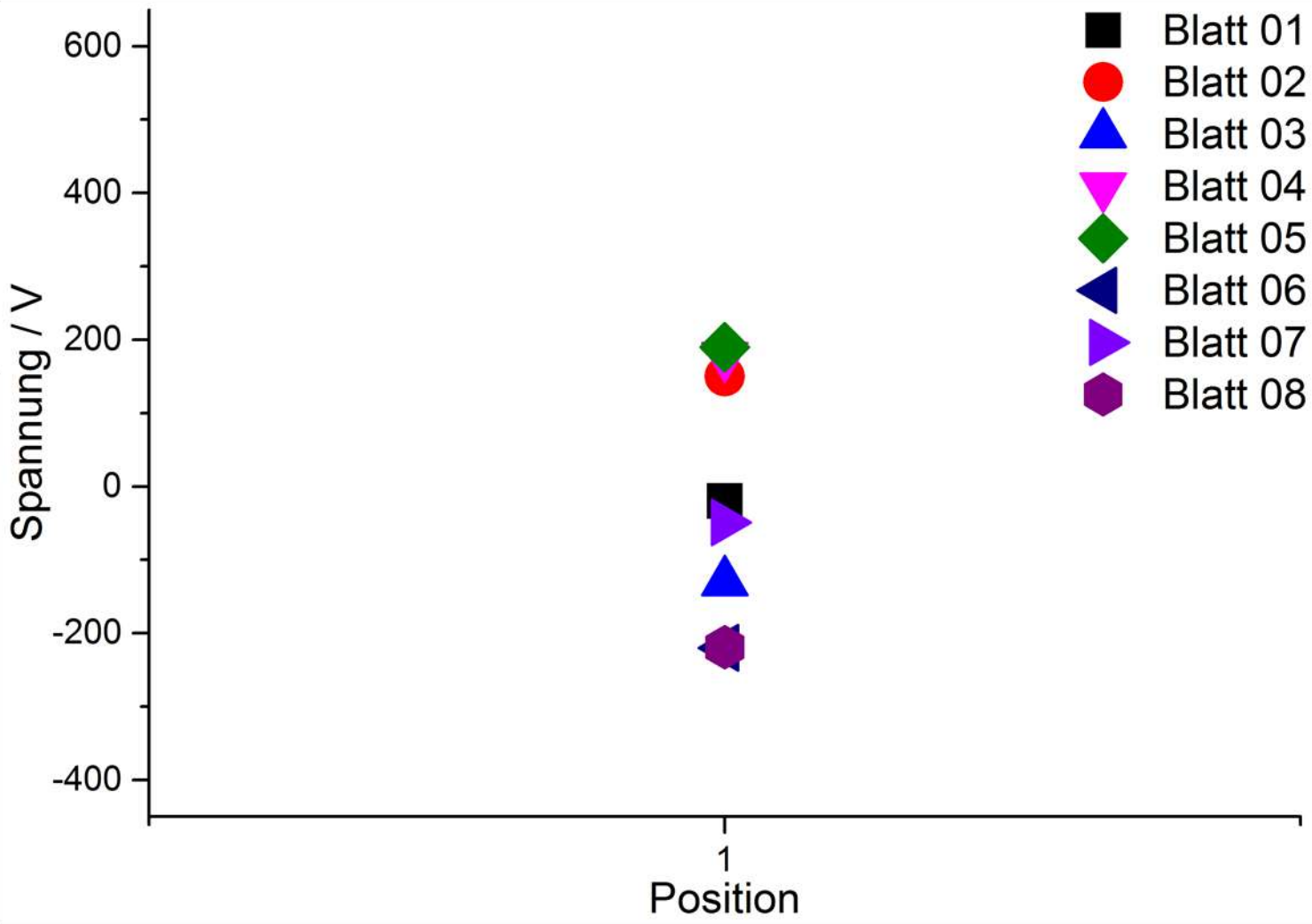
Ultra Stable Surface DC Voltmeter
Model USSVM2, AlphaLab Inc,



