



Physik in der Motorluftfiltration

Stefan Walz

9. April 2008

MANN+HUMMEL GMBH

Intention

Warum Motorluftfiltration?



- Partikel, die von der Umgebungsluft eingetragen werden, können mechanische oder elektronische Bauteile durch Abrasion und Kontamination schädigen.



Abrasion am Kolben
durch Partikel $> 1 \mu\text{m}$



Ablagerung von Partikel auf
dem Luftmassenmesser →
Drift des Ausgangssignals

Intention

Warum Motorluftfiltration?



■ Staubkonzentrationen in Europas Großstädten

PM10-Konzentration JMW	
Paris	23,3
Helsinki	17
London	28
Berlin	27
Stuttgart	25
Graz	36
Brüssel	37
Antwerpen	34
Kopenhagen	25
Budapest	57
Danzig	33
Kattowitz	56
Prag	31
Marseille	29
Barcelona	42
Lissabon	35
Mailand	45
Rom	33
Athen	38
Thessaloniki	40
Istanbul	43



source: EEA – European Environmental Agency

Intention

Warum Motorluftfiltration?



■ Staubkonzentrationen weltweit

- Beijing: TSP: 377 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Chengdu: TSP: 366 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Guangzhou: TSP: 295 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Shanghai: TSP: 246 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Urumqi: TSP: 515 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Wuhan: TSP: 211 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Lanzhou: TSP: 732 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Niederschlag



Urumqi



Shanghai



Lanzhou



source: World Bank, 1998

Intention

Warum Motorluftfiltration?



- Staubkonzentrationen weltweit – Tal von Lanzhou
- Tal rundherum umgeben von Bergen; Höhe: 500 m - 600 m
- Fläche: ca. 1.630 km²
- 1,5 Mio. Einwohner (2001)
- 310 d/a Inversionswetterlage z.T. 600 m hoch
- 10 Kohlekraftwerke
- 110.000 Fahrzeug (2001) → Jährliche Zunahme 12.500
- Tagesmittelwert TSP [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]:

Sommer: 463	(436 – 513)
Winter: 958	(678 – 1.361)
- Maximalwerte PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] in 2001:

■ Niedrige Konzentration:	546 – 990	19 x	4 h – 31 h
■ Hohe Konzentration:	1.015 – 7.326	14 x	4 h – 89 h

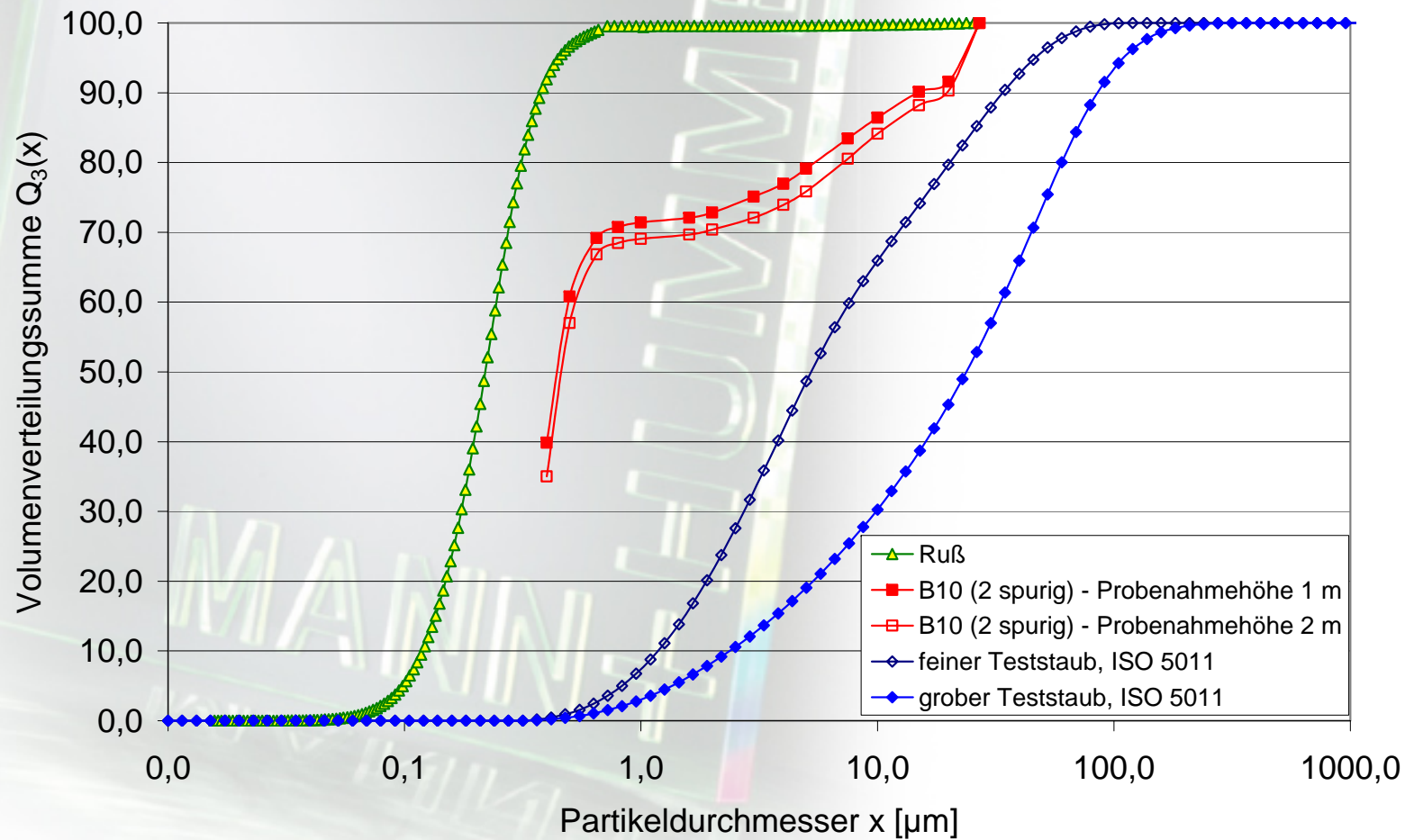
source: **Sci Total Environ.** 2004 Mar 29; 320

