

IGF-Projekt 19145 N

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

M.Sc. Maximilian Kerner



FS1

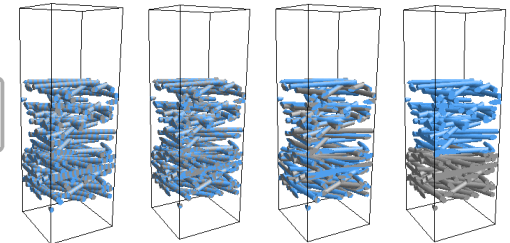
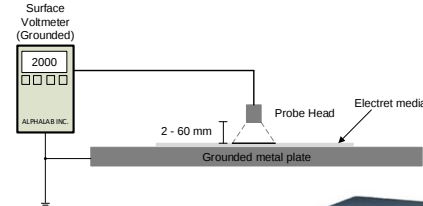
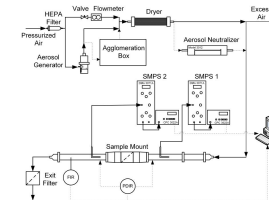
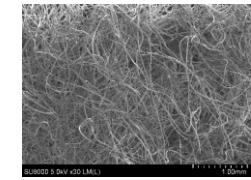
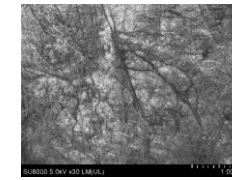
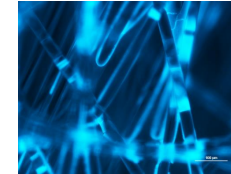
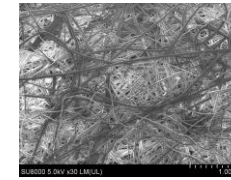
Institut für Energie- und Umwelttechnik
Duisburg



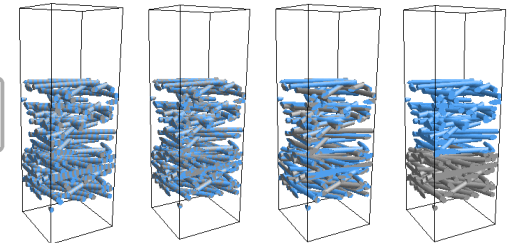
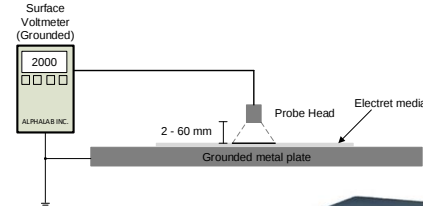
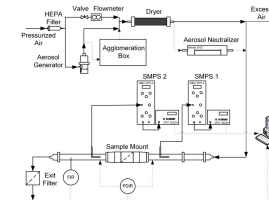
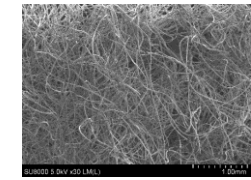
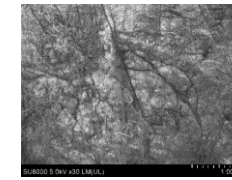
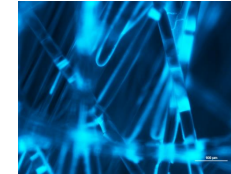
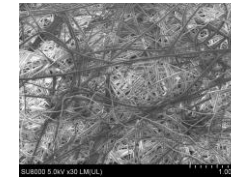
FS2

Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik
Technische Universität Kaiserslautern
Prof. Dr.-Ing. Sergiy Antonyuk

- Arbeitsgruppe an FS2
- Einfluss der Entladung auf die Faserstruktur
- Lokalisierung der Ladung
 - Abscheidung fluoreszierender Partikel
 - Messungen mittels Oberflächenvoltmeter
- Abscheidung submikroner Partikel
 - Neutralisation
 - Unipolare Aufladung
- Numerische Untersuchungen
 - Sensitivitätsstudie Ladungsmodellierung
 - Einbindung von Tomographien



- **Arbeitsgruppe an FS2**
- Einfluss der Entladung auf die Faserstruktur
- Lokalisierung der Ladung
 - Abscheidung fluoreszierender Partikel
 - Messungen mittels Oberflächenvoltmeter
- Abscheidung submikroner Partikel
 - Neutralisation
 - Unipolare Aufladung
- Numerische Untersuchungen
 - Sensitivitätsstudie Ladungsmodellierung
 - Einbindung von Tomographien





M.Sc. Maximilian Kerner

- Projektbearbeitung seit 01.03.2018



Dr.-Ing. Kilian Schmidt

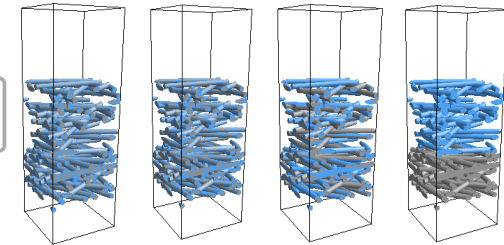
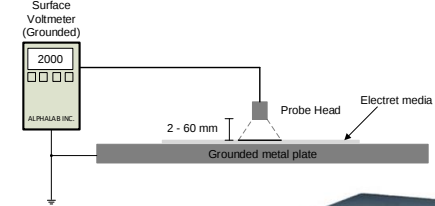
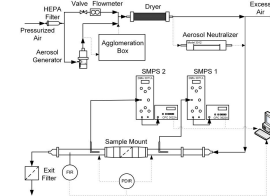
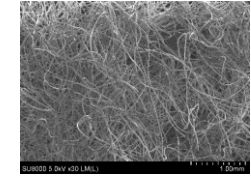
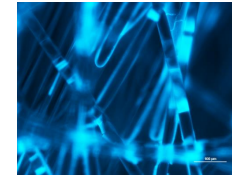
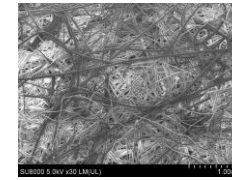
- Projektbearbeitung bis 31.10.2018
- Lehrauftrag an der TUK
- Beratung und Support DNSlab



Prof. Dr.-Ing. Sergiy Antonyuk

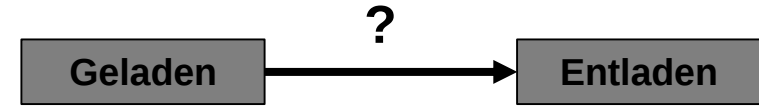
- Projektleitung

- Arbeitsgruppe an FS2
- **Einfluss der Entladung auf die Faserstruktur**
- Lokalisierung der Ladung
 - Abscheidung fluoreszierender Partikel
 - Messungen mittels Oberflächenvoltmeter
- Abscheidung submikroner Partikel
 - Neutralisation
 - Unipolare Aufladung
- Numerische Untersuchungen
 - Sensitivitätsstudie Ladungsmodellierung
 - Einbindung von Tomographien



Filtermedium	Material	Layer	FS1
1	PP	1	-
2	PBT	1	Vorhanden
3	PP	1	P03
4	PA auf PE/PP	2	P01
5	PP auf PE	2	P02
6	PP	1	Vorhanden
7	-	1	-
8	-	1	-
9	-	1	-
10	-	1	-

Filtermedium	Material	Layer	FS1
1	PP	1	-
2	PBT	1	Vorhanden
3	PP	1	P03
4	PA auf PE/PP	2	P01
5	PP auf PE	2	P02
6	PP	1	Vorhanden
7	-	1	-
8	-	1	-
9	-	1	-
10	-	1	-



- DIN EN 779 (mindestens 2 min)

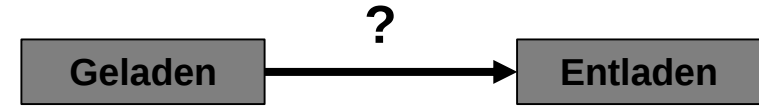


- ISO 16890-4 (24 h)



Topas GmbH

Filtermedium	Material	Layer	FS1
1	PP	1	-
2	PBT	1	Vorhanden
3	PP	1	P03
4	PA auf PE/PP	2	P01
5	PP auf PE	2	P02
6	PP	1	Vorhanden
7	-	1	-
8	-	1	-
9	-	1	-
10	-	1	-



- DIN EN 779 (mindestens 2 min)

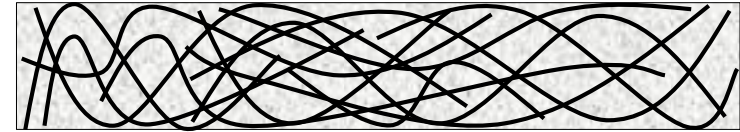


- ISO 16890-4 (24 h)

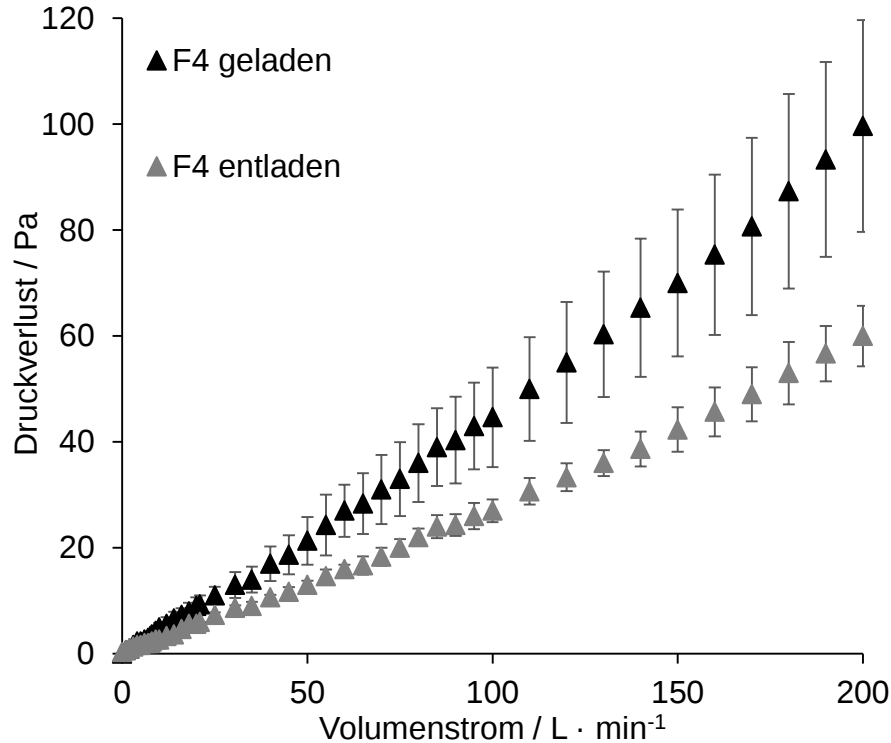


Topas GmbH

Filtermedium	Material	Layer	FS1
1	PP	1	-
2	PBT	1	Vorhanden
3	PP	1	P03
4	PA auf PE/PP	2	P01
5	PP auf PE	2	P02
6	PP	1	Vorhanden
7	-	1	-
8	-	1	-
9	-	1	-
10	-	1	-



- Grammatur
- Höhe
- Porosität
- Druckverlust
 - Luftdurchlässigkeit (200 Pa)
- REM-Aufnahmen
 - Faserdurchmesserverteilung



LDL geladen

$L \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

890 ± 180

LDL entladen

$L \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

1860 ± 160

Filtermedium

4

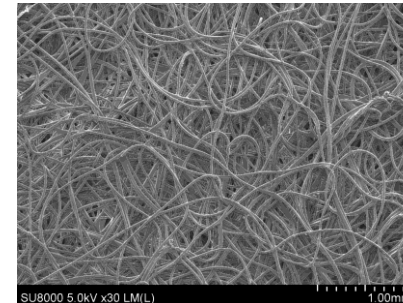
Material

PA auf PE/PP

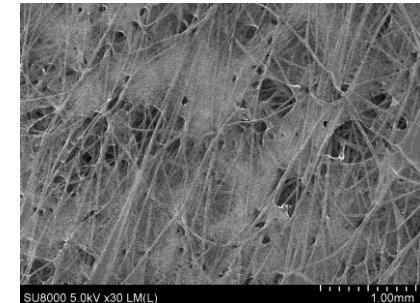
Layer

2

Layer 1



Layer 2



▪ Nanofaserlage auf Trägerschicht

- Quellung von Nanofasern durch IPA möglich
DIN EN 779, Myers and Arnold: INJ Winter, 2003

Modalwert geladen
μm

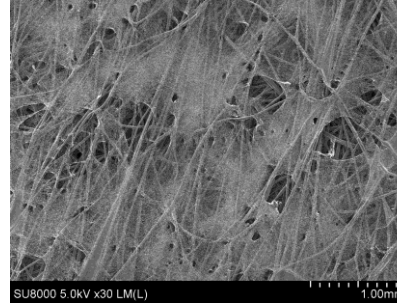
Modalwert entladen
μm

0.14 ± 0.04

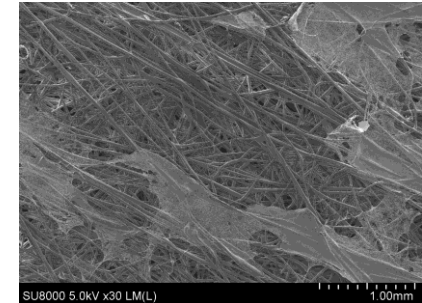
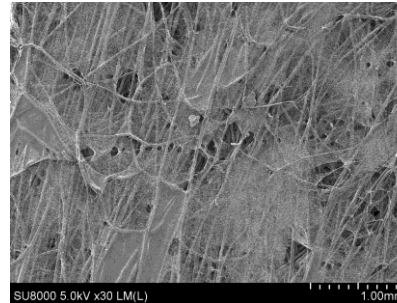
0.13 ± 0.04

- 20k-Vergrößerung
- Obere Reihe: 1.Probe
- Untere Reihe: 2.Probe

Geladen



Entladen



▪ Nanofaserlage auf Trägerschicht

- Quellung von Nanofasern durch IPA möglich
DIN EN 779, Myers and Arnold: INJ Winter, 2003

Modalwert geladen
μm

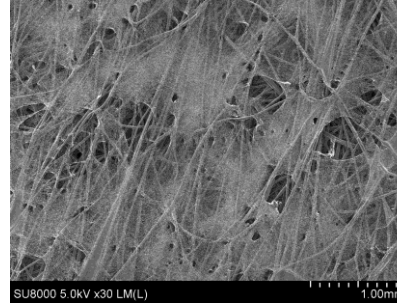
Modalwert entladen
μm

0.14 ± 0.04

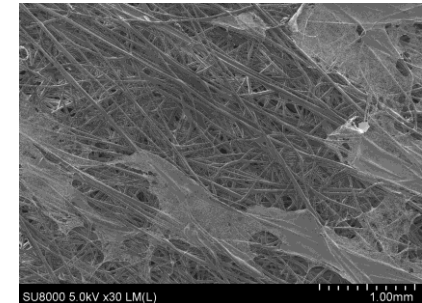
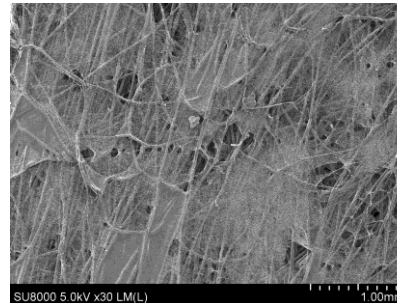
0.13 ± 0.04

- 20k-Vergrößerung
- Obere Reihe: 1.Probe
- Untere Reihe: 2.Probe
- Anströmen des Filtermediums mit 0.02 m/s
+ 0.08 m/s für 10 min

Geladen



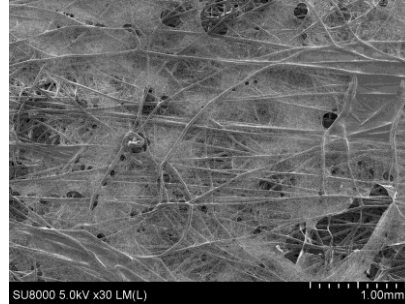
Entladen



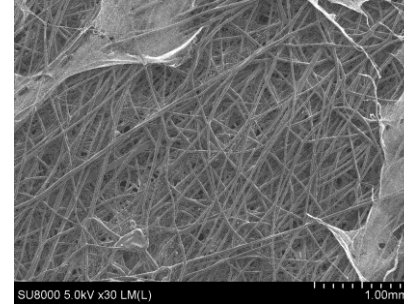
Geladen 0.02 m/s



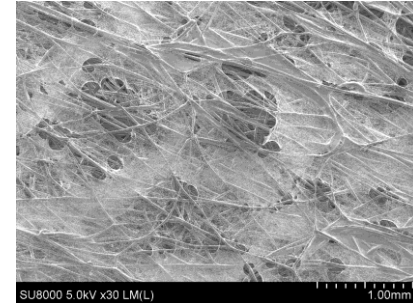
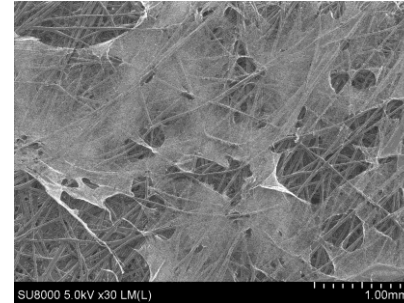
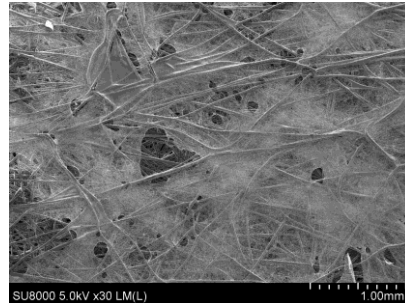
Entladen 0.02 m/s



Geladen 0.08 m/s

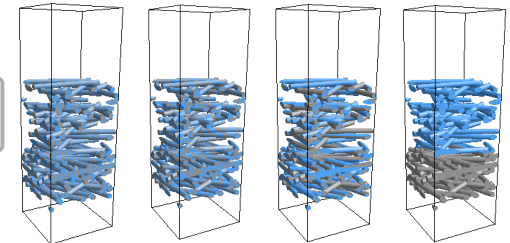
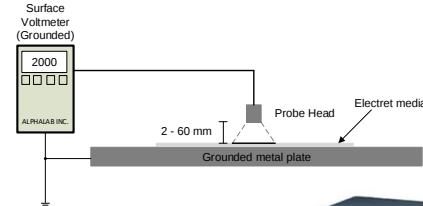
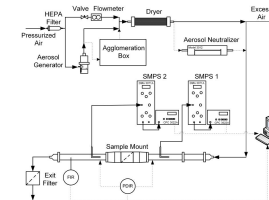
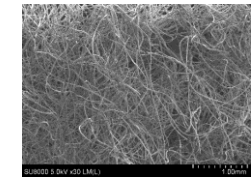
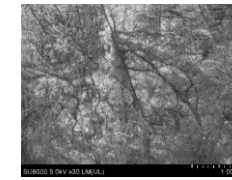
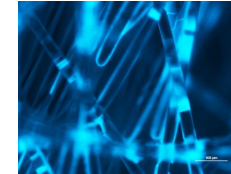
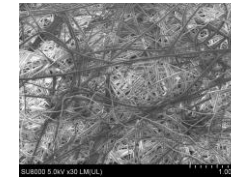


Entladen 0.08 m/s



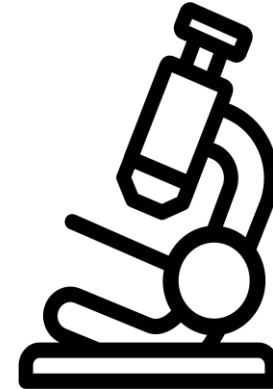
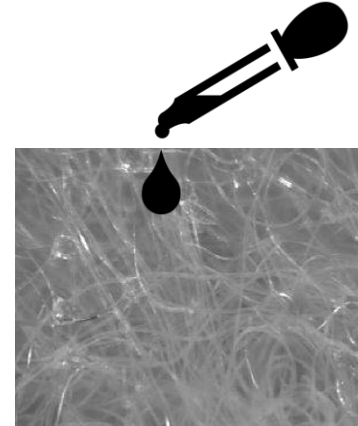
- Statistische Auswertung?
- Ermittlung Porengrößenverteilung?