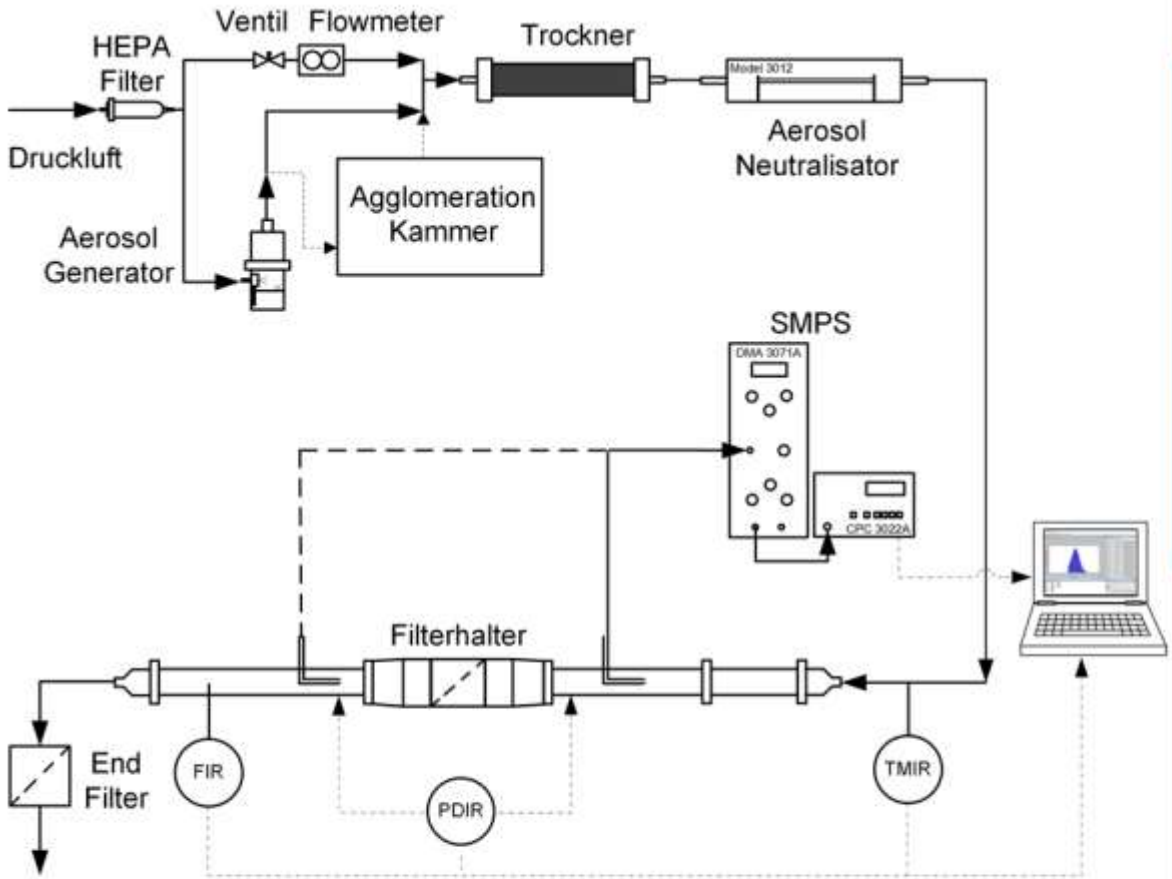
Vergleich von 8 Materialproben

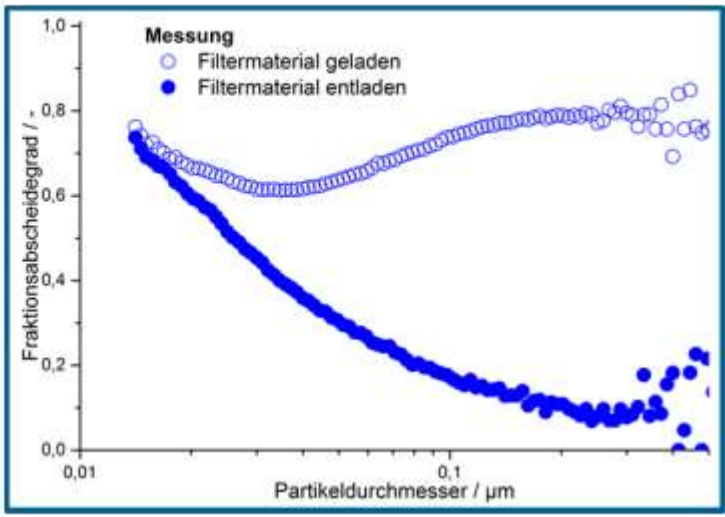


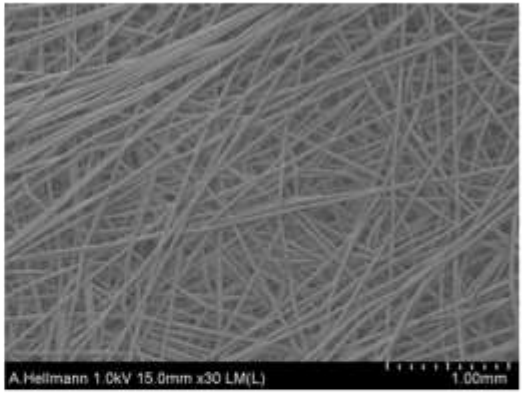
Pos.	Min.	Max.
Nr.	V	V
1	-220	190
2	-297	238
3	-282	610
4	-160	320
5	-208	245
6	-355	236
7	-235	245
8	-320	215
9	-390	519



AP2: Untersuchungen an Ronden







- Material: Faserdurchmesser ca. 32 µm, Porosität ca. 80 %, Filterhöhe ca. 0,68 mm
- Generiertes Aerosol mittels Zerstäuber und NaCl
- PGV Median: ca. 40 nm; ca. $1{,}2 \cdot 10^6$ #/cm³

Modellierung - Software

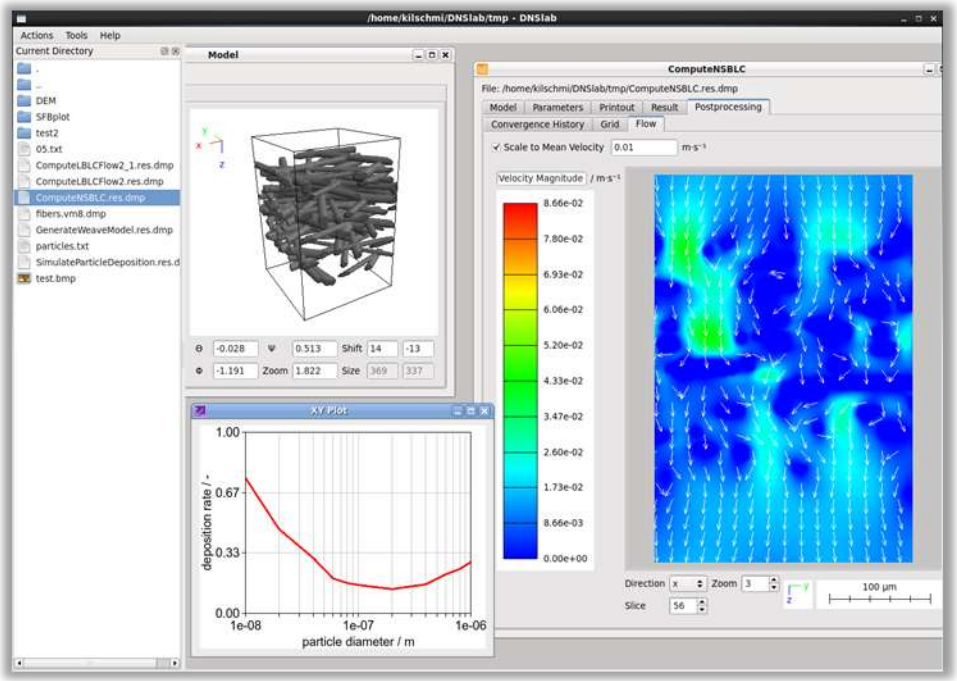
- **Themenkomplex Modellierung**
- **Direct Numerical Simulation laboratory (DNSlab)**
  - Eigenentwicklung in C++
  - Lizenzierung und Auftragsarbeit mit DNSlab
    - IT for Engineering (it4e) GmbH
  - Graphische Benutzeroberfläche
- **Generierung von 3D Porenstrukturmodellen**
  - Import von Tomographien
  - Generierung von 3D Modellen
  - Strukturanalyse
    - Innere Oberfläche
    - Porengrößenverteilung
  - Numerische Simulation
    - Durchströmung
    - Stofftransport und -abscheidung
  - Visualisierung der Simulationsergebnisse