Intention

Warum Motorluftfiltration?



■ Staubzusammensetzung



Intention

Anwendung der Motorluftfiltration

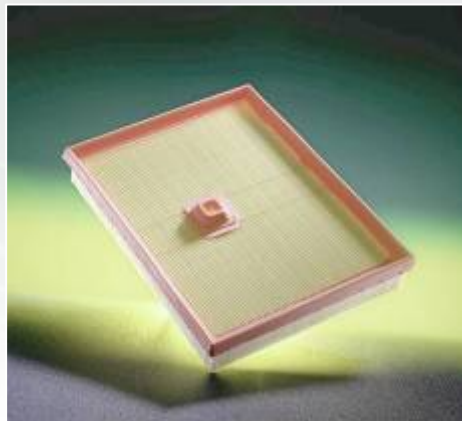
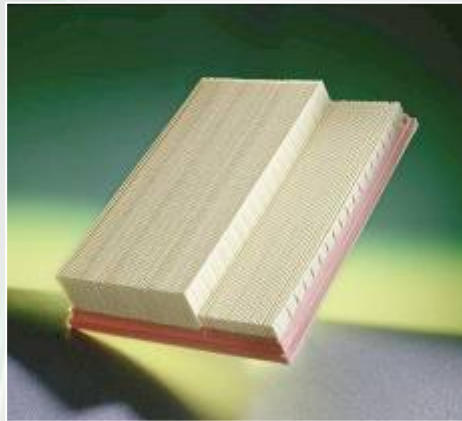
- Anforderungen:
 - Effiziente Filtration
 - Hohe Staubaufnahmefähigkeit
 - Hohe Standzeit
 - Reduzierung der Bauraumanforderungen
 - Optimale Luftströmung
 - Funktionalität unter nassen Bedingungen
 - Akustische Anforderungen
 - Design



Intension

Anwendung der Motorluftfiltration

■ Design



Filtration & Separation

Anspruchsvolle Mechanismen?



- Definition von „Filtration“

Mechanische Separation einer dispersen Phase (fest oder flüssig) aus einer kontinuierlichen Phase (flüssig oder gasförmig) mit Hilfe eines Filtermediums

- Definition von „Separation“

Die Nutzung von adsorptiven und elektrostatischen Effekten oder auch Zentrifugalkräften um Partikel, Tropfen oder Moleküle aus der kontinuierlichen Phase zu separieren