- Arbeitsgruppe an FS2
- Einfluss der Entladung auf die Faserstruktur
- **Lokalisierung der Ladung**
 - Abscheidung fluoreszierender Partikel
 - Messungen mittels Oberflächenvoltmeter
- Abscheidung submikroner Partikel
 - Neutralisation
 - Unipolare Aufladung
- Numerische Untersuchungen
 - Sensitivitätsstudie Ladungsmodellierung
 - Einbindung von Tomographien

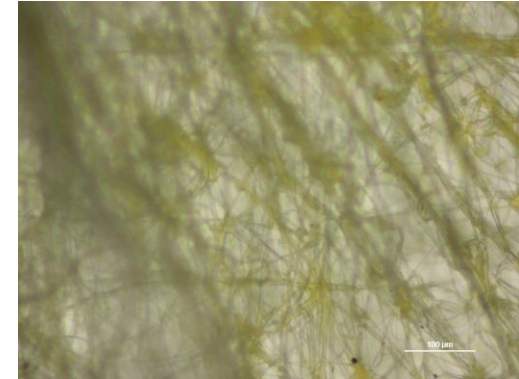
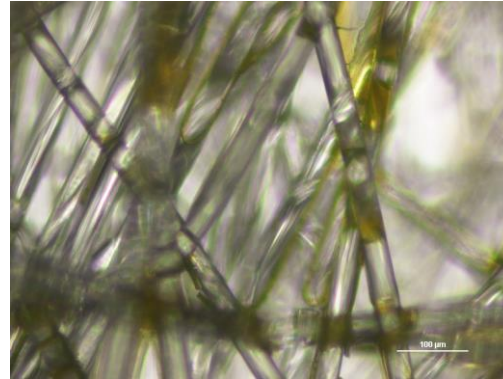


Mikroskopische Lokalisierung der Ladung auf den Fasern

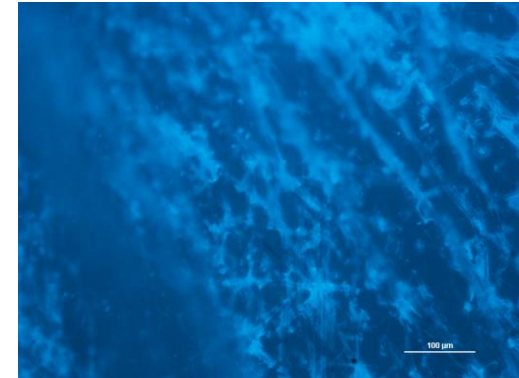
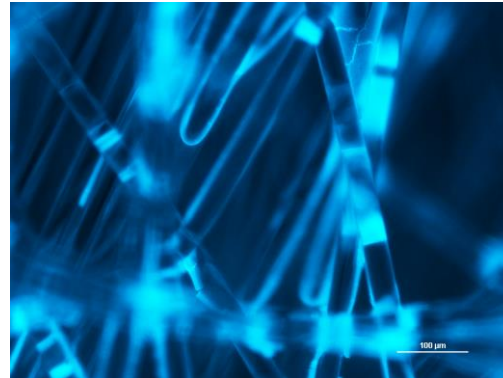
- **Voraussetzung:**
 - Unipolare Aufladung + monodispers
- **Voruntersuchungen:**
 - Fluoresbrite YG Carboxylate Microspheres 0.2 μm (Suspension in Wasser)
 - Aufträufeln auf Filteroberfläche
 - Durchlicht- und Fluoreszenzaufnahmen (Dual-Fluoreszenz-Mikroskop Eclipse von Nikon)



- **Durchlicht**



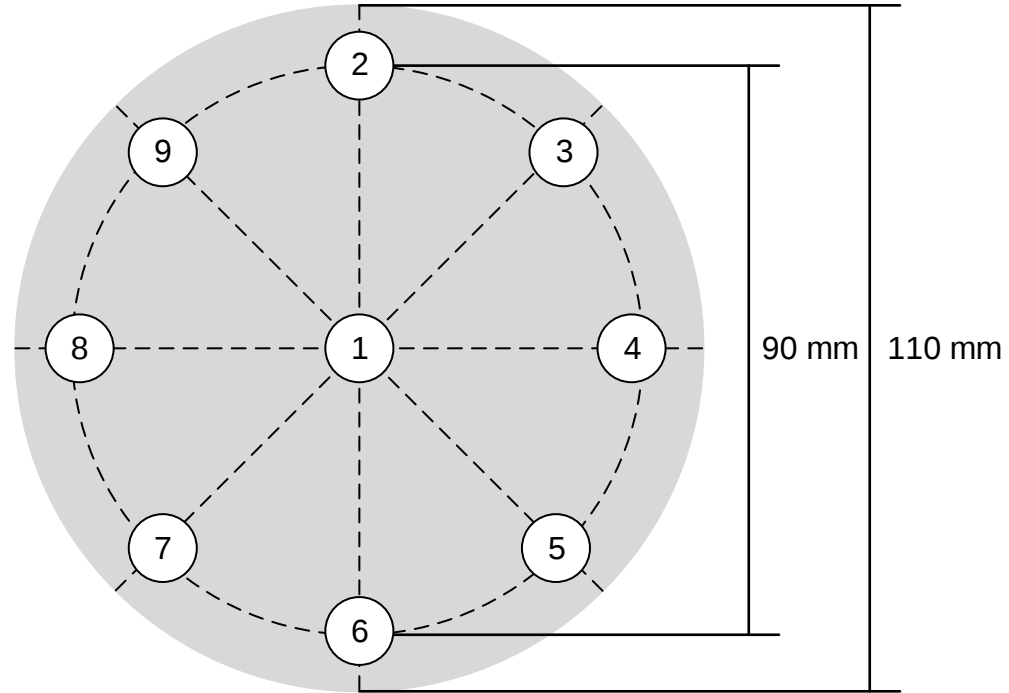
- **Fluoreszenz**



Makroskopische Lokalisierung der Ladung auf dem Filtermedium

Vorgehen

- 9 Punkte auf der
Filtermedienoberfläche
(Vorder- + Rückseite)

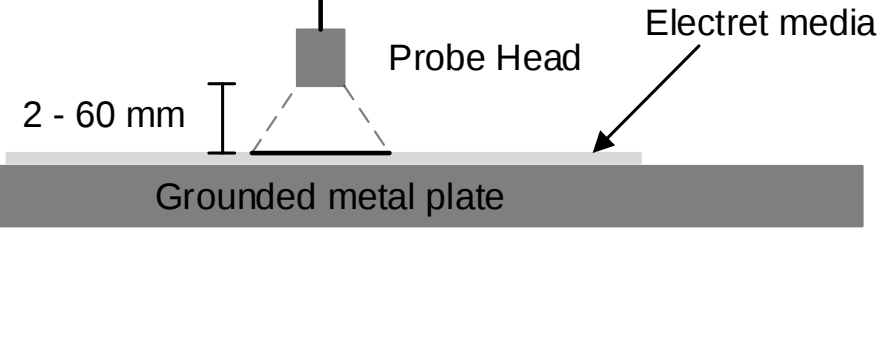
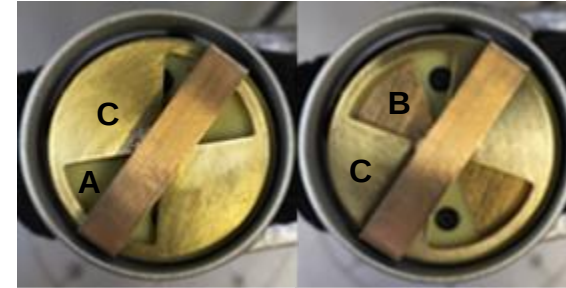
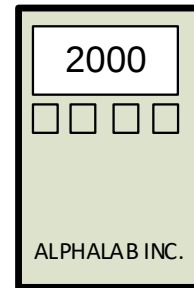


Makroskopische Lokalisierung der Ladung auf dem Filtermedium

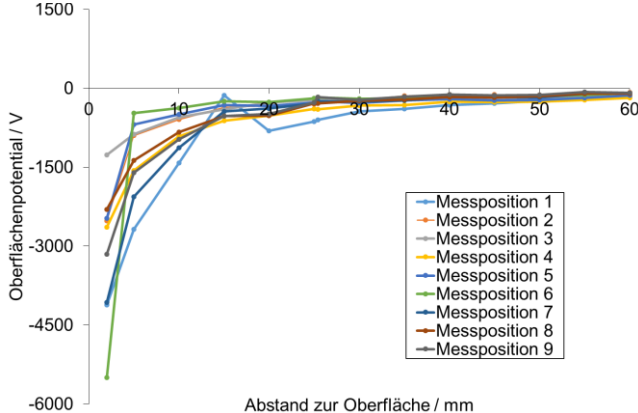
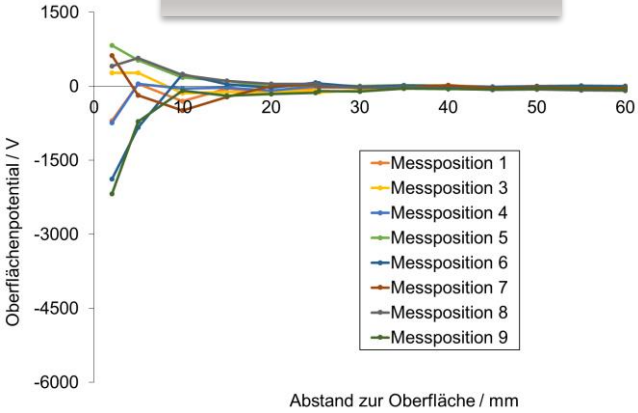
Vorgehen

- 9 Punkte auf der Filtermedienoberfläche (Vorder- + Rückseite)
- Messung mit rotierendem Voltmeter
- 2 bis 60 mm Abstand von der Oberfläche
- **Auswahl von F1, F5, F7**

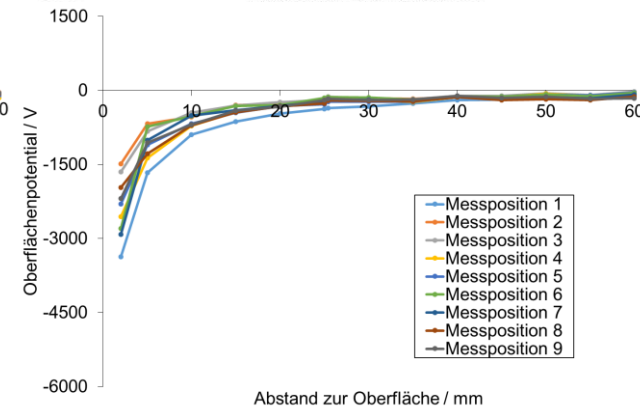
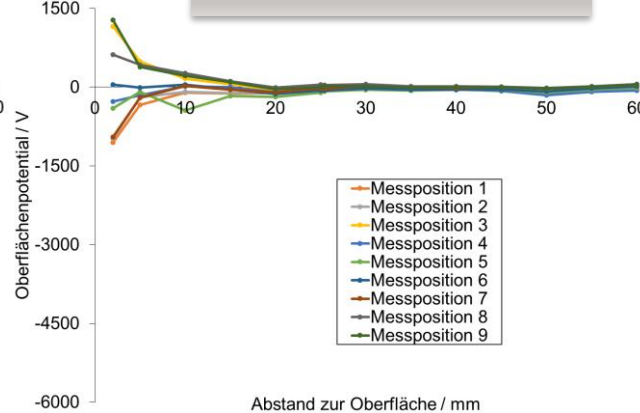
Surface
Voltmeter
(Grounded)



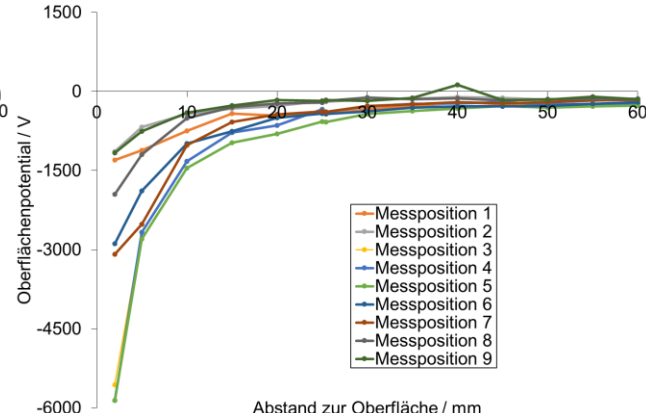
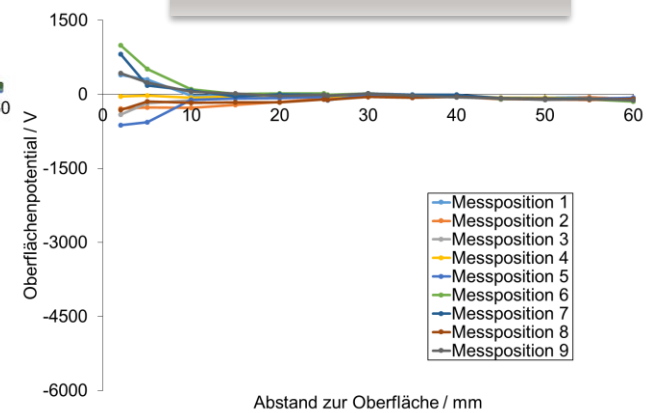
Ronde 1