DNSlab®

www.dnslab.info

it4e®

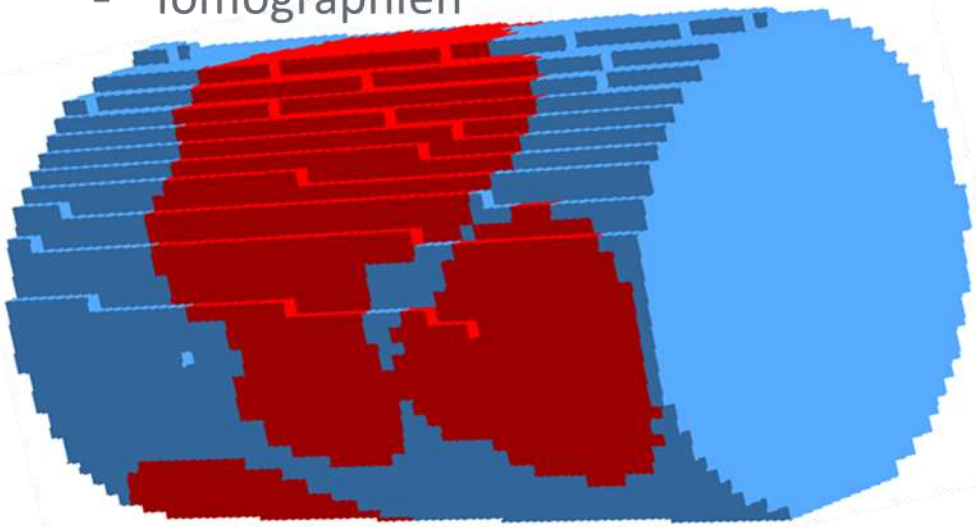
www.it4e-gmbh.de

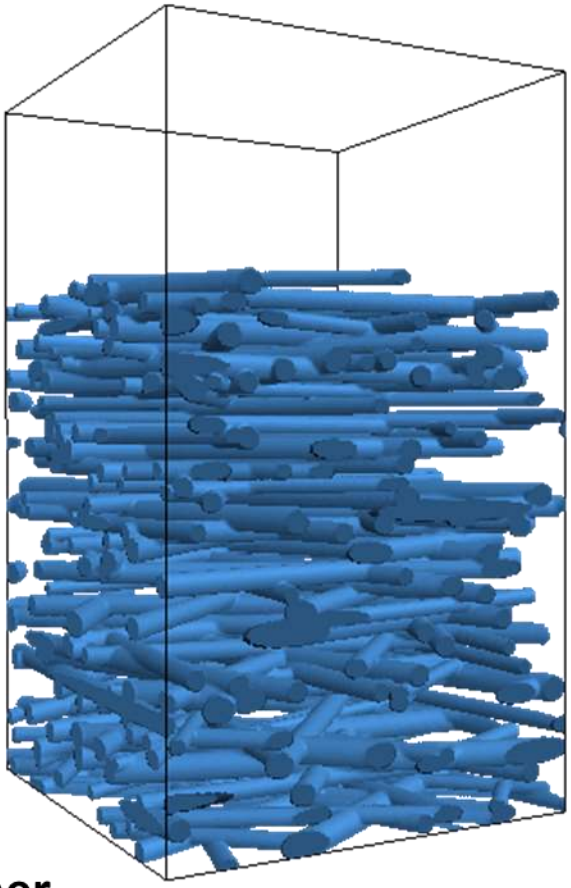


AP4: Einbindung Ladungsverteilung

- **3D Simulation basiert auf einem 3D Modell einer Mikrostruktur eines Filtermediums**
  - Modell über Voxelgitter

- **Modelle können erstellt werden über**
  - Generierungsmethoden
  - Tomographien





- **Berechnung der Strömung und Partikelabscheidung über**
  - Numerische Lösung der inkompressiblen Navier-Stokes Gleichungen
  - Partikelabscheidung über den Ansatz nach Lagrange