Prähistorischer Filter zur Wasserfiltration

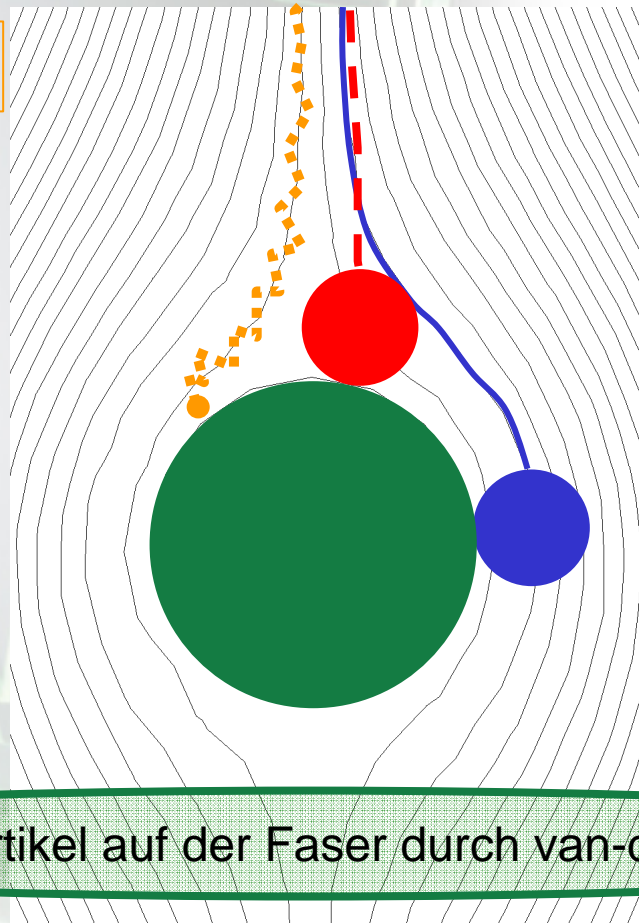
Abscheidemechanismen

Partikelabscheidung an der Einzelfaser – Charakteristische dimensionslose Kennzahlen



$$Pe = \frac{\text{Strömungsgeschwindigkeit}}{\text{Partikeldiffusionsgeschwindigkeit}}$$