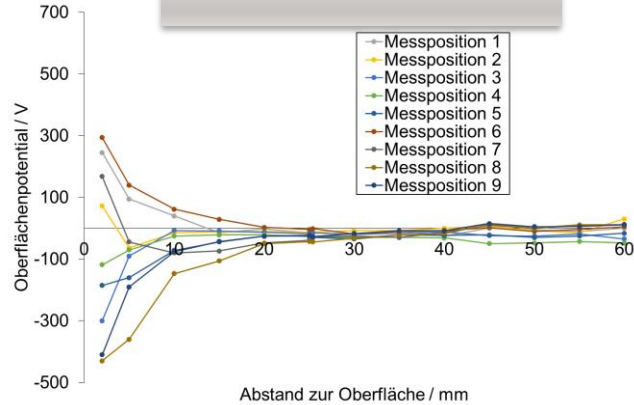
Ronde 2



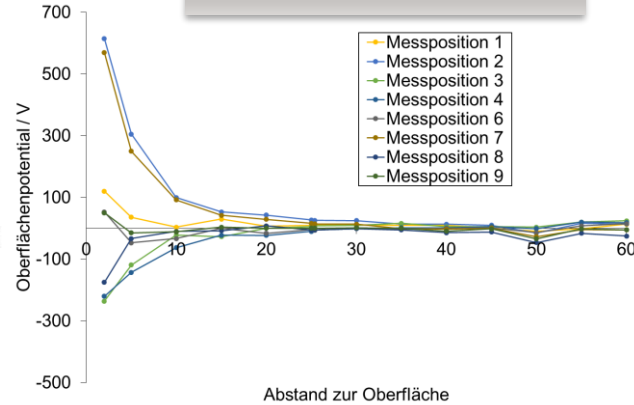
Ronde 3



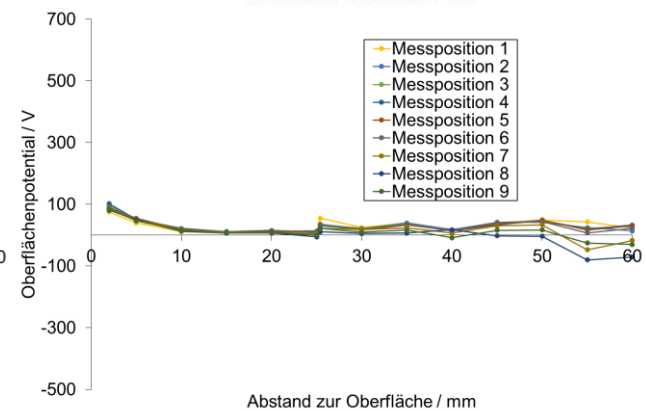
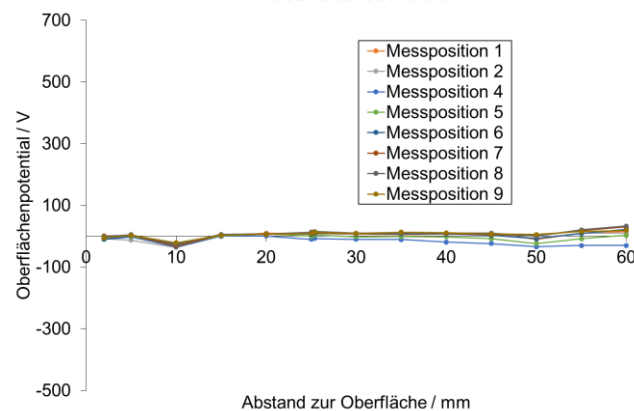
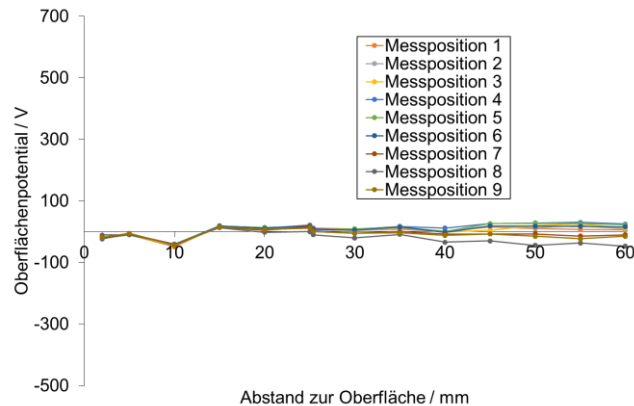
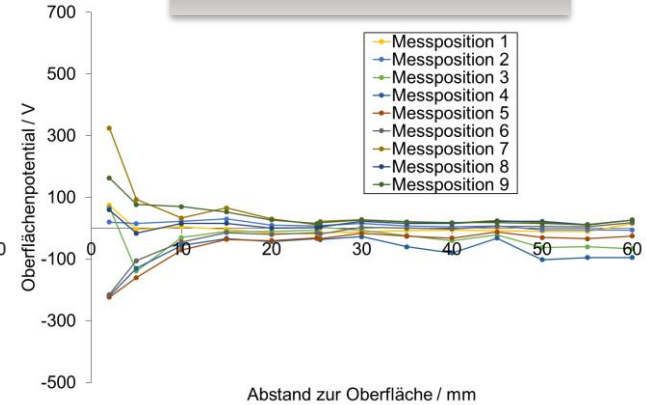
Ronde 1

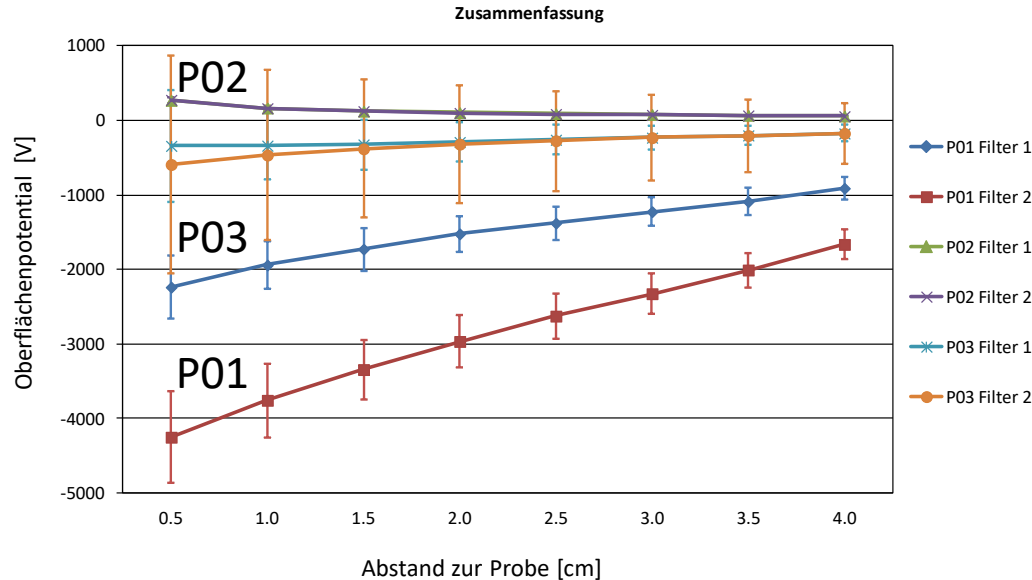


Ronde 2



Ronde 3

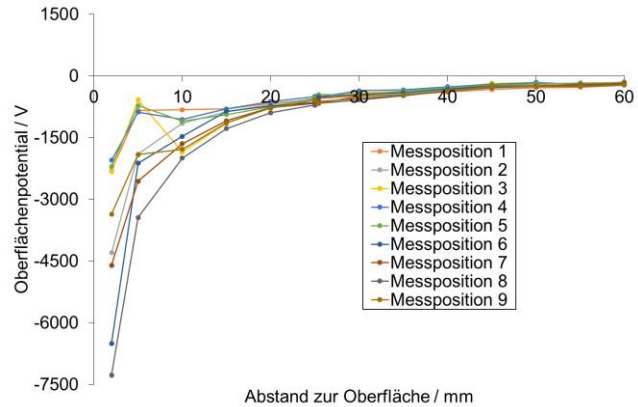
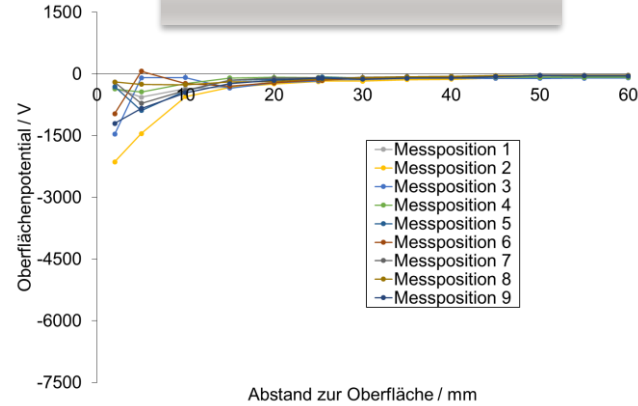




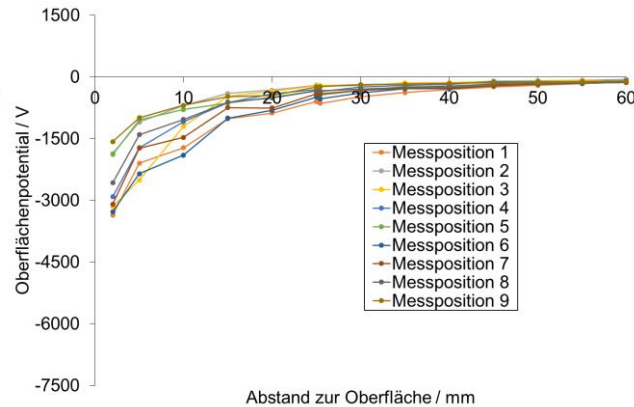
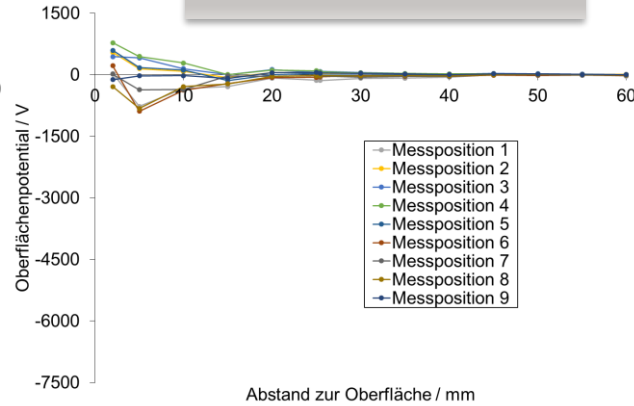
Filtertyp	P02
Vorzeichen	Positiv
Stärke	Schwach
Streuung innerhalb eines Filters	Gering
Streuung zwischen zwei Filtern	Gering

- **P02 = F5: Übereinstimmende Größenordnung des Oberflächenpotentials (positiv)**
- **Keine Oberflächenpotential (negativ) bei konfektioniertem Filter messbar!**

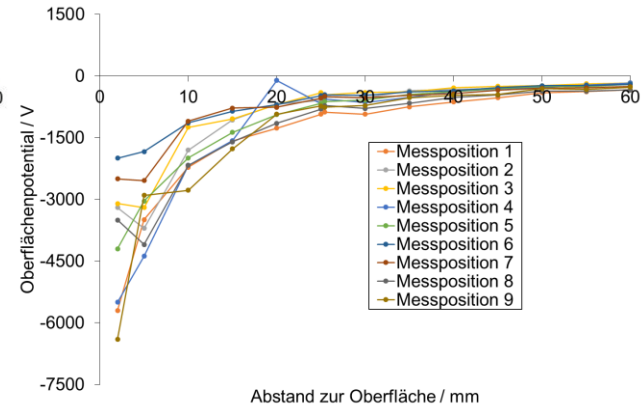
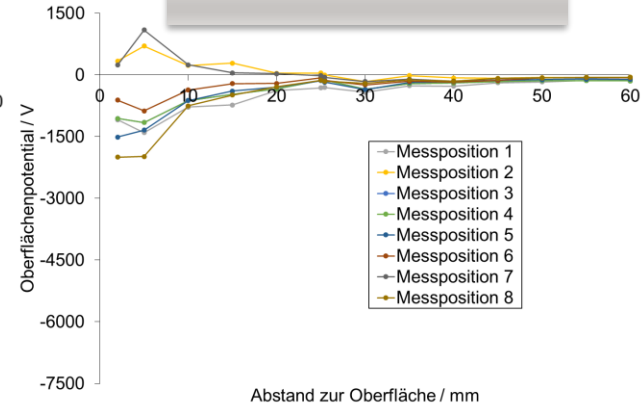
Ronde 1



Ronde 2



Ronde 3



Filtermedium	Reproduzierbar	Upstream/ Downstream	Vorzeichen	Größenordnung V
1	Ja	Upstream	+ -	~ 1000
		Downstream	-	~ 5000
5	Ja	Upstream	+ -	~ 300
		Downstream	/	/
7	Ja	Upstream	+ -	~ 750 - 1500
		Downstream	-	~ 6500

- **Oberflächenladungsdichte**

- **Filtermedium**

- Kilic et al.: Journal of Electrostatics, 2014

$$Q_{Electret\ media} = \frac{\varepsilon_0 \cdot V_{Potential}}{h_{Electret\ media}}$$

$V_{Potential}$ bei einem
Messabstand von 2mm!

- **Gesamtladung Filtermedium**

$$q_{Total} = Q_{Electret\ media} \cdot A_{Electret\ media}$$

- **Oberflächenladungsdichte**

- **Filterfaser**

$$Q_{Microfiber} = \frac{q_{Total} \cdot d_{Microfiber}}{4 \cdot (1 - \varepsilon_{Electret\ media}) \cdot h_{Reduced} \cdot A_{Electret\ media}}$$

- **Annahme**

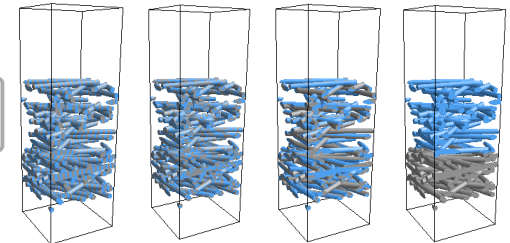
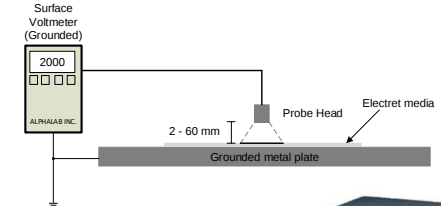
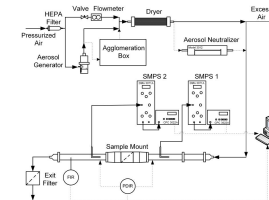
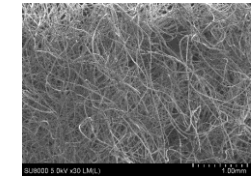
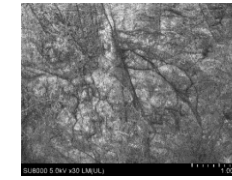
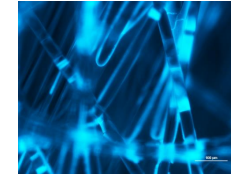
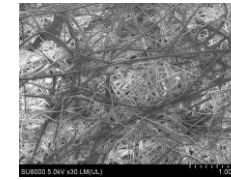
$$h_{Reduced} = 2 \dots 4 \cdot d_{Microfiber}$$

$Q_{Electret\ media}$	Oberflächenladungsdichte Filtermedium	q_{Total}	Gesamtladung Filtermedium	$d_{Microfiber}$	Durchmesser Faser
$V_{Potential}$	Gemessenes Oberflächenpotential Filtermedium	$A_{Electret\ media}$	Fläche Filtermedium	$\varepsilon_{Electret\ media}$	Porosität Filtermedium
$h_{Electret\ media}$	Höhe Filtermedium	$Q_{Microfiber}$	Oberflächenladungsdichte Faser	$h_{Reduced}$	Zum Oberflächenpotential beitragende Faserschicht

Filter- medium	$\bar{V}_{Potential,max}$ V	$h_{Electret media}$ mm	$Q_{Electret media}$ $\mu C/m^2$	q_{Total} μC	$d_{Microfiber}$ μm	$\epsilon_{Electret media}$ -	$Q_{Microfiber}$ $\mu C/m^2$
1	+1034	0.64 ± 0.04	+14.30	+0.14	32.5	76.73 ± 0.22	+5.12
	-1264		-17.48	-0.17			-6.25
	-4910		-67.89	-0.65			-24.28
5	+411	0.65 ± 0.10	+5.96	+0.05	16.3	85.86 ± 0.06 (Tomographie)	+3.35
	-297		-4.10	-0.04	41.3		-2.42
	/		/	/	1.5		/
7	+511	Tomographie	?	?	18.8	Tomographie	?
	-1473						?
	-5677						?

- **Ableiten einer mikroskopischen Verteilung mit entsprechender Oberflächenladungsdichte als Grundlage für numerische Untersuchungen möglich?**

- Arbeitsgruppe an FS 2
- Einfluss der Entladung auf die Faserstruktur
- Lokalisierung der Ladung
 - Abscheidung fluoreszierender Partikel
 - Messungen mittels Oberflächenvoltmeter
- **Abscheidung submikroner Partikel**
 - **Neutralisation**
 - **Unipolare Aufladung**
- Numerische Untersuchungen
 - Sensitivitätsstudie Ladungsmodellierung
 - Einbindung von Tomographien



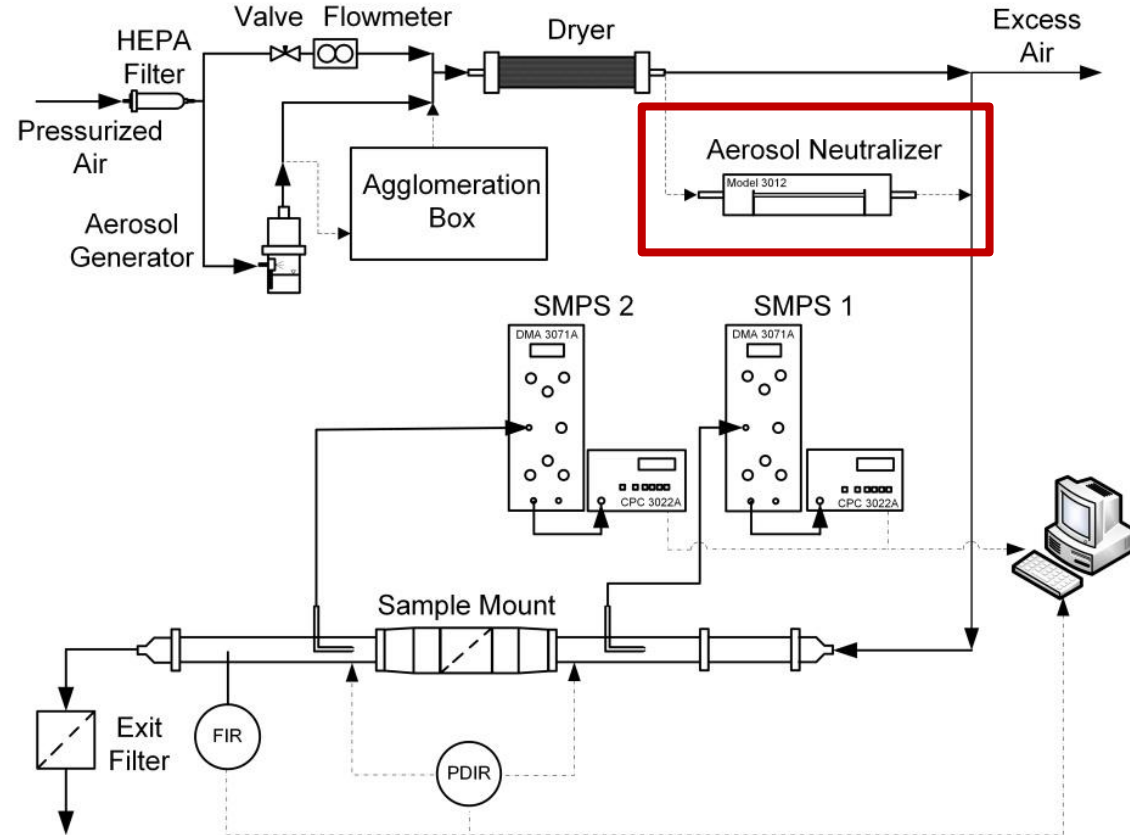
Aerosolkonditionierung

- Neutralisator (Modell 3012 A, TSI GmbH) (F1 bis F10)
- Bipolare Entladungsstrecke (CD 2000, Palas GmbH) (F1, F5, F7)