DNSlab®

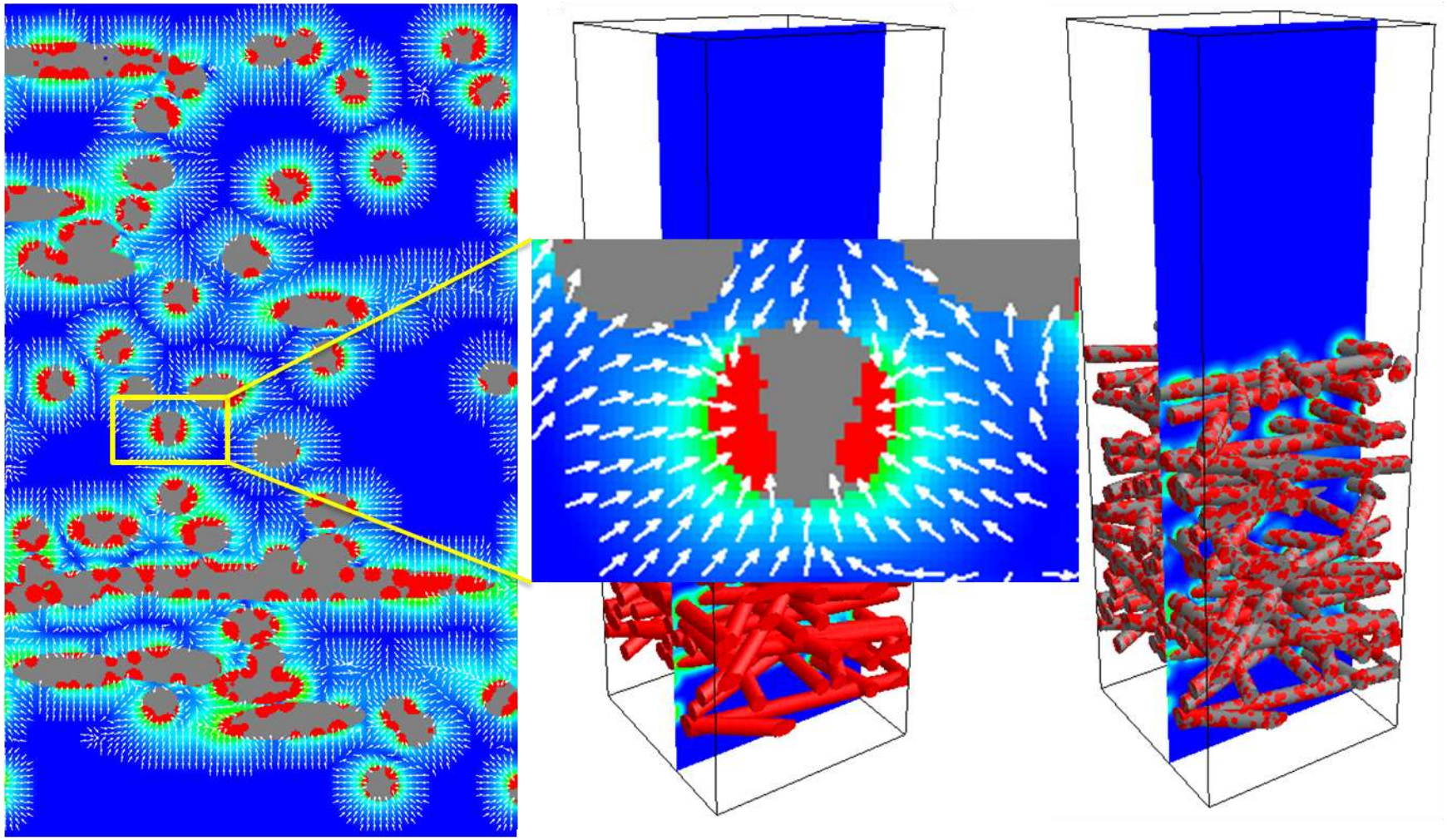
AP4: Einbindung Ladungsverteilung

- **Simulationsablauf**
- **Schritte:**

a. Modelgröße mit Einlauf und Auslaufvolumen
b. Faserdurchmesser
c. Verteilung von Kugeln auf der Faseroberfläche
d. Entfernung der Kugeln (geladene Kontaktfläche)
e. Simulation der Luftströmung mit periodischen Randbedingungen
f. Berechnung E-Feld
g. Simulation der Partikeltrajektorien

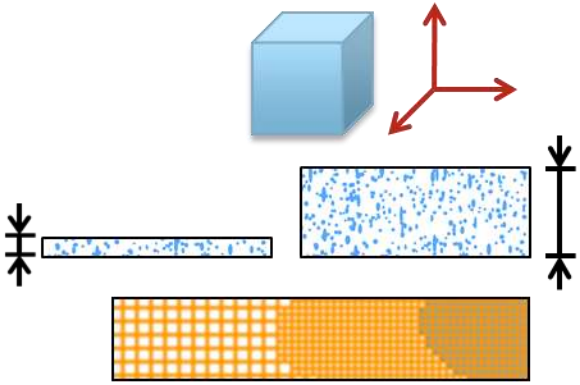
AP4: Einbindung Ladungsverteilung

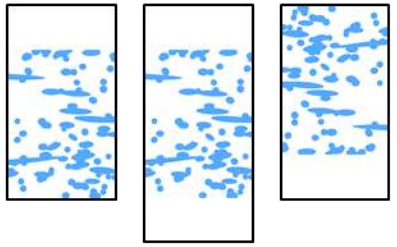
- **Mögliche Verteilung der Oberflächenladung (DNSlab)**

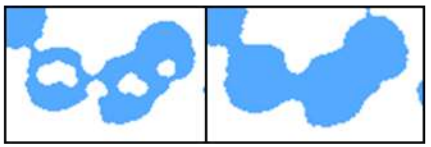


Einflussfaktoren 3D Simulation

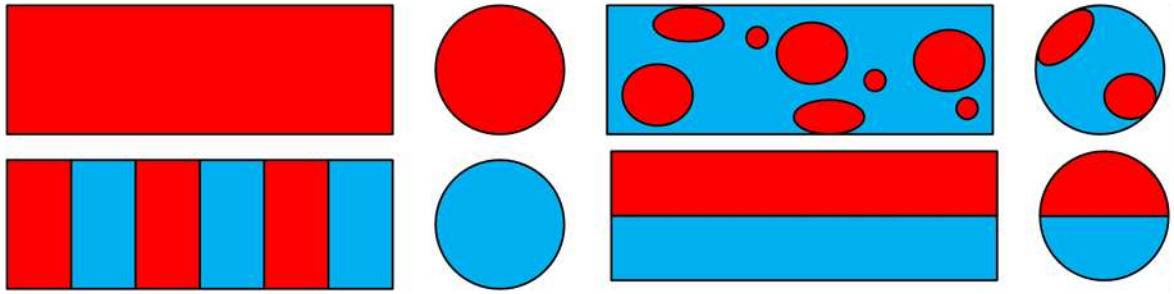
- **Modellierung**
  - Voxelgröße (Auflösung)
  - Modellgröße (z.B. 1 oder 10 Filterschichten)
  - Lokale Gittervergröberung
  - Einlauflänge der Anströmseite
  - Tomographieverarbeitung, z.B. Faserfüllung, Ausschnitte
  - Anzahl der aufgegebenen Partikel







  - Faser- und Partikelladung
    - **Berechnungsmodell**
    - **Randbedingungen**
    - **Modellhöhe muss dem Filtermaterial entsprechen**



AP4: Einbindung Ladungsverteilung

- **Empirischer Ansatz zur Bestimmung der Partikelabscheidung in Filtermedien**

$$\eta_{D+S} = 1{,}6 \cdot \left(\frac{1-\alpha}{K}\right)^{1/3} Pe^{-2/3} + 0{,}6 \cdot \left(\frac{1-\alpha}{K}\right) \cdot \left(\frac{R^2}{1+R}\right)$$