$$Pe = \frac{v_0 D_F}{D}$$



$$St = \frac{\text{"Bremsweg" des Partikels}}{\text{Größe des Hindernisses}}$$

$$St = \frac{\rho d_p^2 C_c v_0}{18 \eta D_F}$$

$$R = \frac{\text{Partikelgröße}}{\text{Faserdurchmesser}}$$

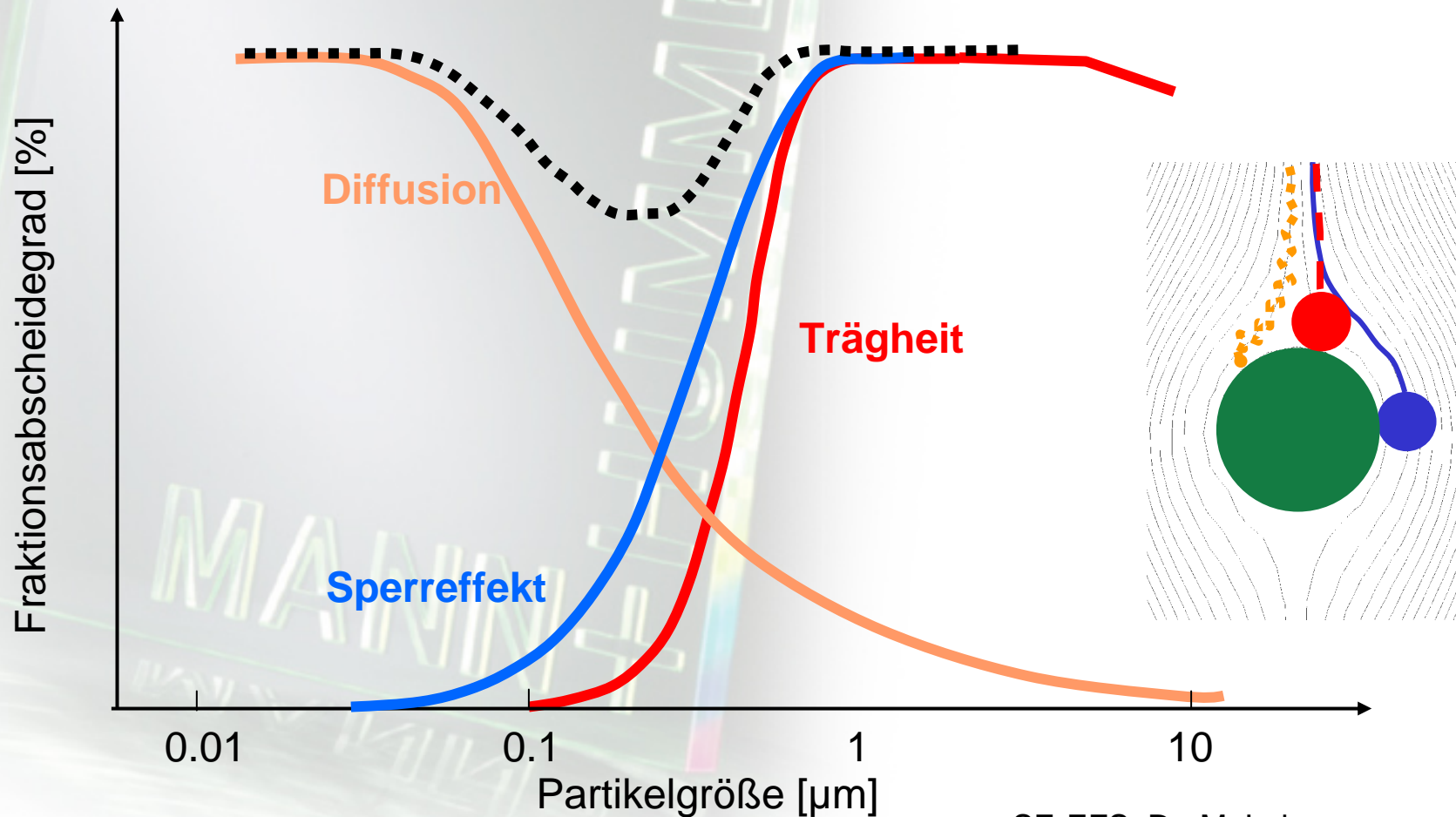
$$R = \frac{d_p}{D_F}$$

Anhaftung der Partikel auf der Faser durch van-der-Waals-Kräfte

SE-EFS: Dr. M. Lehmann

Abscheidemechanismen

Partikelabscheidung an der Einzelfaser – Effekt der Filtermechanismen



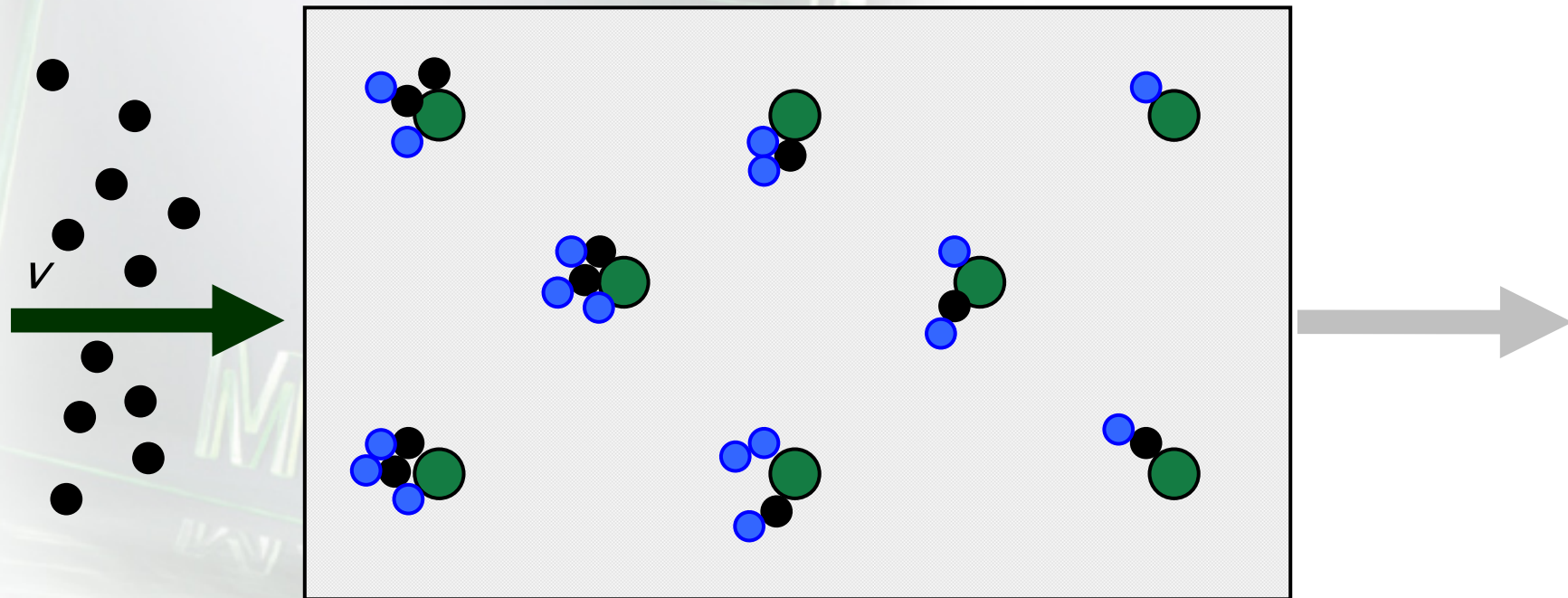
SE-EFS: Dr. M. Lehmann

Filtrationsprinzip



Tiefenfiltration – offene Struktur von Einzelfasern

- Abscheidung von Partikeln **im** Filtermedium an den **Einzelfasern** der porösen Struktur
- mit **weiterer Beladung** Anlagerung an abgeschiedenen **Partikelstrukturen**