Anströmgeschwindigkeiten

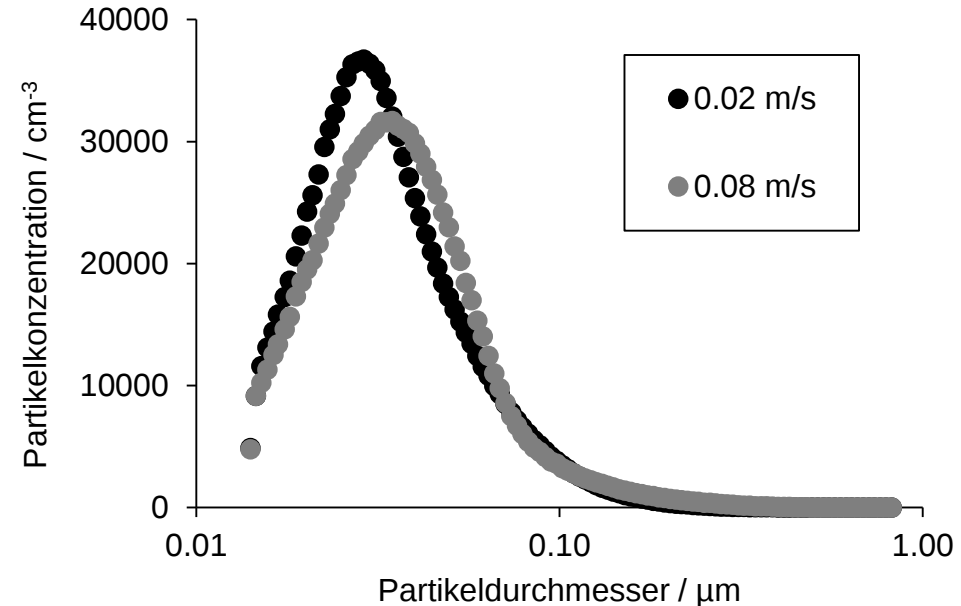
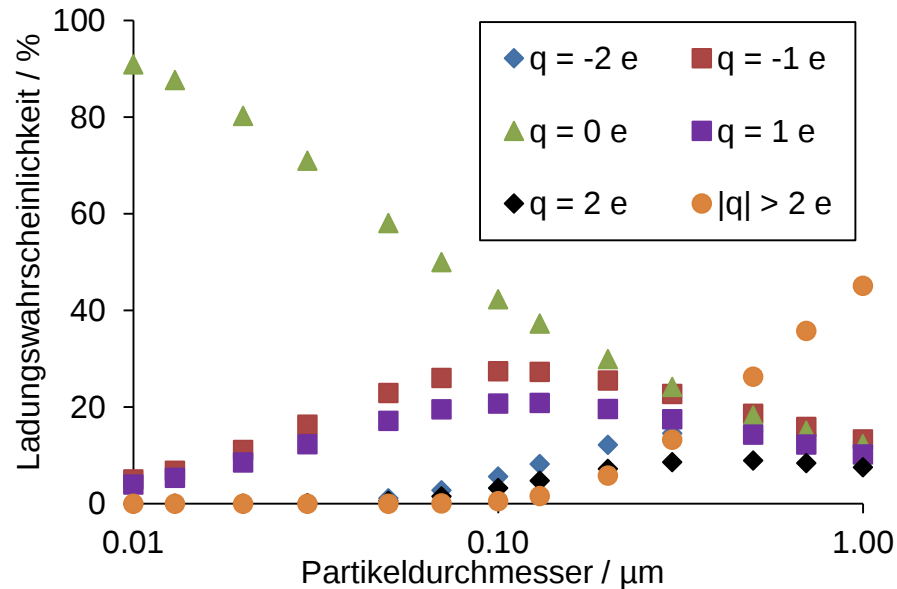
- 0.02 m/s
- 0.08 m/s



Kerner et al.: Journal of Aerosol Science, 2018

Aerosolkonditionierung

- Neutralisator (Modell 3012 A, TSI GmbH)



Modalwert

μm

0.02 m/s ~0.30

0.08 m/s ~0.35

Aerosolkonditionierung

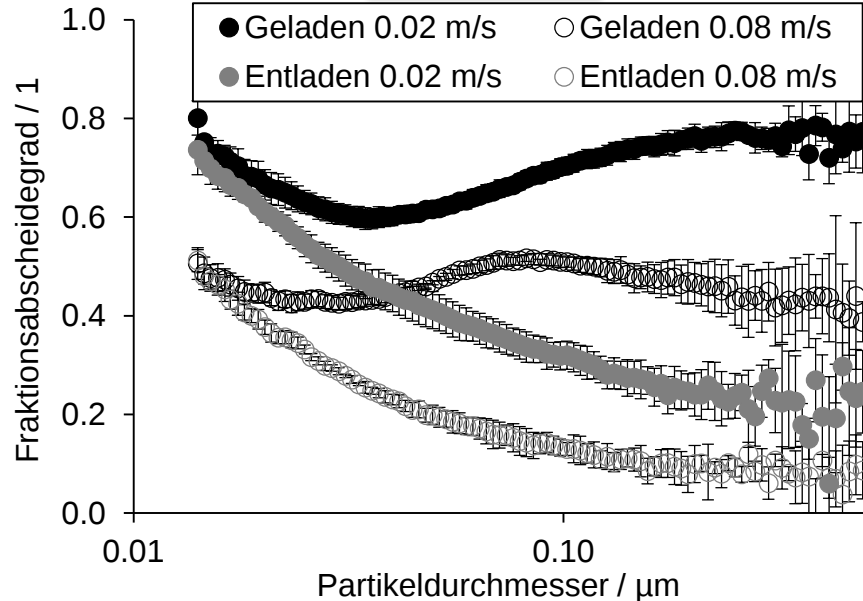
- Neutralisator (Modell 3012 A, TSI GmbH)

$$F_C \sim q_P$$

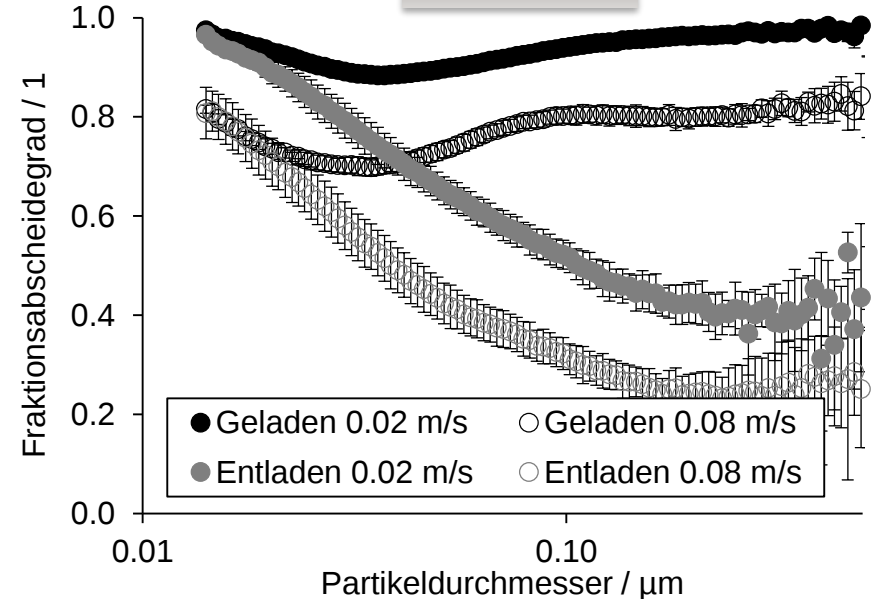
$$F_{DI} \sim d_P^3$$

$$F_{IM} \sim q_P^2$$

F1

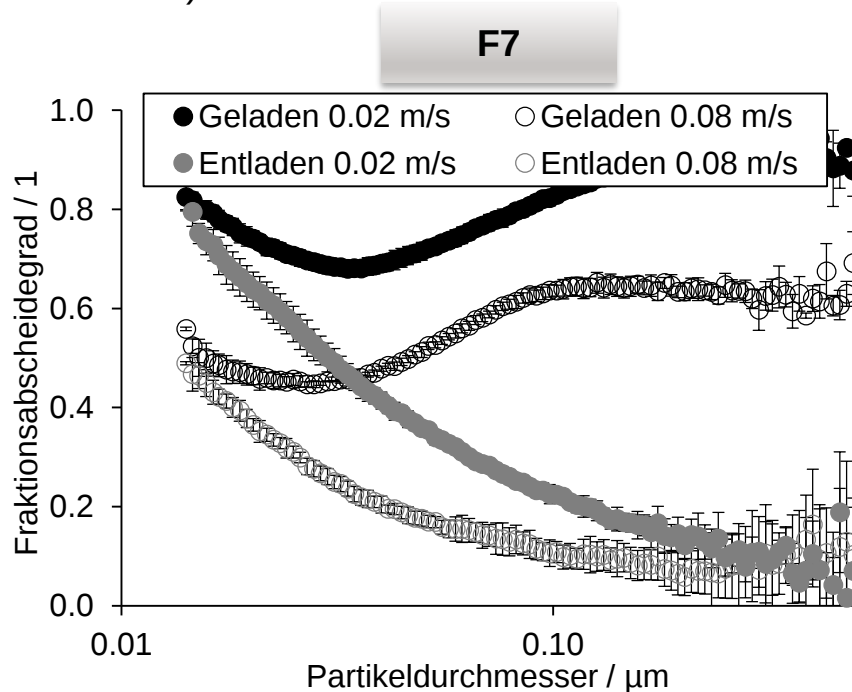


F5



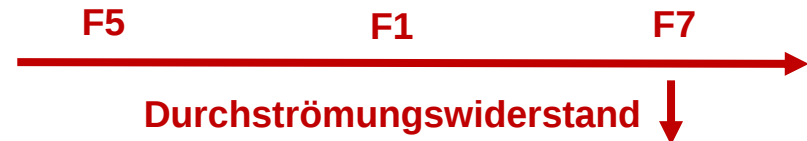
Aerosolkonditionierung

- Neutralisator (Modell 3012 A, TSI GmbH)



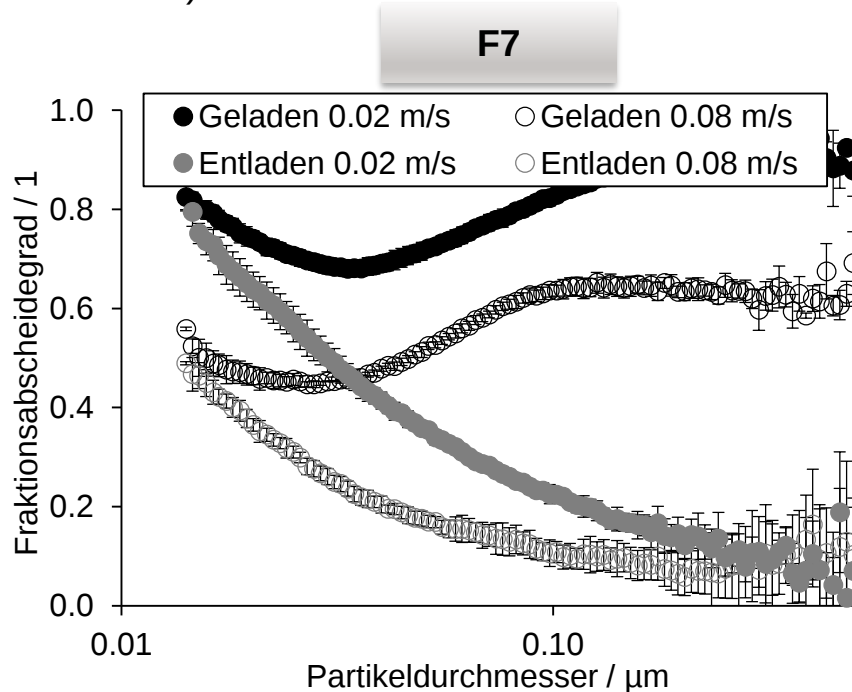
Filter-medium	$\bar{\eta}_{\text{entladen}}$
5	0.60
1	0.38
7	0.31

Filter-medium	$\bar{\eta}_{\text{entladen}}$
5	0.41
1	0.19
7	0.18



Aerosolkonditionierung

- Neutralisator (Modell 3012 A, TSI GmbH)



Filter-medium	$\bar{\eta}_{entladen}$	$\bar{\eta}_{geladen}$	Veränderung %
---------------	-------------------------	------------------------	---------------

5	0.60	0.94	-36.12
---	------	------	---------------

1	0.38	0.70	-45.98
---	------	------	---------------

7	0.31	0.81	-61.47
---	------	------	---------------

Filter-medium	$\bar{\eta}_{entladen}$	$\bar{\eta}_{geladen}$	Veränderung %
---------------	-------------------------	------------------------	---------------

5	0.41	0.77	-46.71
---	------	------	---------------

1	0.19	0.46	-59.02
---	------	------	---------------

7	0.18	0.57	-68.79
---	------	------	---------------

F5

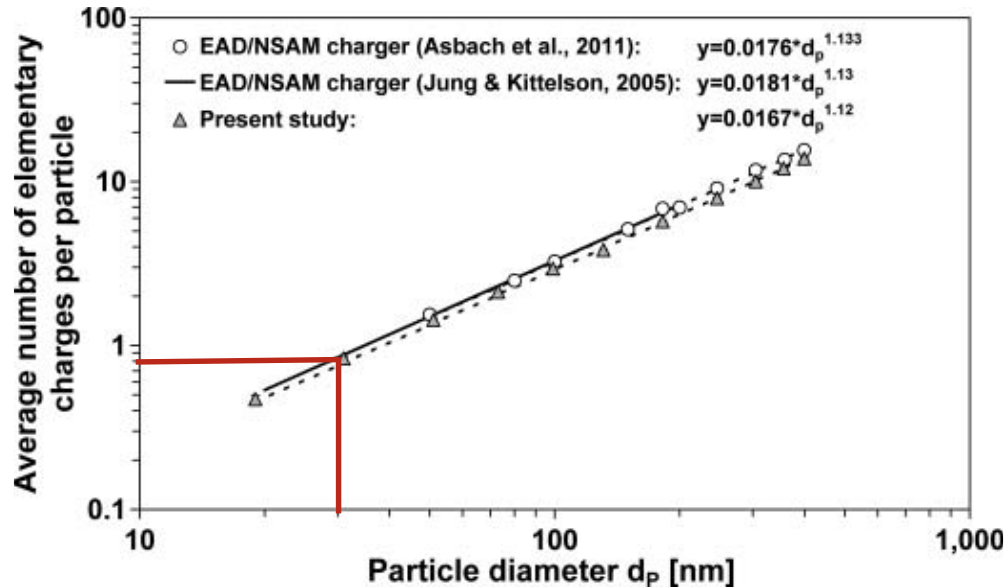
F1

F7

Größenordnung der Ladung

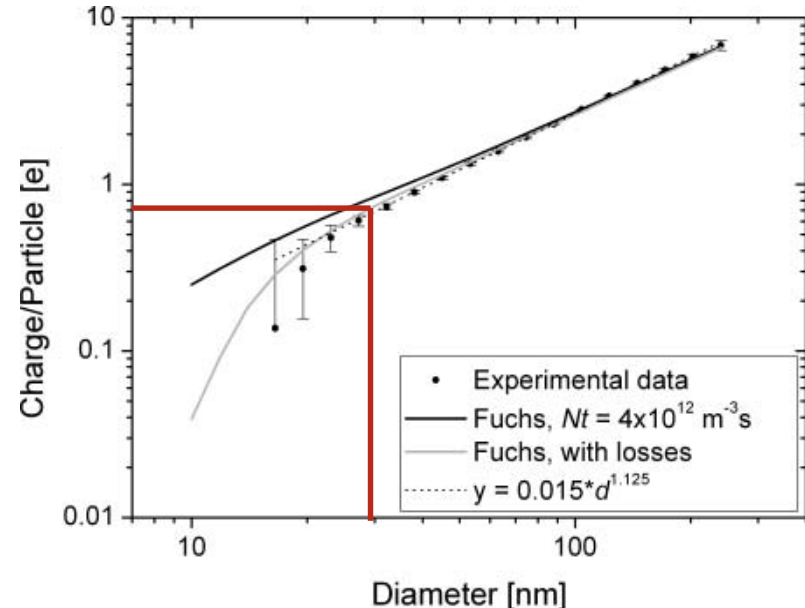
Aerosolkonditionierung

- Bipolare Entladungsstrecke (CD 2000, Palas GmbH)