  - Semi-empirischer Ansatz von Lee & Liu (1982) für Diffusion, Interzeption und
  - Elektrostatik mit Brown (1993)

$$\eta_E = \pi \cdot N_{Qq}$$

$$N_{Qq} = \frac{Q \cdot q}{3 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \mu \cdot D_F \cdot u_0}$$

  - Haftwahrscheinlichkeit h=1
  - und zusätzliche Gleichungen

$$Pe = \frac{D_F \cdot u}{D} \qquad \alpha = 1 - \varepsilon$$

$$D = \frac{k_B \cdot T}{3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot x} \cdot Cu$$

$$K = -0.5 \ln(\alpha) - 0.75 + \alpha - 0.25\,\alpha^2$$

Partikel-durchmesser	Prozentualer Anteil der Partikelladung												
µm	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
0,01							90,75						
0,02							80,57						
0,04							64,79						
0,06							54,13						
0,08							46,75						
0,1							42,28						
0,2							29,66						
0,4							20,65						
0,6							16,60						
0,8							14,15						
1,0							12,46						

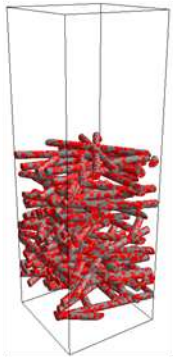
Löffler, F., Staubabscheidung mit Schlauchfiltern und Taschenfiltern, 1984
Brown, R.C., Air Filtration, Pergamon Press, 1993

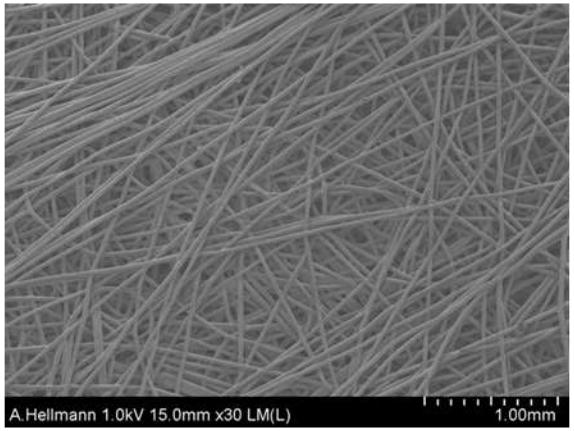
A. Wiedensohler, An Approximation of the Bipolar Charge Distribution for Particles in the submicron Size Range, 1988
Fuchs, N. A., On the stationary charge distribution on aerosol particles in a bipolar ionic atmosphere, Pure and Applied Geophysics, Bd. 56(1), Nr. 08/1963, pp. 185-193

AP5: Mikroskalige Berechnung

- **Themenkomplex Modellierung**
- **AP5: Mikroskalige Berechnung der Partikelabscheidung**
- **Empirische Gleichungen**
  - Unipolar
  - Bipolar
- **3D Simulationsablauf**
  - Generiertes Modell
- **Experimentelle Ergebnisse**
  - Untersuchtes Gewebe

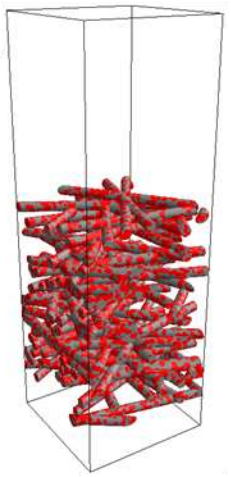
$$\eta_{D+S} = 1{,}6 \cdot \left(\frac{1-\alpha}{K}\right)^{1/3} Pe^{-2/3} + 0{,}6 \cdot \left(\frac{1-\alpha}{K}\right) \cdot \left(\frac{R^2}{1+R}\right)$$