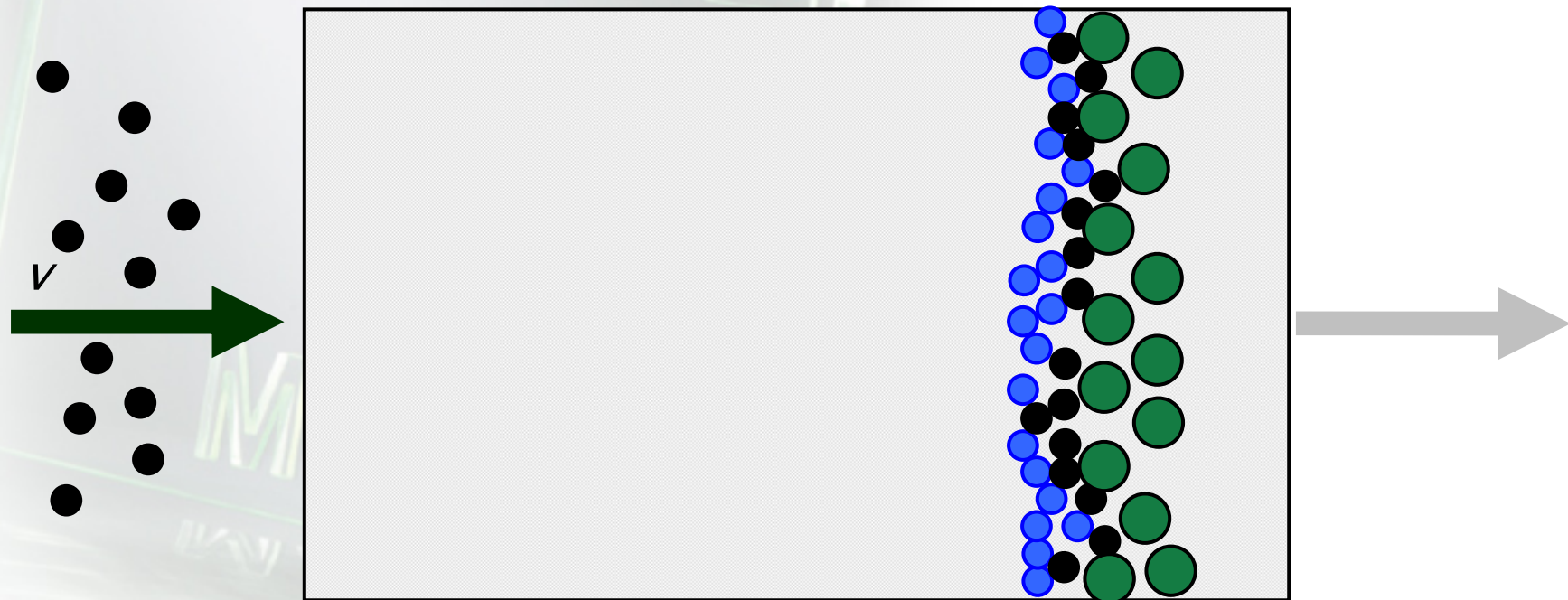
SE-EFS: Dr. M. Lehmann

Filtrationsprinzip

Oberflächenfiltration – dichte Struktur von Einzelfasern



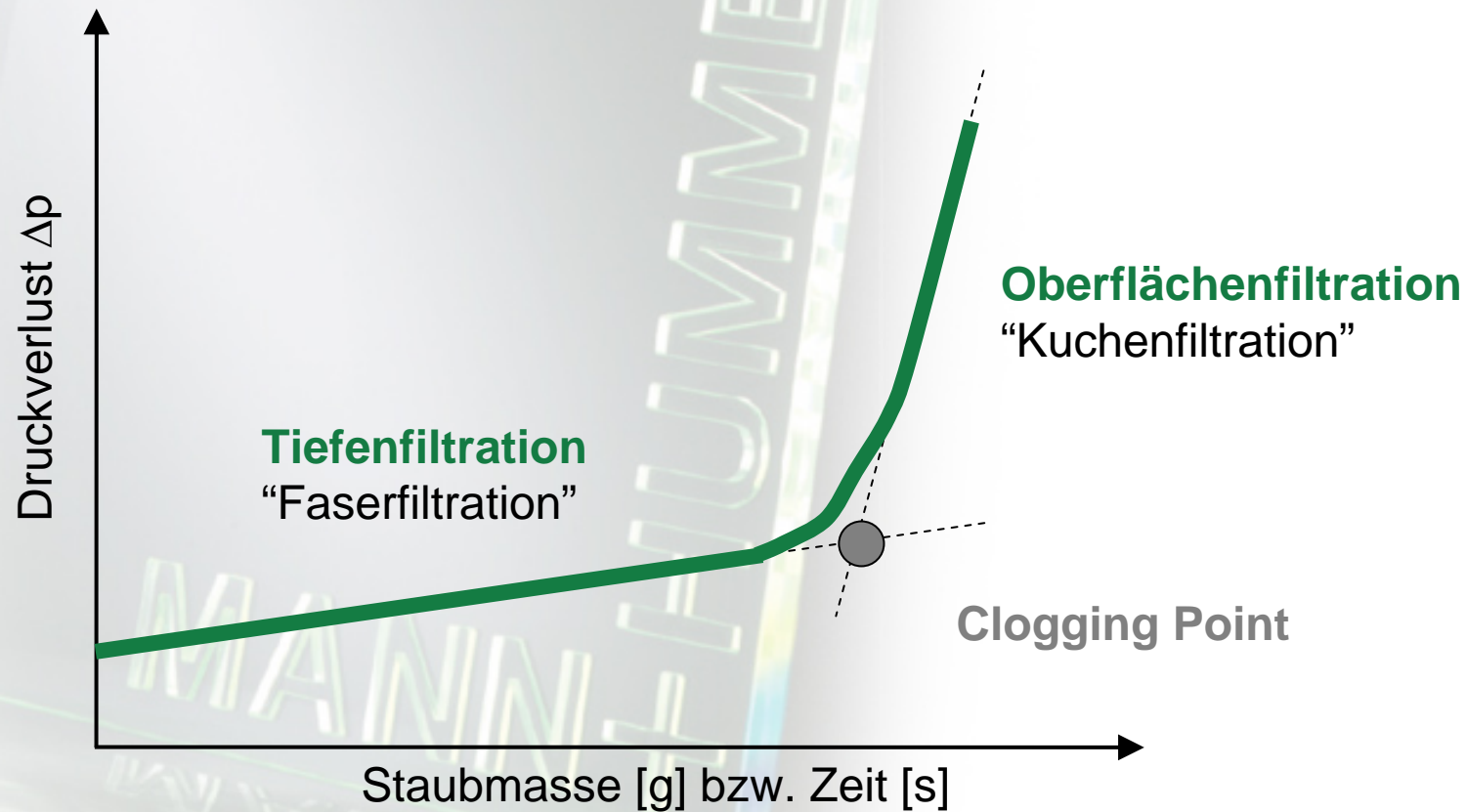
- Abscheidung der Partikel auf der Oberfläche des Filtermediums
- mit weiterer Beladung Aufbau eines Filterkuchens