Kaminski et al.: Aerosol Science and Technology, 2012

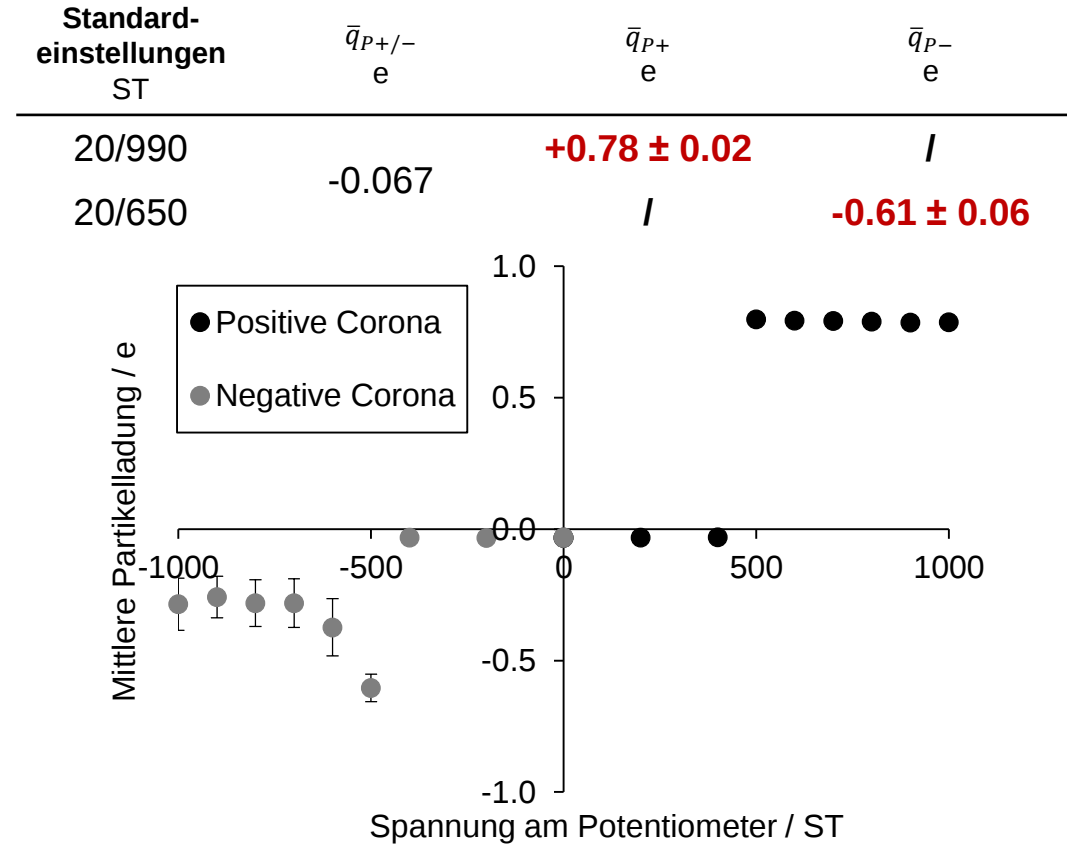
	Modalwert μm	$ \bar{q} _P$ e
0.02 m/s	~0.30	~0.7-0.8
0.08 m/s	~0.35	~0.8-0.9



Fierz et al.: Aerosol Science and Technology, 2011

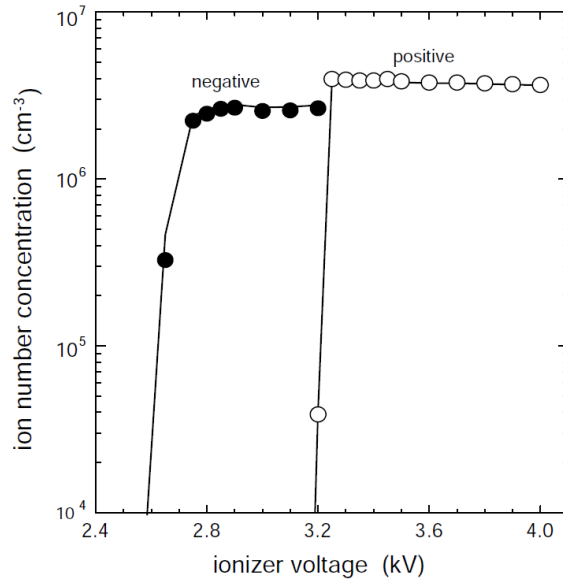
Aerosolkonditionierung

- Bipolare Entladungsstrecke (CD 2000, Palas GmbH)
- **Aerosolstrom**
 - 0 L/min
 - 66.7 L/min (4 m³/h)
- **Mischvolumenstrom**
 - **33.3 L/min (2 m³/h)**
 - 300 L/min (18 m³/h)
- **Anströmgeschwindigkeit 0.08 L/min**
 - 4 L/min + **26.8 L/min**

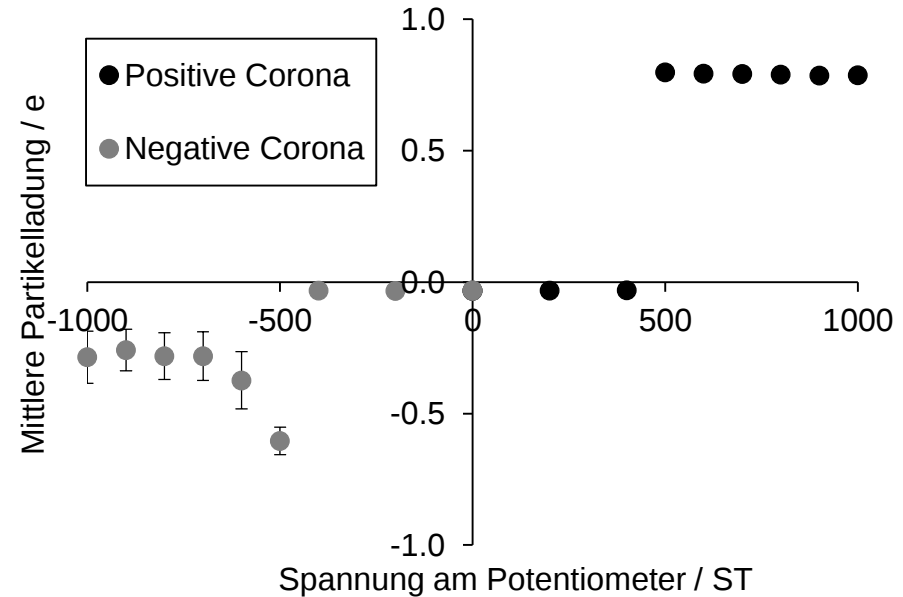


Aerosolkonditionierung

- Bipolare Entladungsstrecke (CD 2000, Palas GmbH)



Standard-einstellungen ST	$\bar{q}_{P+/-}$ e	$\bar{q}_{P+}$ e	$\bar{q}_{P-}$ e
20/990		+0.78 ± 0.02	/
20/650	-0.067	/	-0.61 ± 0.06

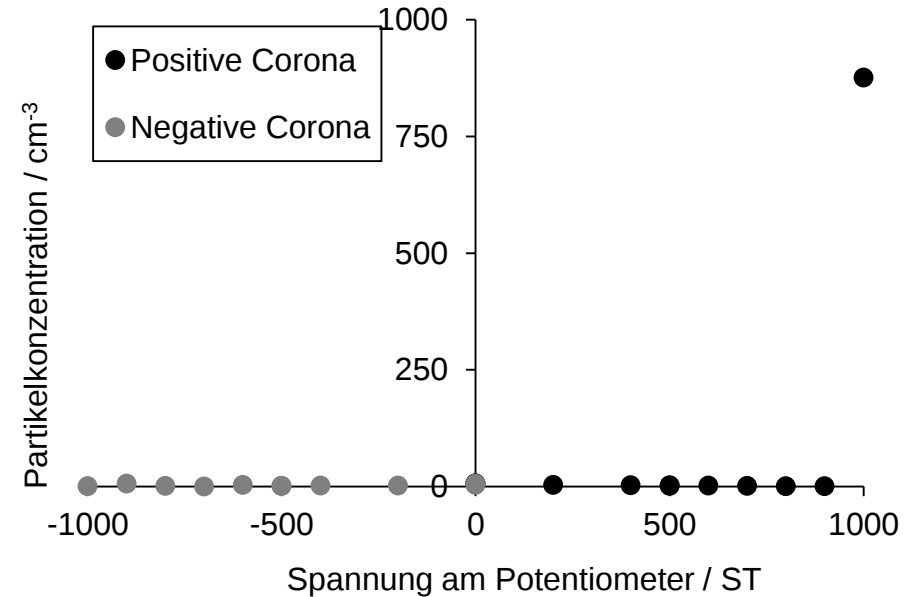
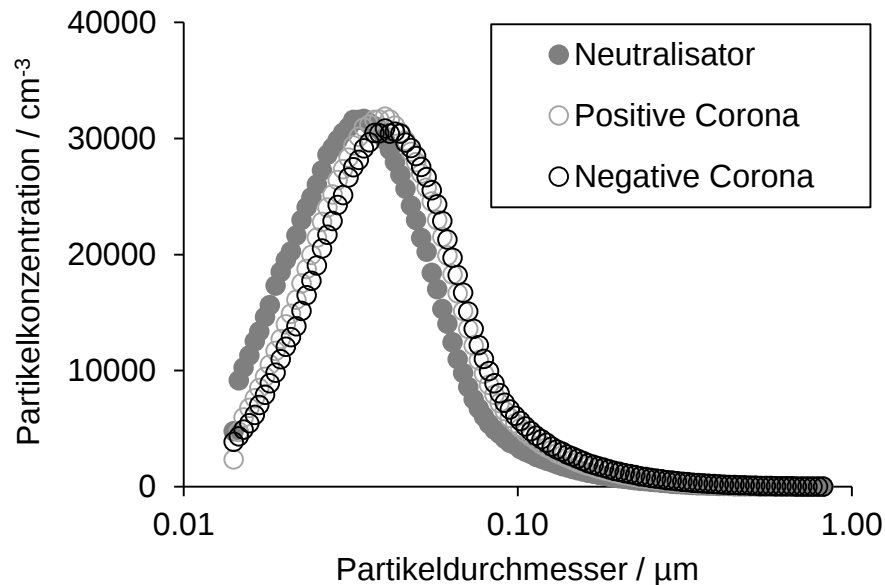


Hernandez-Sierra et al.: Journal of Aerosol Science, 2003

Aerosolkonditionierung

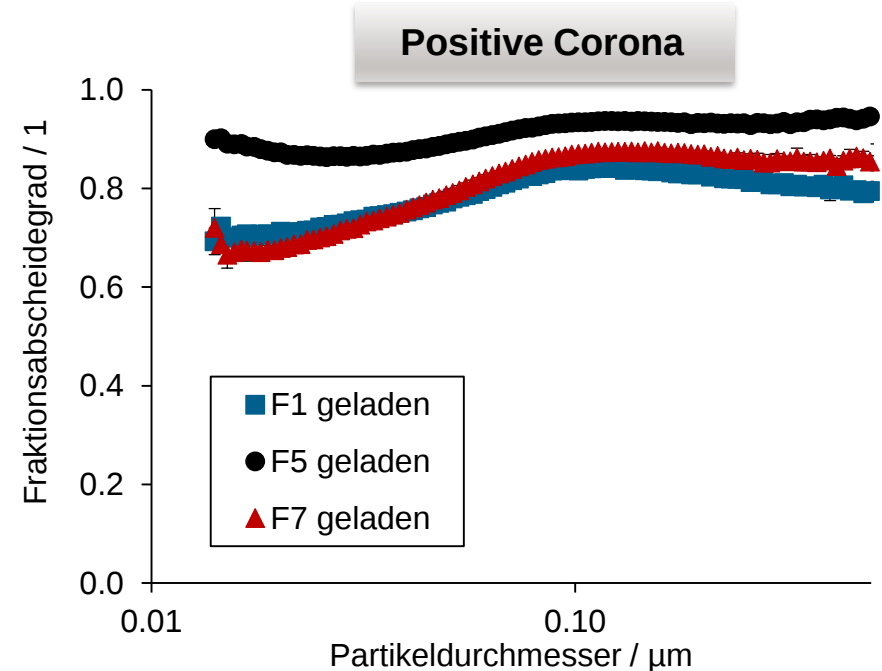
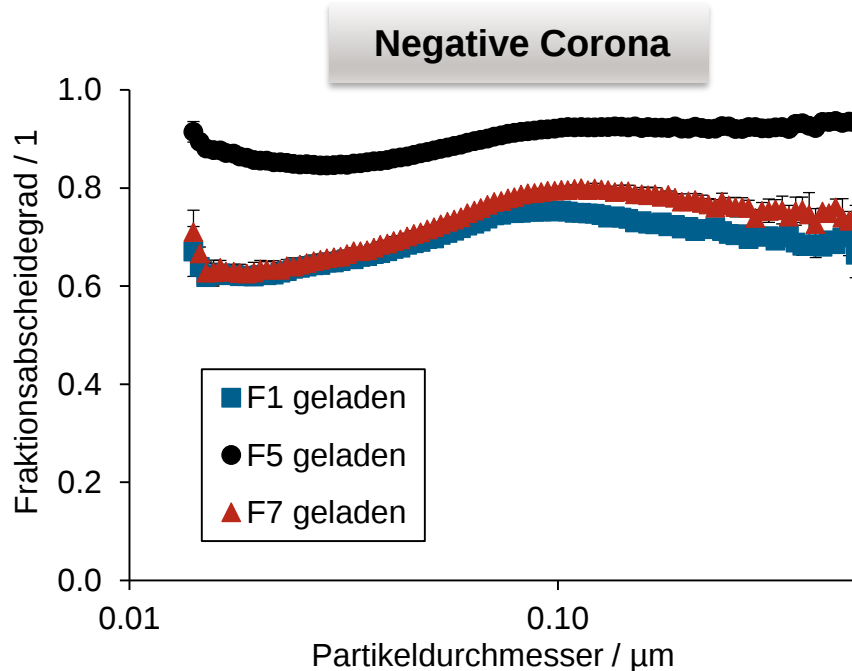
- Bipolare Entladungsstrecke (CD 2000, Palas GmbH)

Standard- einstellungen ST	$\bar{q}_{P+/-}$ e	$\bar{q}_{P+}$ e	$\bar{q}_{P-}$ e
20/990	-0.067	+0.78 ± 0.02	/
20/650		/	-0.61 ± 0.06



Aerosolkonditionierung

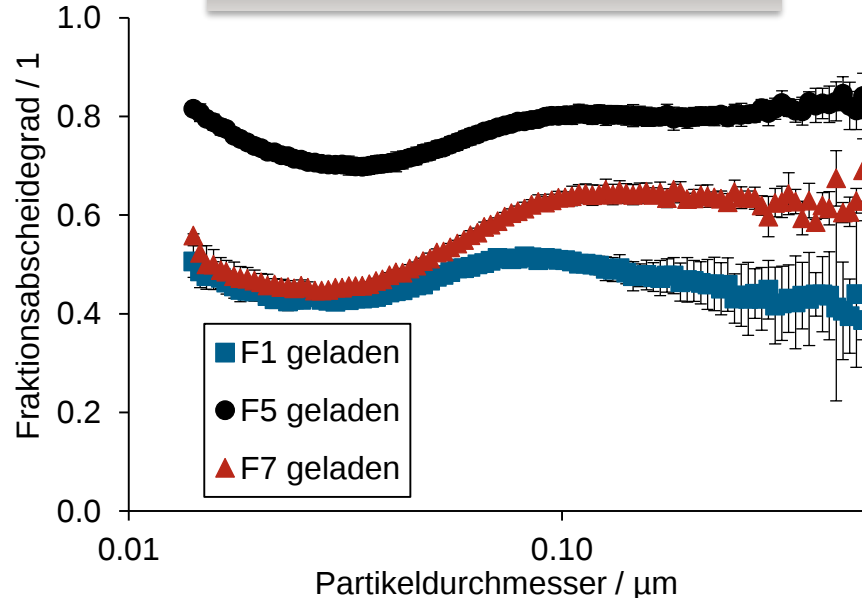
- Bipolare Entladungsstrecke (CD 2000, Palas GmbH)



Aerosolkonditionierung

- Bipolare Entladungsstrecke (CD 2000, Palas GmbH)

Neutralisiert (Krypton-Quelle)



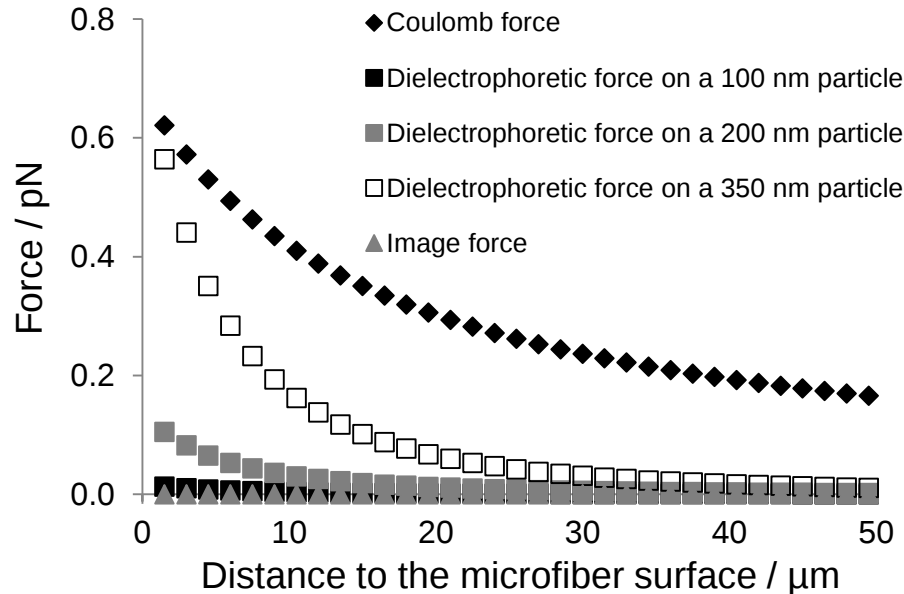
Filter-medium	Mittlere Abweichung %	Modalwert μm
5	~15	-
1	~38	32.5
7	~26	18.8

Deutlich bessere Abscheidung unipolar geladener Partikel!

- Rückschlüsse auf (mikroskopische) Verteilung positiver/negativer Faserladungen möglich?