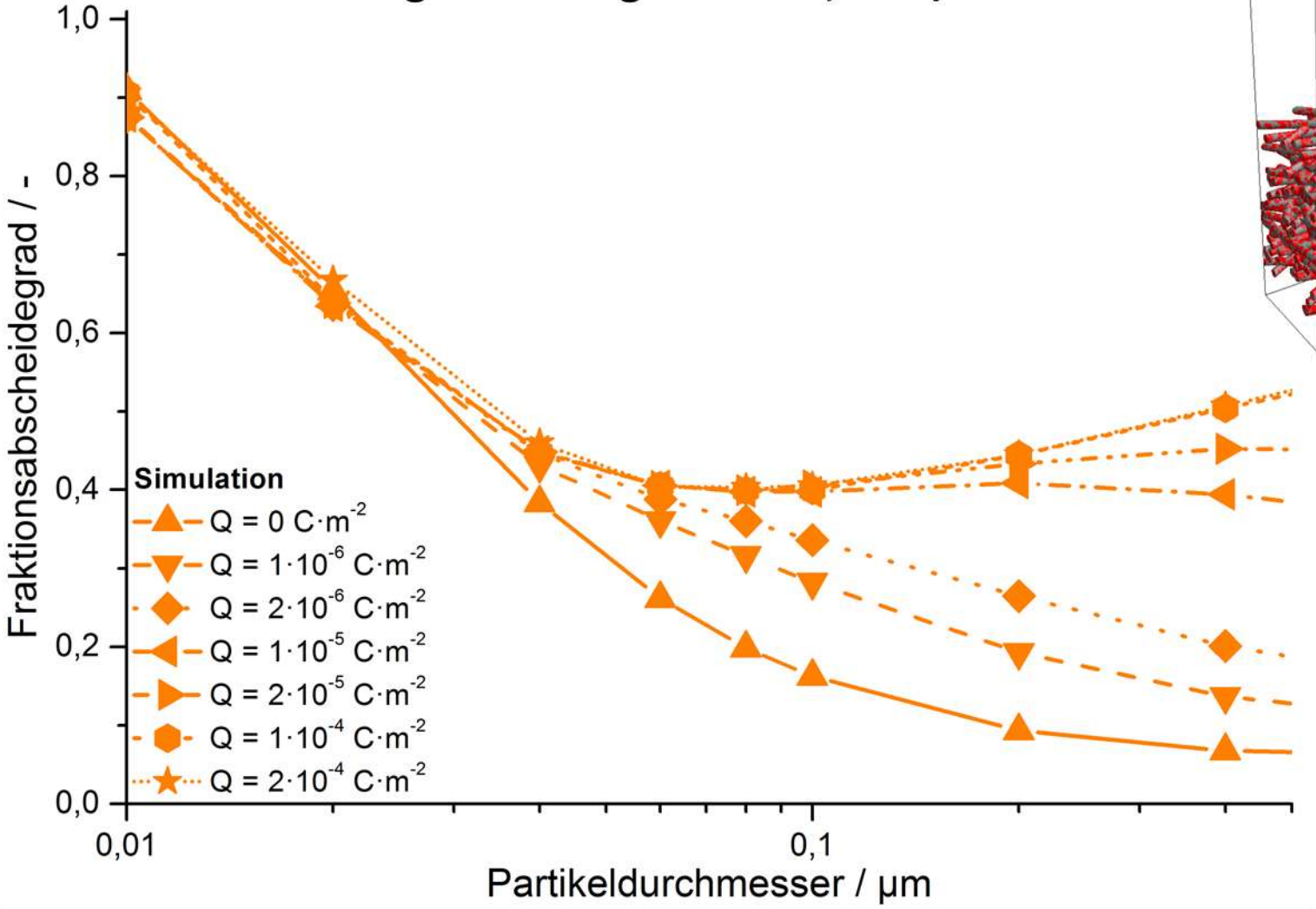




AP5: Mikroskalige Berechnung

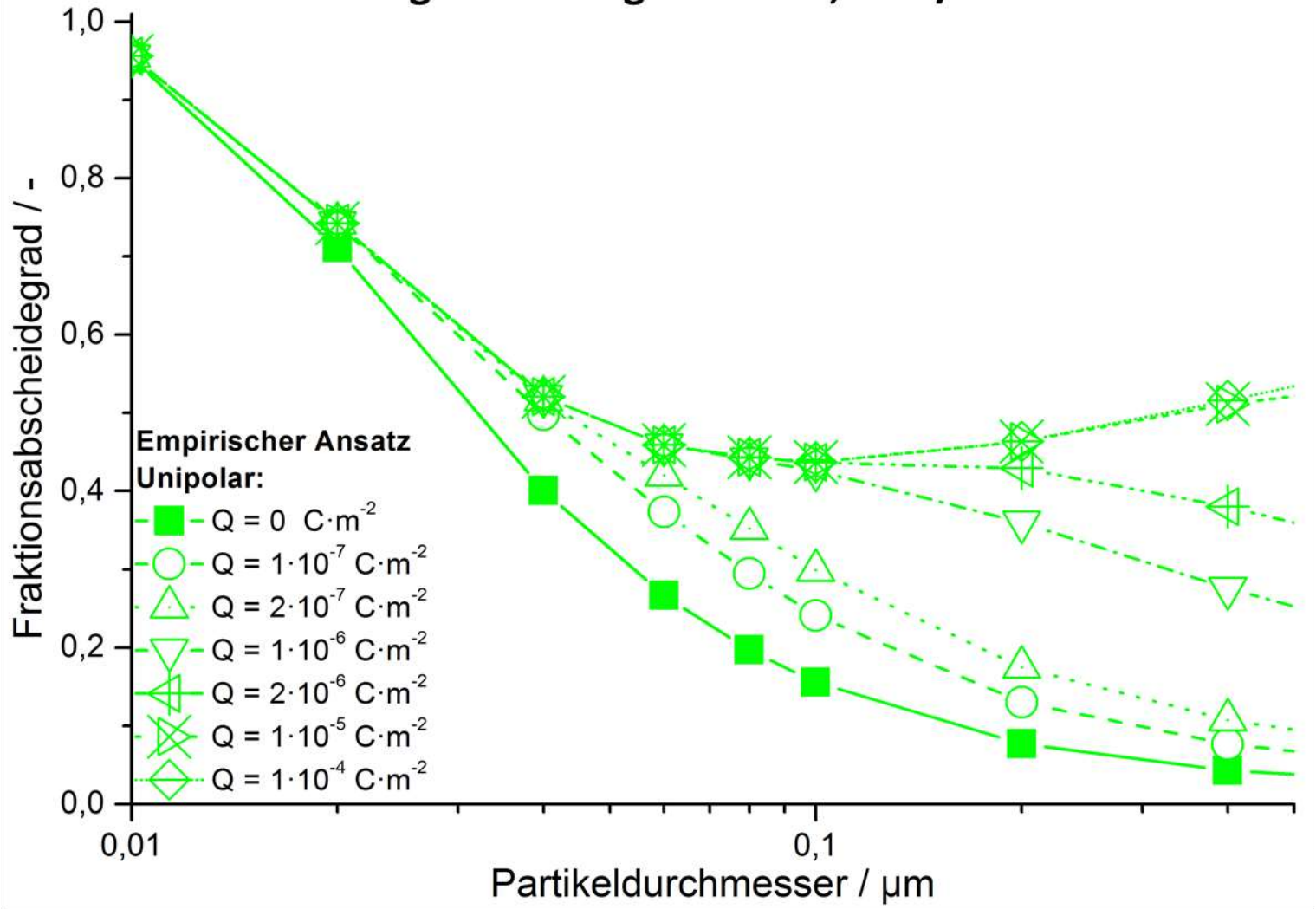
- **3D Simulation - Unipolar: Abscheidegrad für ein Filtermedium mit 0,68 mm Höhe und einer Anströmgeschwindigkeit von 0,02 m/s**