SE-EFS: Dr. M. Lehmann

Filtrationsprinzip

Druckverlustverlauf

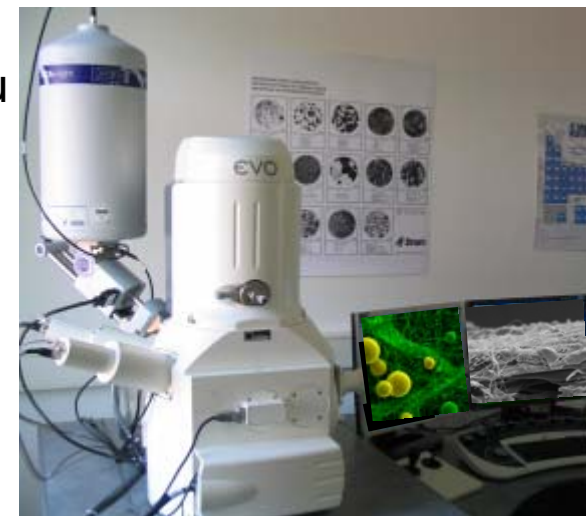


Analyseverfahren

EDX – Energiedispersive Röntgenanalytik



- Bestrahlung der Probe mit energiereichen Primärelektronen
- Probe erzeugt Röntgenstrahlen
- Auswertung der Spektrallinien im Röntgenspektrum
- Identifikation der Elementzusammensetzung der Probe
- Identifikation der Elemente des Periodensystems
- Intensität der Spektrallinie lässt Quantifizierung zu