Aerosolkonditionierung

- Bipolare Entladungsstrecke (CD 2000, Palas GmbH)



Elektrisches Feld:

$$\vec{E} = \frac{Q \cdot d_F}{2 \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{r}}$$

Coulombkraft:

$$\vec{F}_C = q_P \cdot \vec{E}$$

Dielektrophoretische Kraft:

$$\vec{F}_{DI} = \frac{\pi \cdot d_P^3 \cdot \epsilon_0}{4} \cdot \left(\frac{\epsilon_P - 1}{\epsilon_P + 2} \right) \cdot \nabla (|\vec{E}|^2)$$

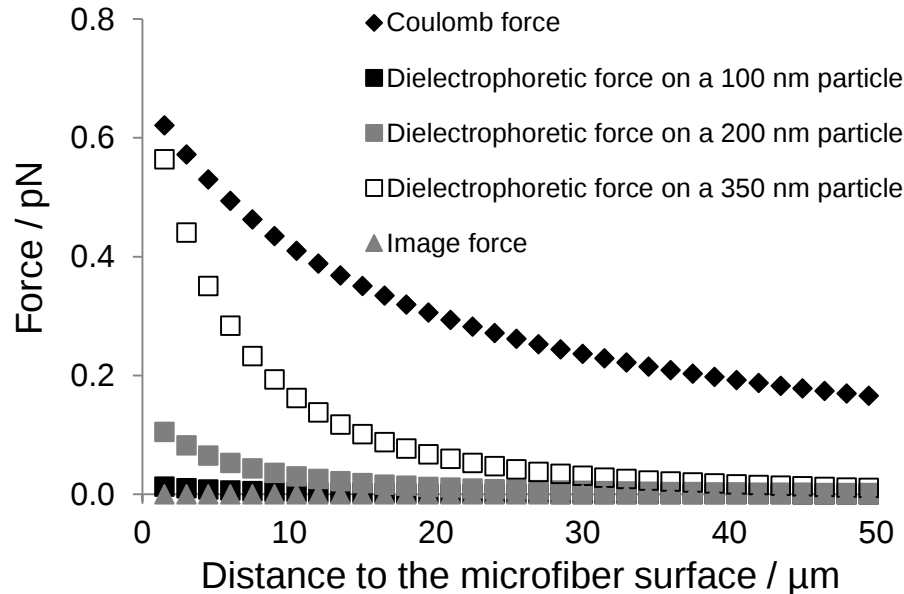
Bildkraft:

$$\vec{F}_{IM} = \frac{1}{16 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \left(\frac{\epsilon_F - 1}{\epsilon_F + 1} \right) \cdot \frac{q_P^2}{\left(\vec{r} - \frac{d_F}{2} \right)^2}$$

Q	Oberflächenladungsdichte Faser	ϵ_F	Dielektrizitätskonstante Faser	q_P	Partikelladung
d_F	Faserdurchmesser	d_P	Partikeldurchmesser		
ϵ_0	Elektrische Feldkonstante	ϵ_P	Dielektrizitätskonstante Partikel		

Aerosolkonditionierung

- Bipolare Entladungsstrecke (CD 2000, Palas GmbH)



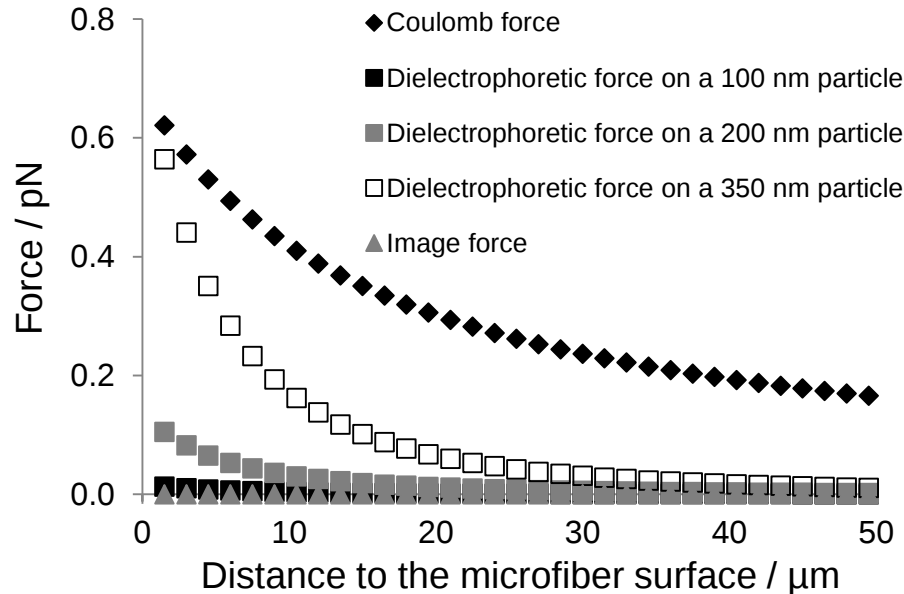
Filter-medium	$\bar{\eta} -$	$\bar{\eta} +$	Abweichung %
5	0.90	0.91	~1
1	0.69	0.79	~13
7	0.73	0.81	~10

**Spiegelt Ergebnisse der Messungen mittels
Oberflächenvoltmeter wieder!**

Filtermedium	Vorzeichen	Größenordnung V
1	+	~ 1000
	-	~ 5000
	-	~ 5000
5	+	~ 300
	-	~ 300
	/	/
7	+	~ 750 - 1500
	-	~ 6500
	-	~ 6500

Aerosolkonditionierung

- Bipolare Entladungsstrecke (CD 2000, Palas GmbH)

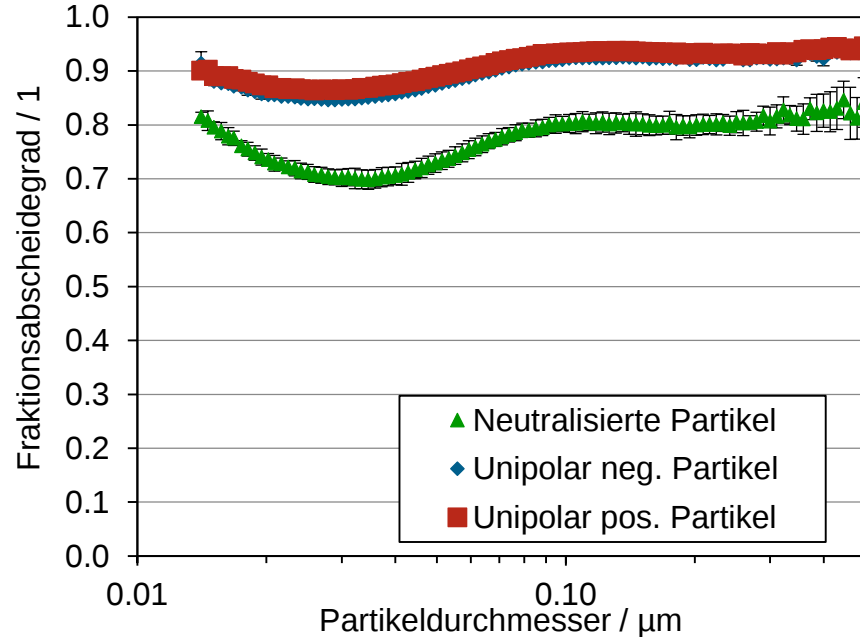


Filter-medium	$\bar{\eta} -$	$\bar{\eta} +$	Abweichung %
5	0.90	0.91	~1
1	0.69	0.79	~13
7	0.73	0.81	~10
$ \bar{q} _{P-}$	$ \bar{q} _{P+}$	Abweichung %	
~0.65	~0.8	~19	

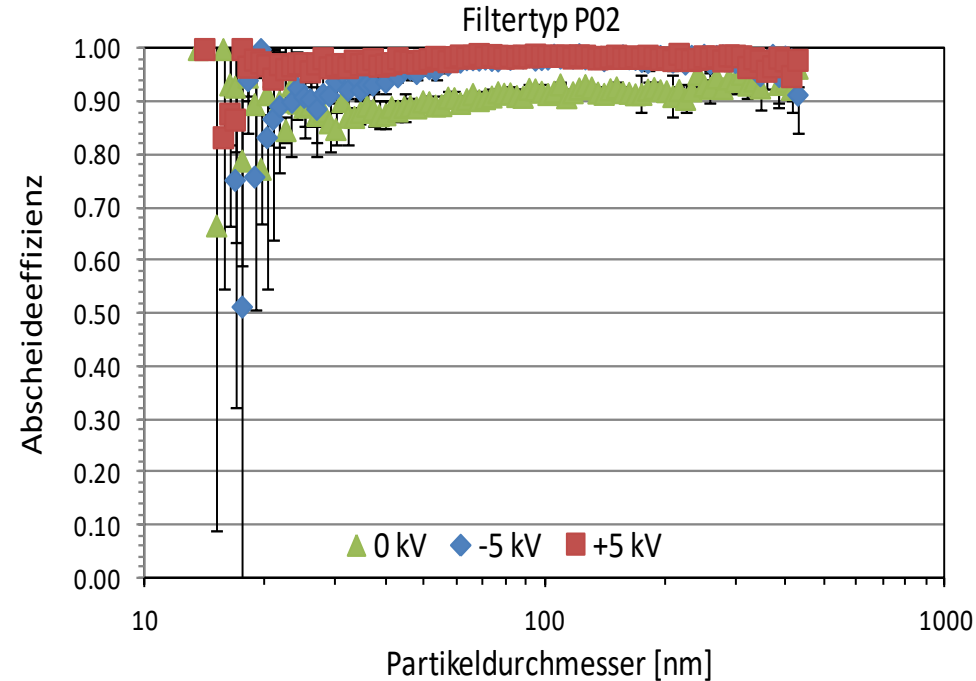
Abweichung zwischen Partikelladung relevant?

- F5: Positive Ladung stärker ausgeprägt?
- F1: Negative Ladung stärker ausgeprägt?
- F7: Negative Ladung stärker ausgeprägt?

Flach-Filtermedium (FS2)

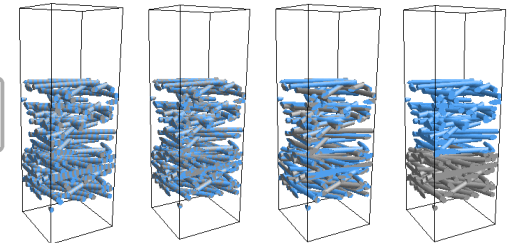
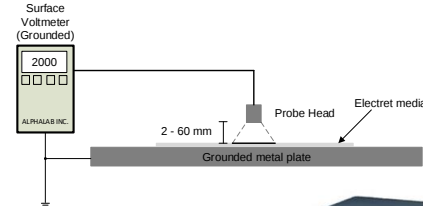
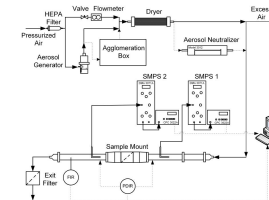
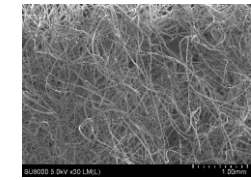
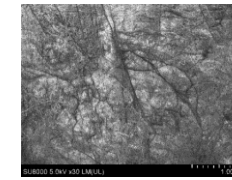
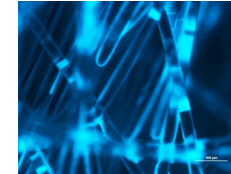
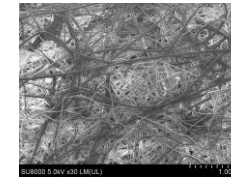


Konfektionierter Filter (FS1)



- Qualitative Übereinstimmung der Abscheidegrade im Bereich ab 30 nm...40 nm von Flach-Filtermedium und konfektioniertem Filter

- Arbeitsgruppe an FS 2
- Einfluss der Entladung auf die Faserstruktur
- Lokalisierung der Ladung
 - Abscheidung fluoreszierender Partikel
 - Messungen mittels Oberflächenvoltmeter
- Abscheidung submikroner Partikel
 - Neutralisation
 - Unipolare Aufladung
- Numerische Untersuchungen
 - Sensitivitätsstudie Ladungsmodellierung
 - Einbindung von Tomographien



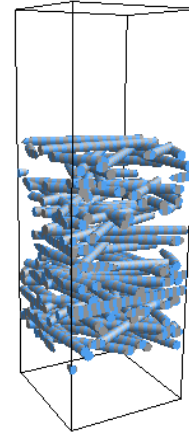
▪ Akademisches Beispiel

- Porosität 0.79
- Faserdurchmesser 32 μm
- Höhe 0.68 mm

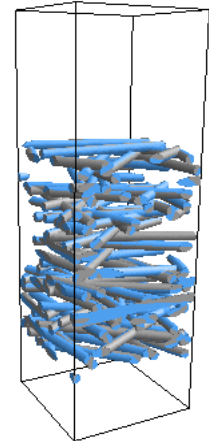
▪ Mikroskopische Ladungsverteilungen

- Axial vs. Radial vs. Verteilt vs. Geteilt
- Bipolar vs. Unipolar
- 50 % vs. 25 % / 75 %

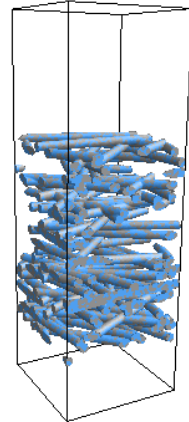
Axial



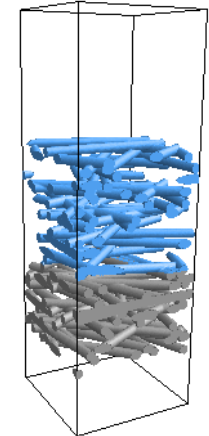
Radial



Verteilt



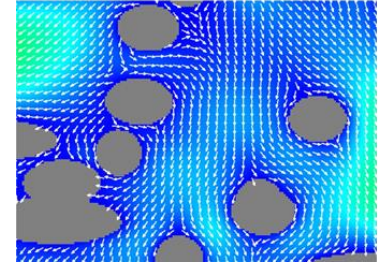
Geteilt



**Auswirkung auf den
Fraktionsabscheidegrad?**

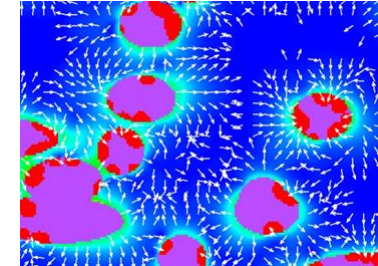
Strömungsfeld

$$\begin{aligned}\mu \Delta \vec{V} - \rho (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} &= \nabla p && \text{in } \Omega \\ \nabla \cdot \vec{V} &= 0 && \text{in } \Omega \\ \vec{V} &= 0 && \text{on } \partial\Omega\end{aligned}$$



Elektrisches Feld

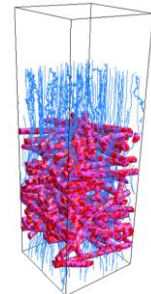
$$\vec{E}(\vec{X}) = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \int_{\partial\Omega} \frac{Q}{\|\vec{X} - \vec{S}\|^3} \cdot (\vec{X} - \vec{S}) d\vec{S}$$



Partikeltrajektorien

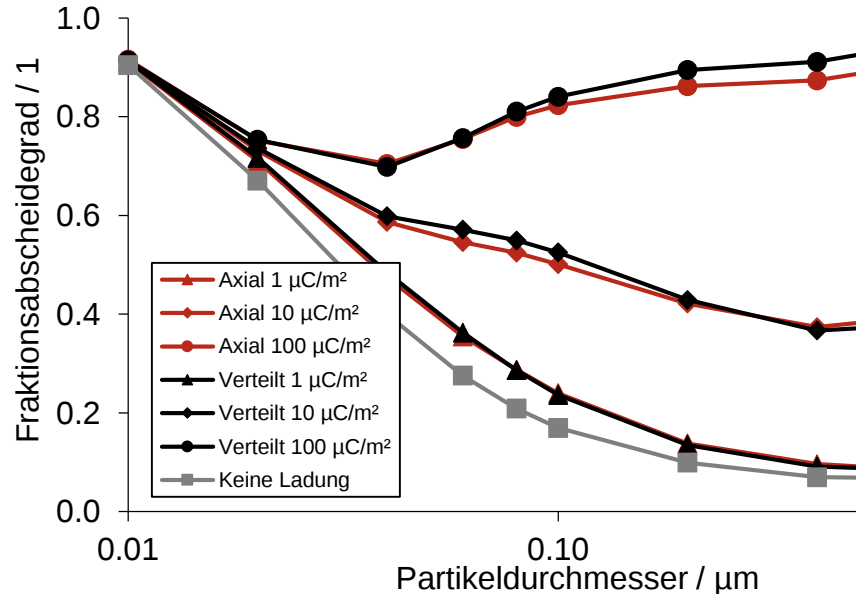
$$\vec{X}_P^{i+1} = \vec{X}_P^i + dt \cdot \vec{V}_P^i$$

$$\vec{V}_P^{i+1} = \vec{V}_P^i + dt \cdot \left(\underbrace{\gamma \cdot (\vec{V} - \vec{V}_P^i)}_{\text{Strömungsw.}} + \underbrace{\frac{q}{m_P} \cdot \vec{E}}_{\text{Coulomb-kraft}} + \underbrace{\frac{\pi \cdot \epsilon_0 \cdot d_P^3}{4 \cdot m_P} \cdot \left(\frac{\epsilon_P - 1}{\epsilon_P + 2} \right) \cdot \nabla |\vec{E}|^2}_{\text{Dielectrophoretische Kraft}} + \underbrace{\mathcal{N} \left(0, \sqrt{\frac{k_B \cdot T}{m_P}} \right)}_{\text{Diffusion}} \right)$$