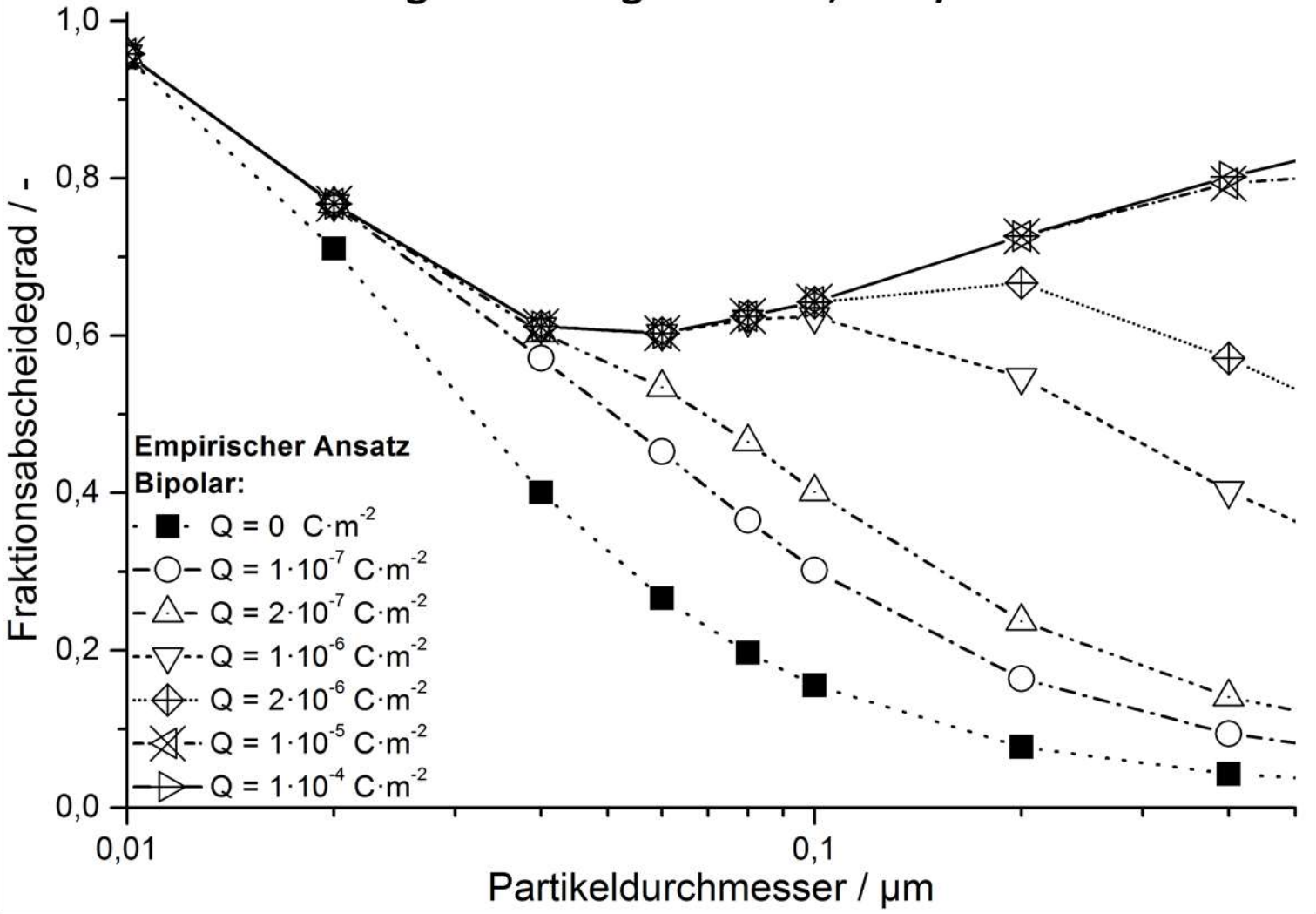
AP5: Mikroskalige Berechnung

- **<u>Emp. Gleichungen – Unipolar</u>: Abscheidegrad für ein Filtermedium mit 0,68 mm Höhe und einer Anströmgeschwindigkeit von 0,02 m/s**