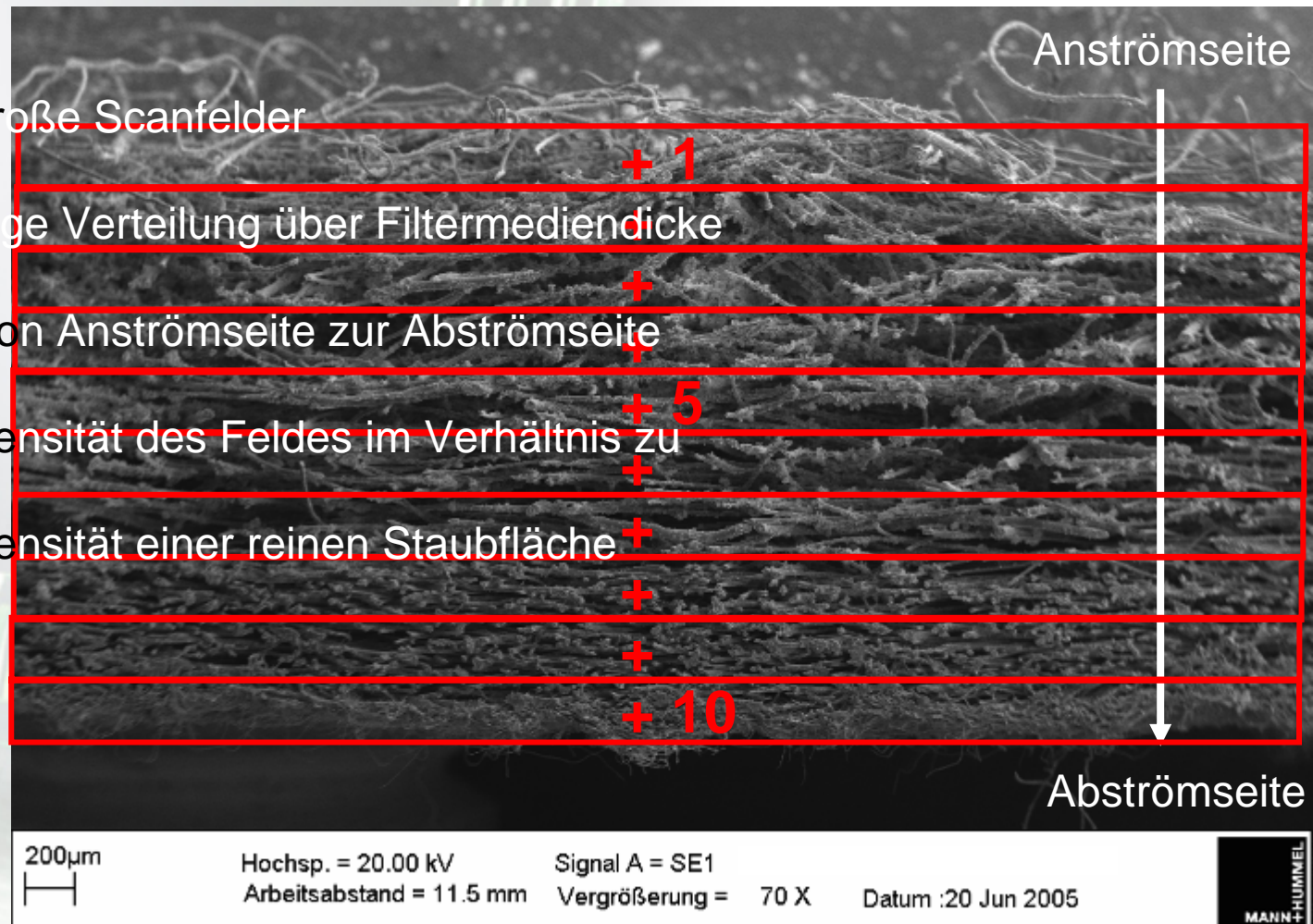


Analyseverfahren

EDX – Linescan



- 10 gleich große Scanfelder
- Gleichmäßige Verteilung über Filtermediendicke
- Scanning von Anströmseite zur Abströmseite
- Silizium-Intensität des Feldes im Verhältnis zu
- Silizium-Intensität einer reinen Staubfläche

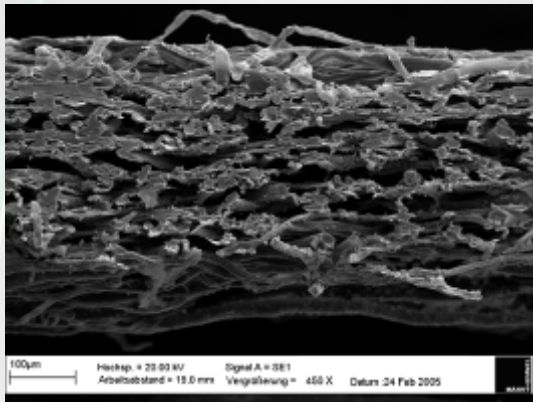


Filtermedium

Übersicht



Papier

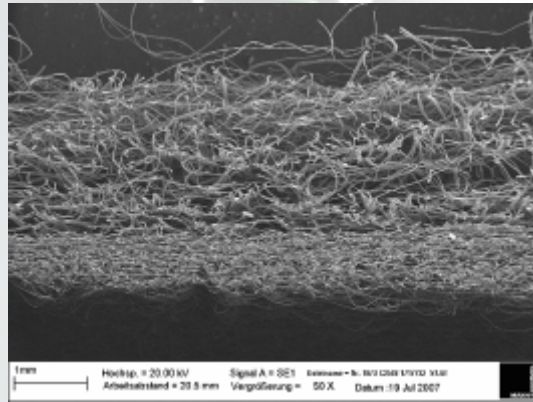


Faserdurchmesser
40 – 15 µm

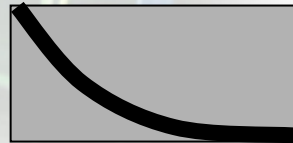


homogen

Vlies

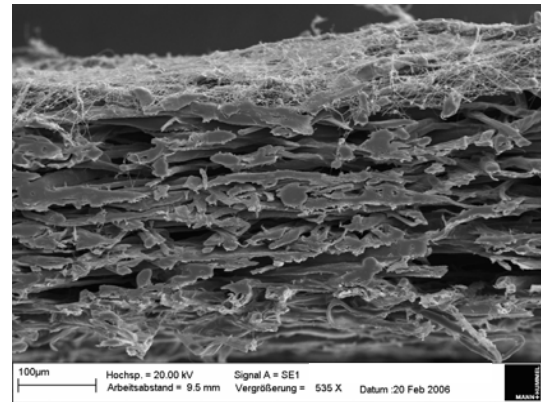


Faserdurchmesser
15 – 7 µm



progressiv

Composites
(Papier + Nanofasern)
(Papier + Meltblown)