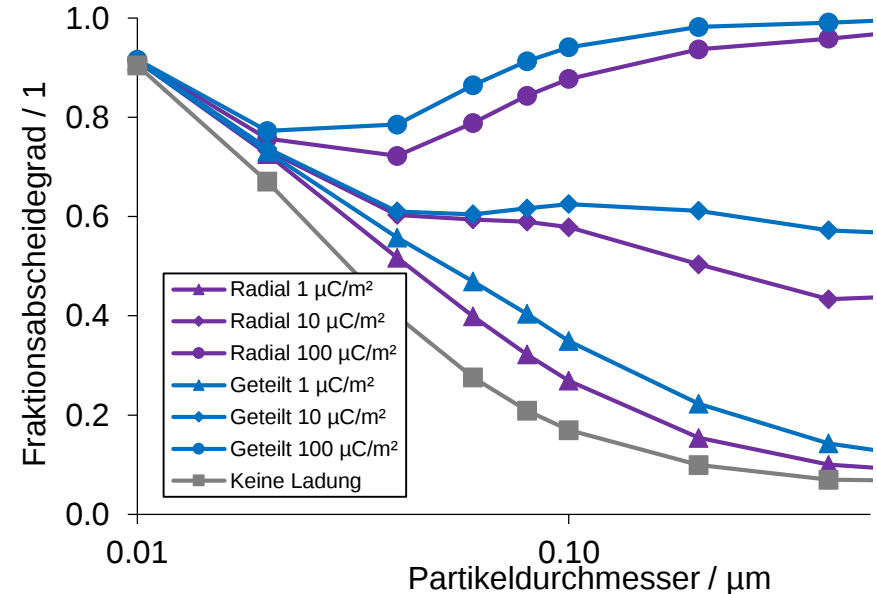
Bipolar

- 50 % positiv geladene Flächen
- 50 % negativ geladene Flächen



Oberflächenladungsdichte

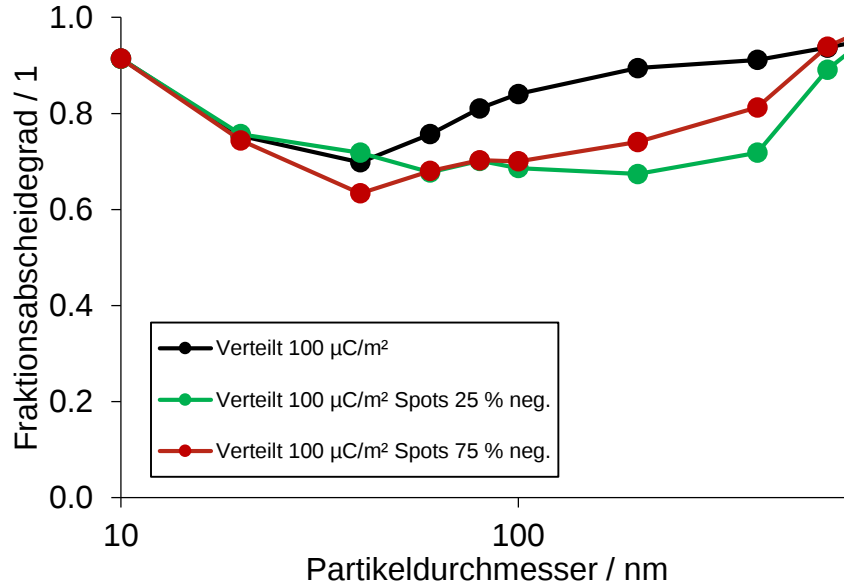
- 1 bis $100 \mu\text{C}/\text{m}^2$
- Anströmgeschwindigkeit 0.02 m/s



Anpassungsparameter: Oberflächenladungsdichte

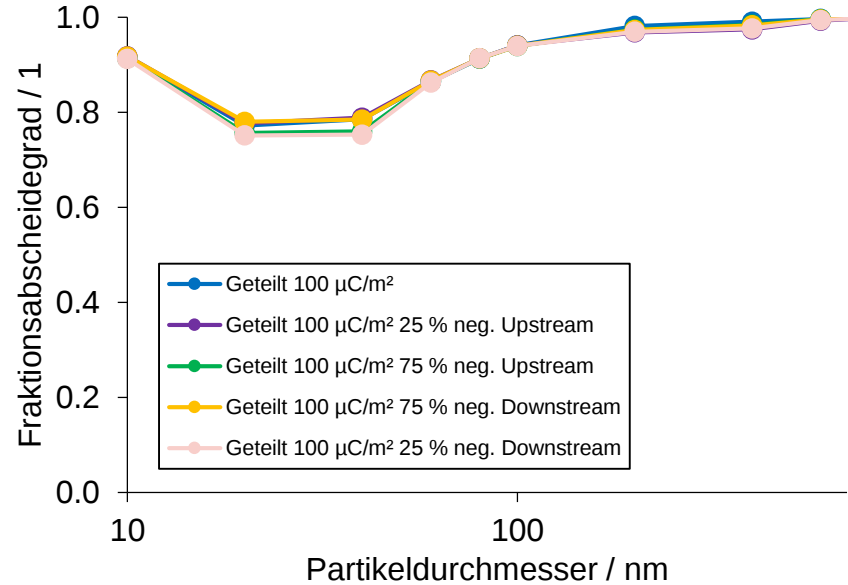
▪ Bipolar

- 25 % negativ geladene Flächen
- 75 % negativ geladene Flächen



▪ Oberflächenladungsdichte

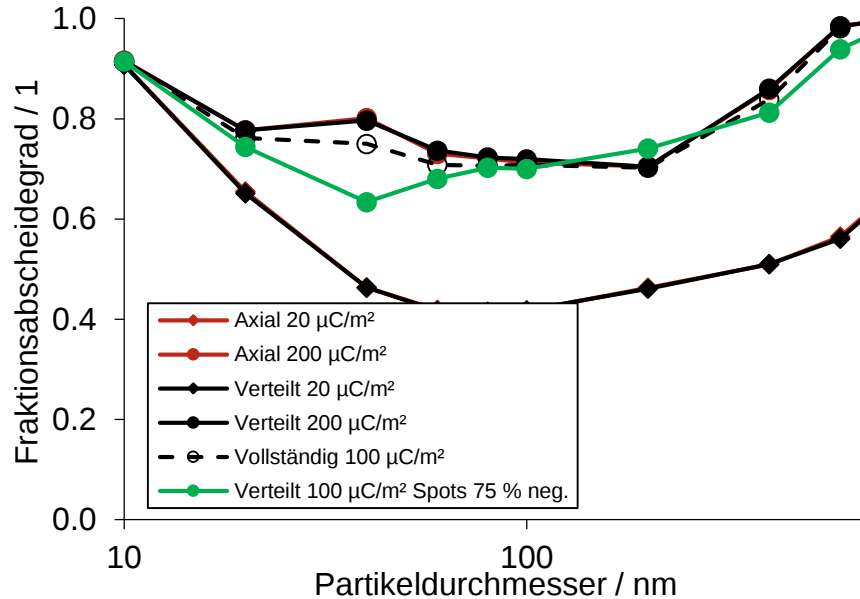
- 1 bis 100 µC/m²
- Anströmgeschwindigkeit 0.02 m/s



▪ Mikroskopische Verteilung: Überschattung der Ladung mit prozentual kleinerer Fläche?

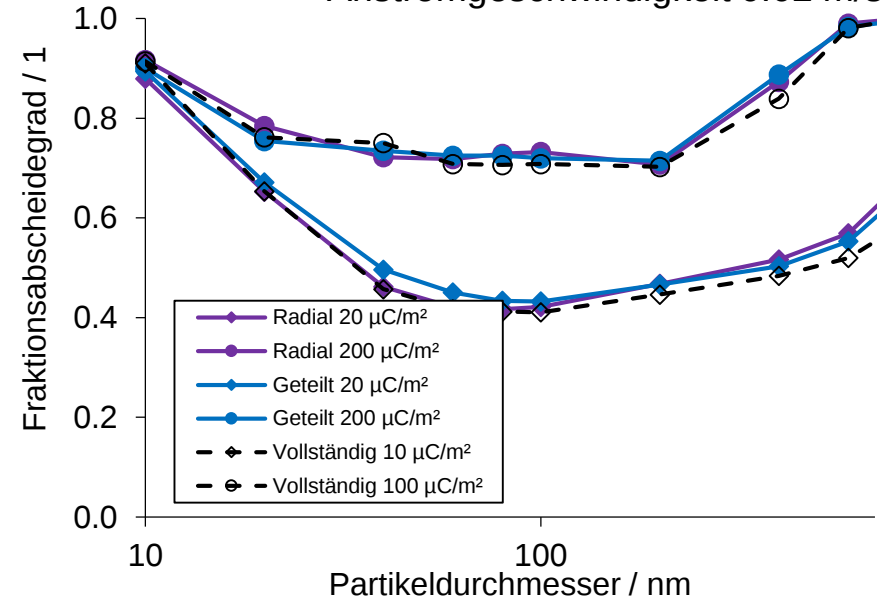
Unipolar negativ

- 50 % geladene Flächen



Oberflächenladungsdichte

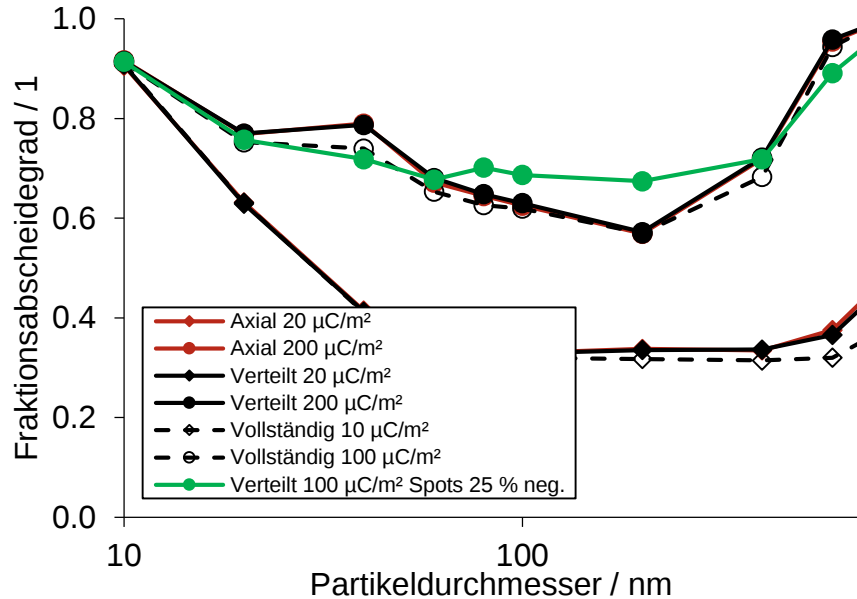
- 2 bis 200 $\mu\text{C}/\text{m}^2$
- Anströmgeschwindigkeit 0.02 m/s



Mikroskopische Verteilung: Überschattung der Ladung mit prozentual kleinerer Fläche?

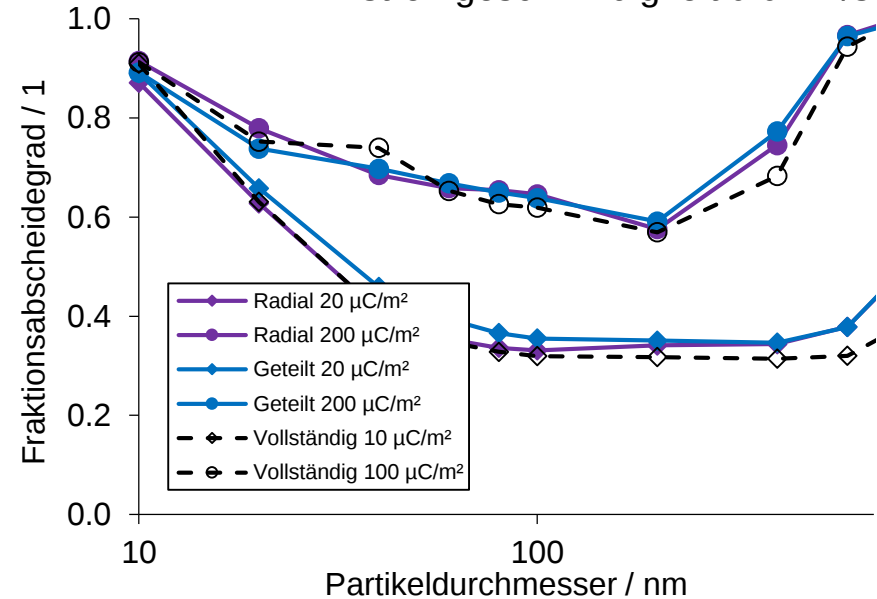
Unipolar positiv

- 50 % geladene Flächen

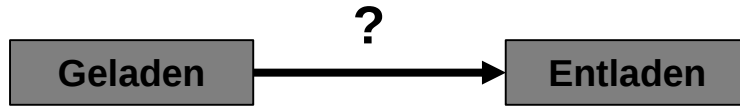


Oberflächenladungsdichte

- 2 bis 200 $\mu\text{C}/\text{m}^2$
- Anströmgeschwindigkeit 0.02 m/s



Mikroskopische Verteilung: Überschattung der Ladung mit prozentual kleinerer Fläche?



- DIN EN 779 (mindestens 2 min)



- ISO 16890-4 (24 h)



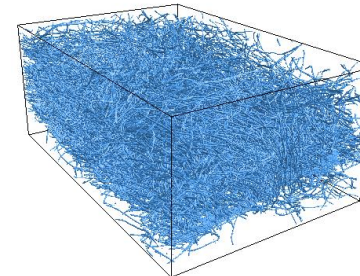
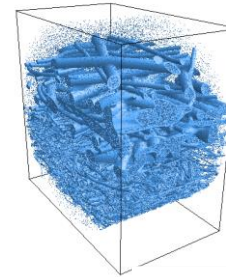
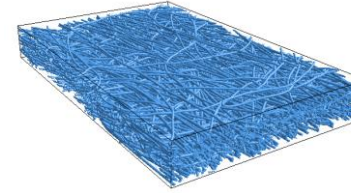
Topas GmbH

F1
1.5 μm

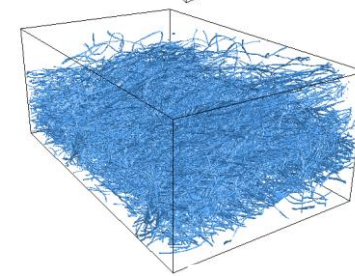
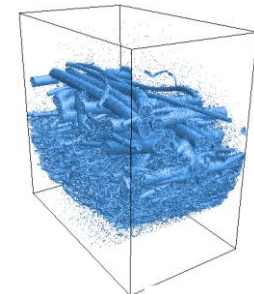
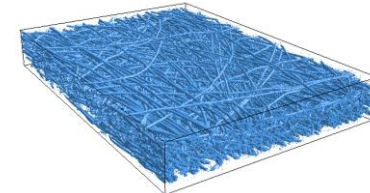
F5
0.25 μm

F7
1.5 μm

Geladen

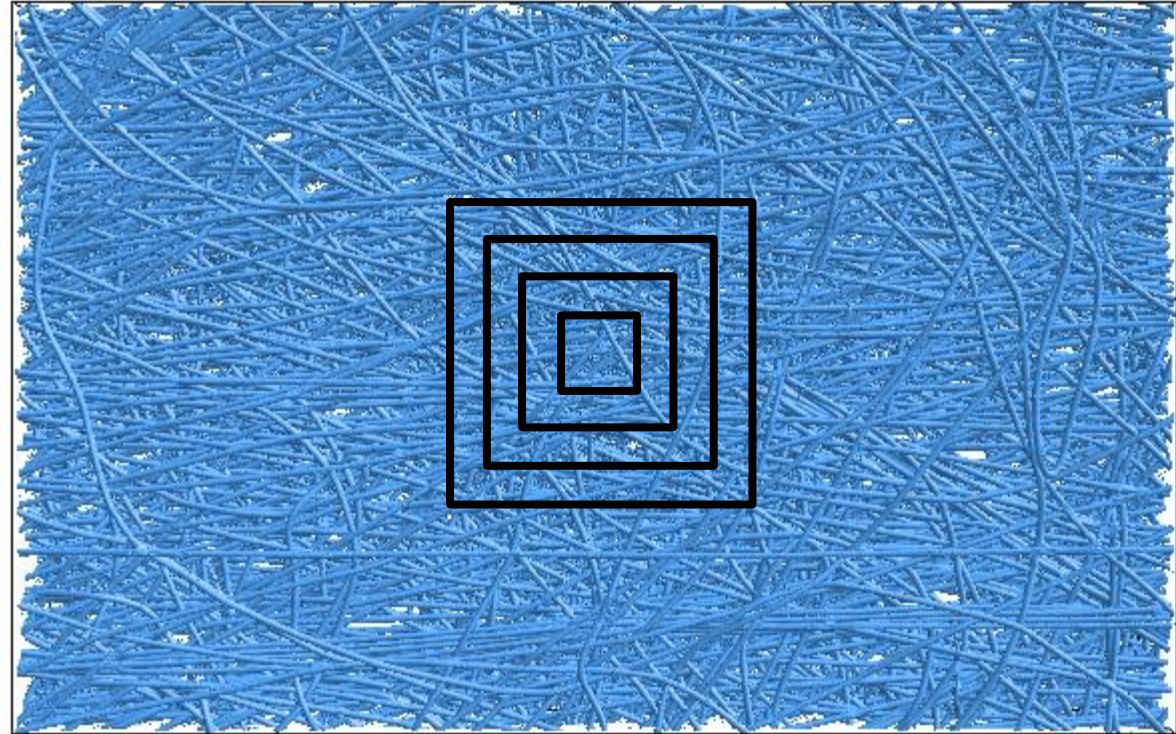


Entladen



- **Einfluss Modellgröße (Voxel)**

- 200 x 200 (300 x 300)
- 300 x 300 (600 x 600)
- 400 x 400 (900 x 900)
- 500 x 500 (1200 x 1200)