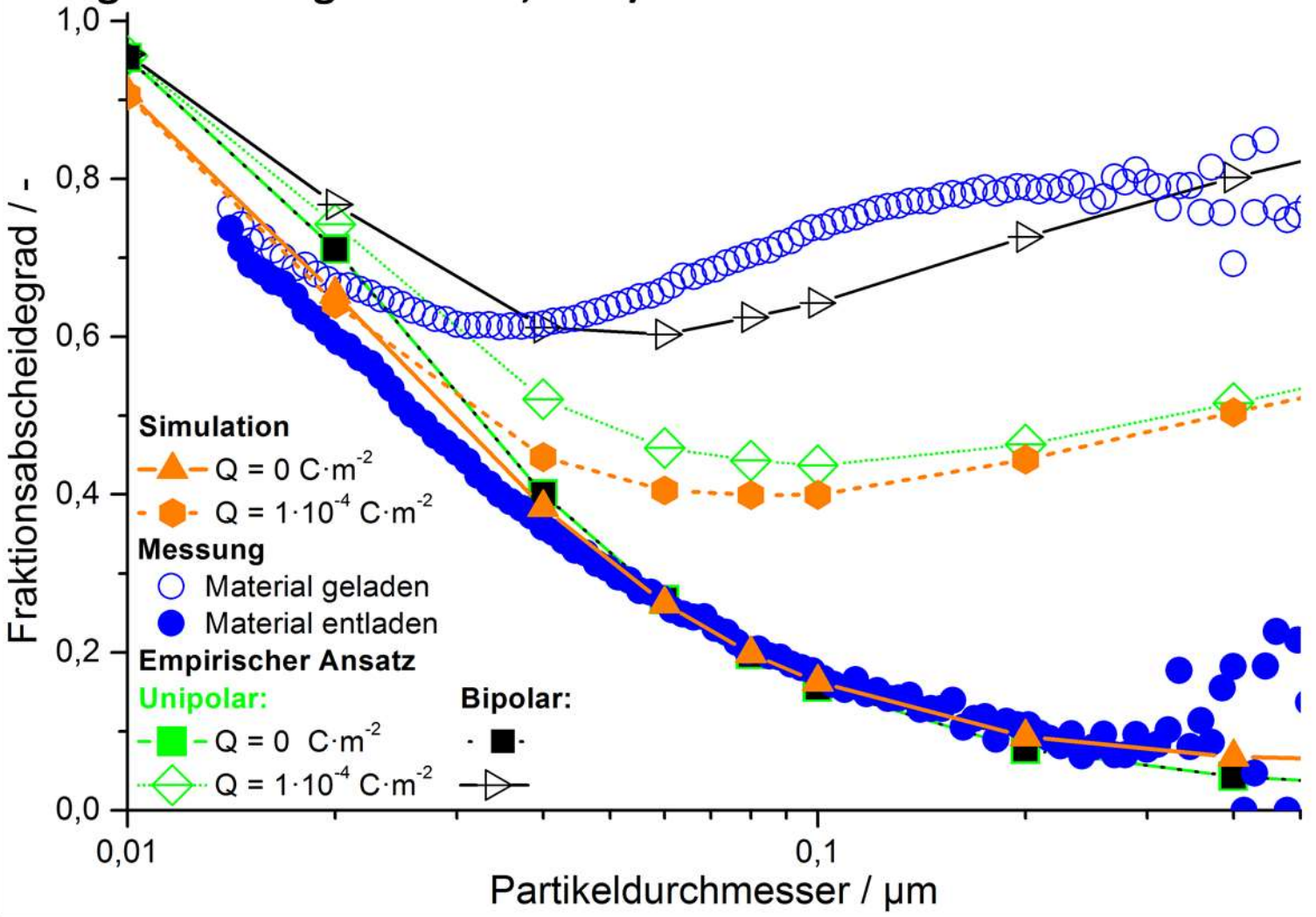
AP5: Mikroskalige Berechnung

- **Emp. Gleichungen – Bipolar: Abscheidegrad für ein Filtermedium mit 0,68 mm Höhe und einer Anströmgeschwindigkeit von 0,02 m/s**



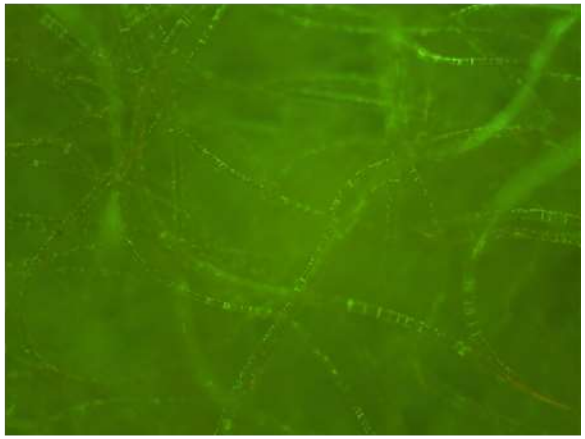
AP5: Mikroskalige Berechnung

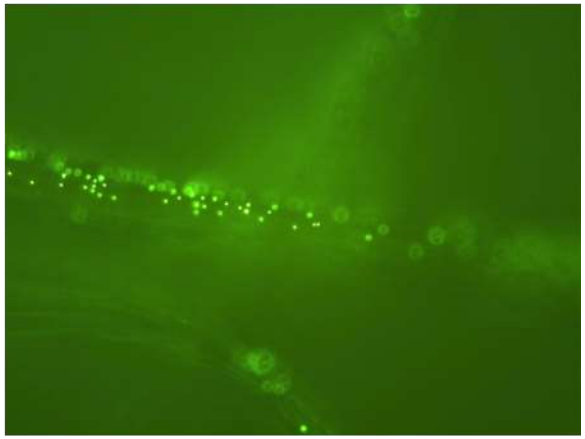
- **<u>Vergleich</u>: Abscheidegrad für ein Filtermedium mit 0,68 mm Höhe und einer Anströmgeschwindigkeit von 0,02 m/s**



Zusammenfassung

- **Es wurde 1 Filtermedium im geladen und entladen Zustand untersucht**
- **Vergleiche für Messung, 3D Simulation und empirischer Ansatz**
  - Trenngrad (mit und ohne Oberflächenladung)
- **Ladungsverteilung**
  - Untersuchung unterschiedlicher Modifikationen
- **Experimentelle Untersuchungen der Filtereffizienz**
  - Unterschiedliche Materialien
  - Bestimmung des Ablagerungsortes der Partikeln
  - Bsp.: 500 nm PSL-Partikeln 10- bzw. 50-Fach vergrößert
- **Modellierung**
  - Partikeleinlagerung, Partikelladung
  - Erweiterung der Simulation mit Dielektrophorese
  - Verwendung einer Tomographie
- **Langzeitstabilität der Elektretwirkung**
  - Einlagerung und Einflüsse auf die Abscheidung
  - Reduktion der Oberflächenladung durch Partikeleinlagerung



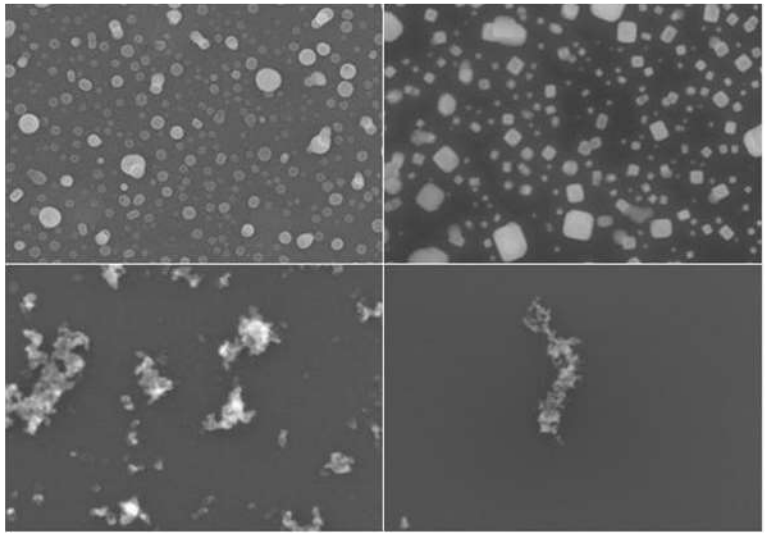


Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



AiF

19145 N

DNSlab®

iuta

NSC Nano Structuring Center

Albert Hellmann

Telefon: +49(0)631-205 3035

E-Mail: albert.hellmann@mv.uni-kl.de