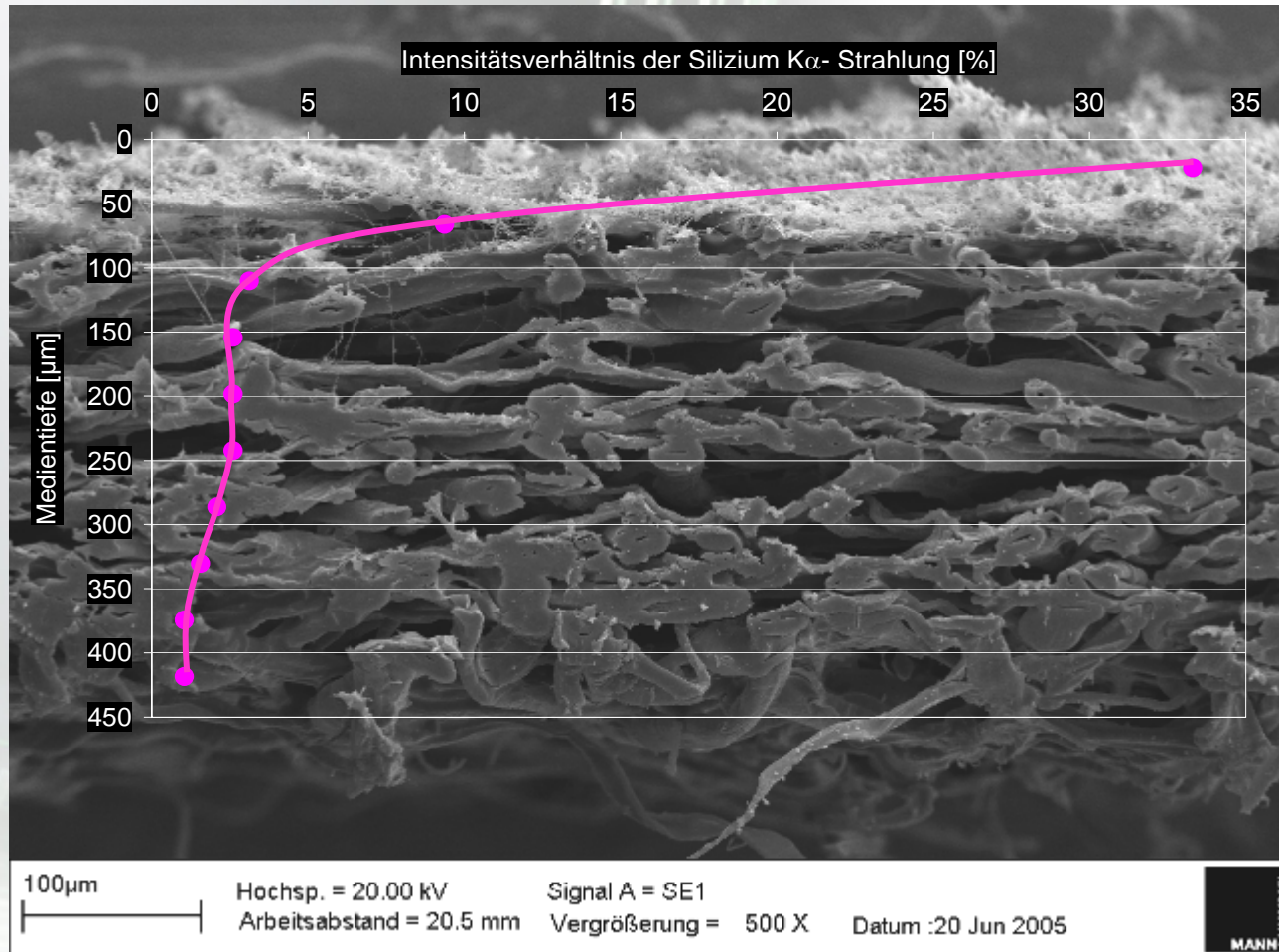
Faserdurchmesser
MB: 5 - 1 µm
NF: 0,5 - 0,05 µm



„Oberfläche“

Filtermedium

Intensitätsverhältnis / Staubanlagerung - Oberflächenfiltration



Filtermedium

Intensitätsverhältnis / Staubeinlagerung - Tiefenfiltration