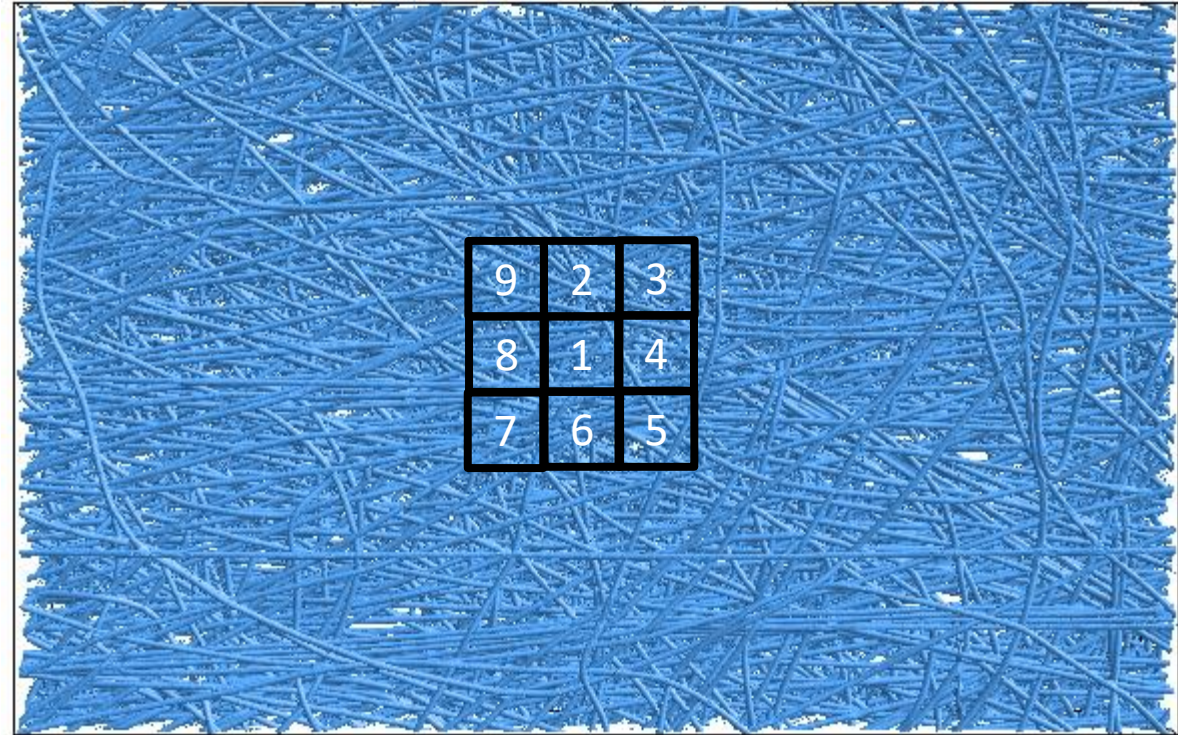
- **Einfluss Modellgröße (Voxel)**

- 200 x 200 (300 x 300)
- 300 x 300 (600 x 600)
- 400 x 400 (900 x 900)
- 500 x 500 (1200 x 1200)

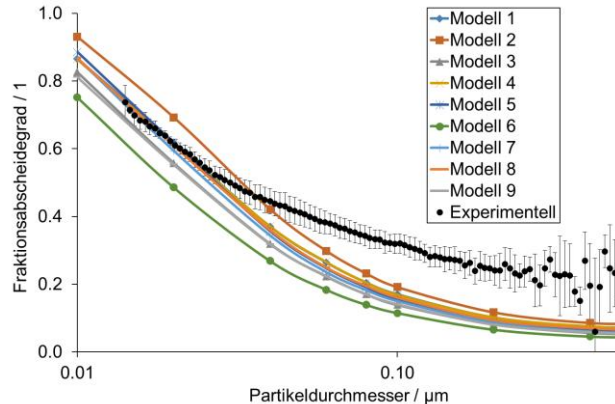
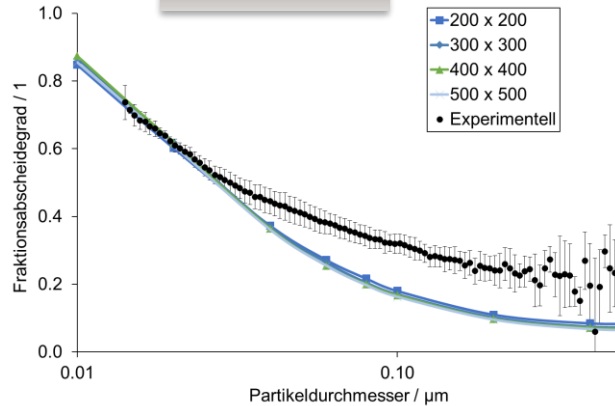
- **Einfluss Inhomogenität**

- 9 Modelle
- 300 x 300 Voxel
- Lediglich F1 und F7

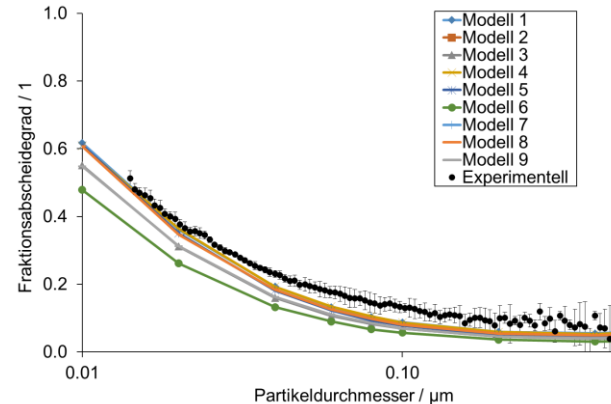
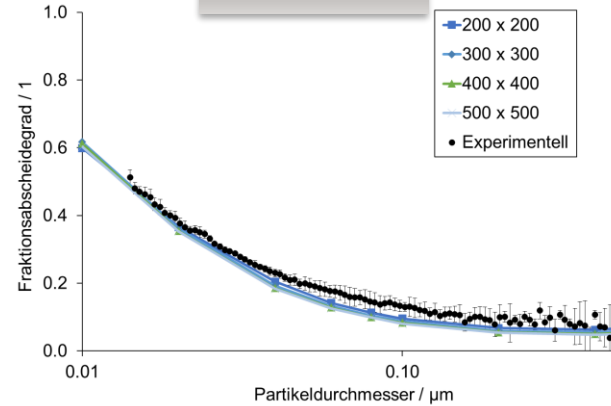
- **Anströmgeschwindigkeit von
0.02 m/s und 0.08 m/s**



0.02 m/s



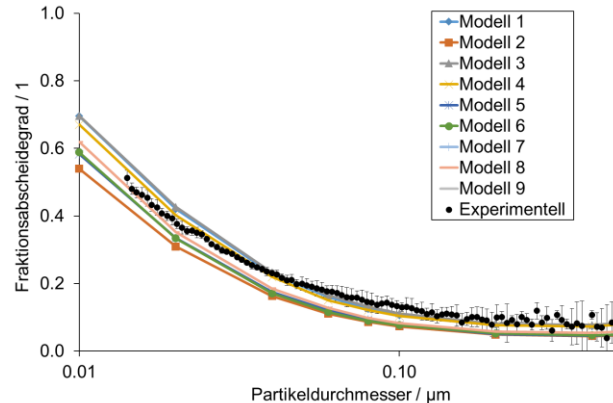
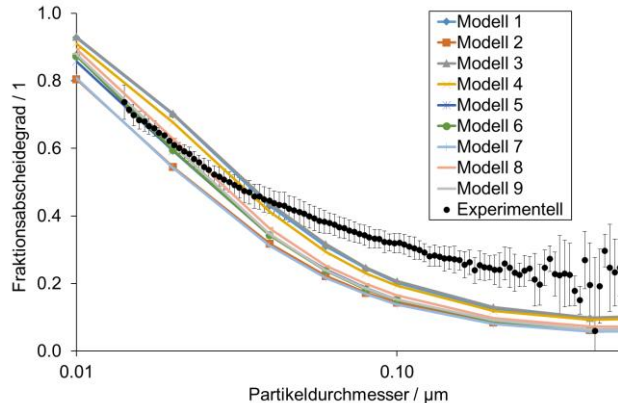
0.08 m/s



- **Modellgröße**
 - Kein Einfluss
- **Inhomogenität**
 - Ausgeprägt
- **Vergleich**
 - Übereinstimmung von Simulation und Experiment (0.08 m/s)

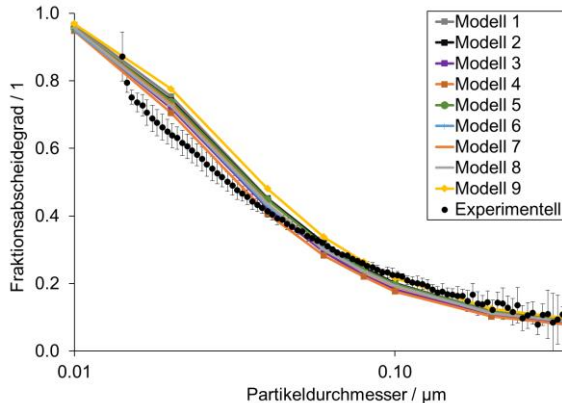
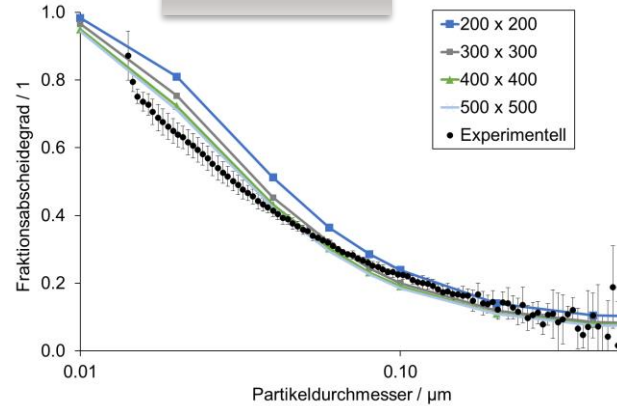
0.02 m/s

0.08 m/s

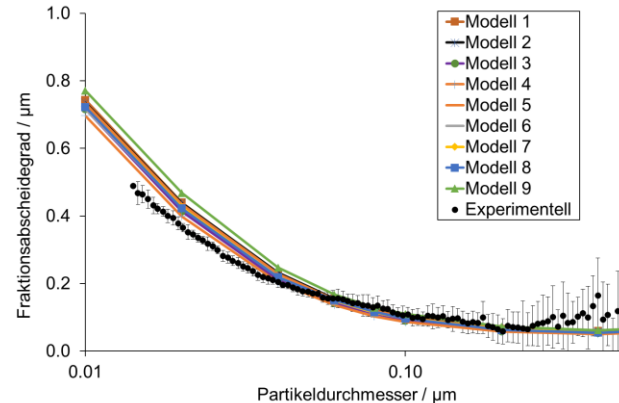
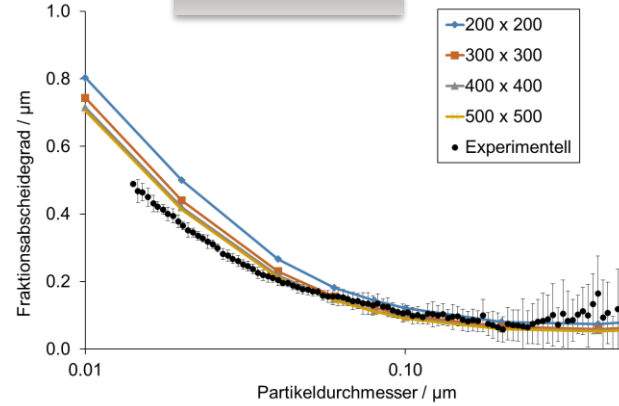


- **Modellgröße**
 - Kein Einfluss
- **Inhomogenität**
 - Ausgeprägt
- **Vergleich**
 - Übereinstimmung von Simulation und Experiment (0.08 m/s)
- **Übereinstimmung Simulationen**

0.02 m/s

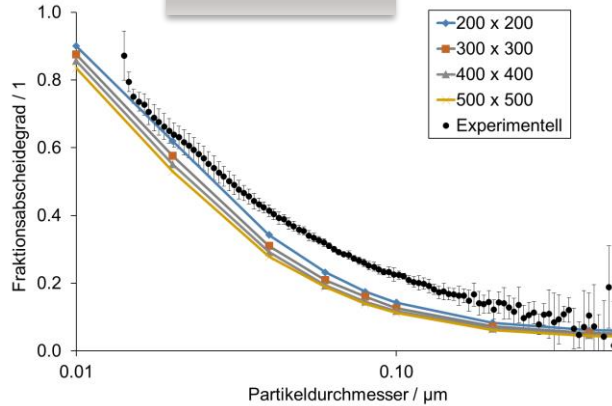


0.08 m/s

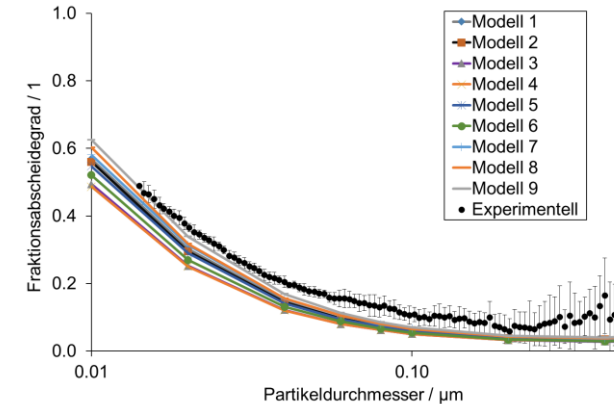
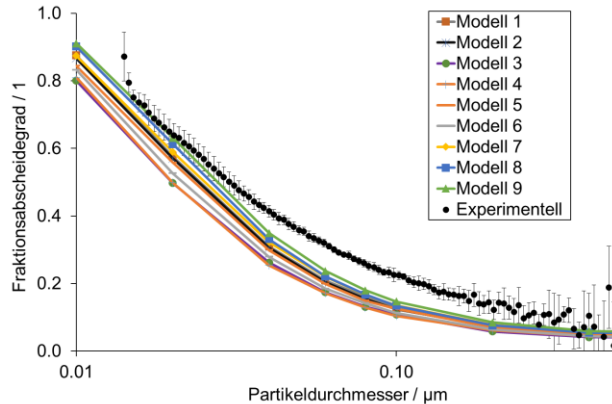
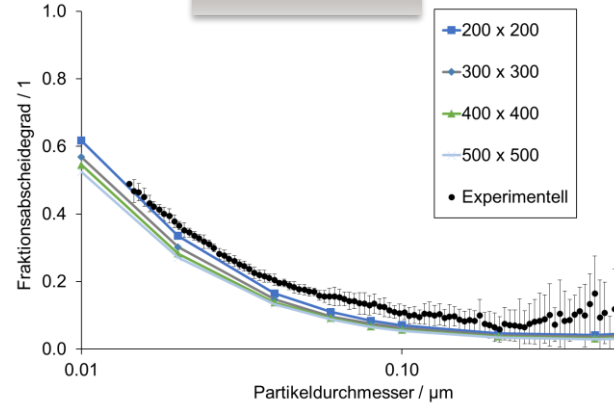


- **Modellgröße**
 - 300 x 300 Voxel
- **Inhomogenität**
 - Vernachlässigbar
- **Vergleich**
 - Übereinstimmung von Simulation und Experiment

0.02 m/s

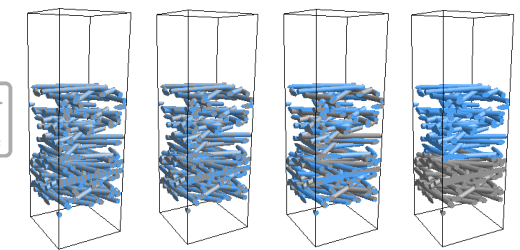
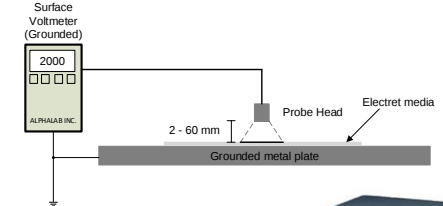
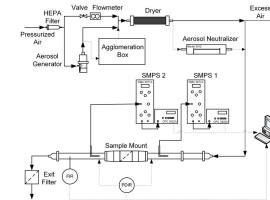
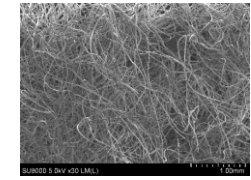
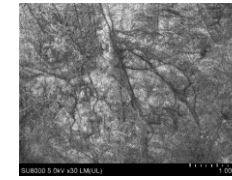
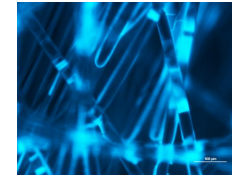
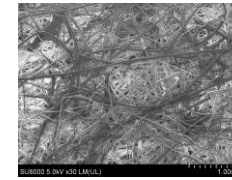


0.08 m/s



- **Modellgröße**
 - 300 x 300 Voxel
- **Inhomogenität**
 - Vernachlässigbar
- **Vergleich**
 - Übereinstimmung von Simulation und Experiment
- **Abweichung Simulationen**
 - Tomographie vs. Entladung?

- Arbeitsgruppe an FS 2
- Einfluss der Entladung auf die Faserstruktur
- Lokalisierung der Ladung
 - Abscheidung fluoreszierender Partikel
 - Messungen mittels Oberflächenvoltmeter
- Abscheidung submikroner Partikel
 - Neutralisation
 - Unipolare Aufladung
- Numerische Untersuchungen
 - Sensitivitätsstudie Ladungsmodellierung
 - Einbindung von Tomographien
- **Zusammenführen der Ergebnisse in der Ladungsmodellierung**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

