

*Lehrveranstaltung*  
**Reine Technologien**

*Folien zur Vorlesung*

NUR ZUM PERSÖNLICHEN GEBRAUCH!

PD Dr.-Ing. habil. Frank Babick, 1. Oktober 2024

# 7. Herstellung reiner Gase

# 7.1 Herstellung reiner Gase

## *- Überblick -*

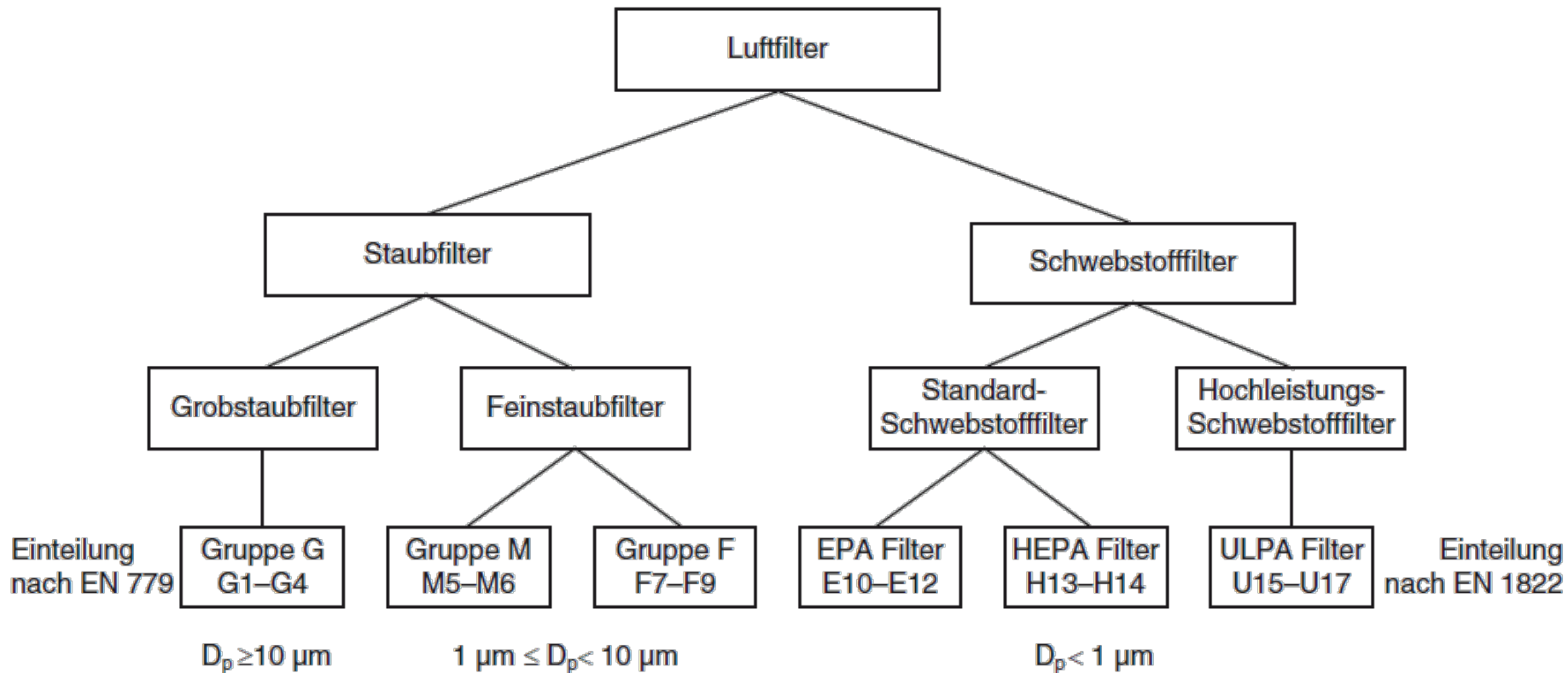
# Prinzipien

- Sedimentationsabscheidung → grobe Partikel
- Trägheitsabscheidung → eher grobe Partikel, rel. hohe Konzentrationen
- Gaswäsche → Abscheidung von Partikeln und Gasen, rel. hohe Partikelkonzentr.
- elektrische Gasreinigung → rel. hohe Partikelkonzentrationen
- Filtration
  - Oberflächenfiltration → grobe Partikel, rel. hohe Konzentrationen
  - Tiefenfiltration → feine Partikel, rel. geringe Konzentrationen
- Adsorption → Abscheidung molekularer Verunreinigungen
  
- in der Praxis kaum Überschneidung zw. Entstaubung von Prozess- und Abgasen sowie der Bereitstellung reiner Gase
- relevant in Reinraumtechnik
  - Tiefenfiltration
  - Adsorption

# 7.2 Herstellung reiner Gase

## – Luftfilter –

# Einteilung von Luftfiltern



Bildquelle: L. Gail & U. Gommel (Hrsg.): *Reinraumtechnik*, 4. Auflage, Springer, Heidelberg, **2018**; Abb. 5.2

# Spezifikation der Filterklassen

(vereinfachte Darstellung)

## Staubfilter (DIN EN 779)

FKI	mittl. Abscheidung
G1	$\eta_{\text{grav}} < 65 \%$
G2	$65 \% < \eta_{\text{grav}} \leq 80 \%$
G3	$80 \% < \eta_{\text{grav}} \leq 90 \%$
G4	$90 \% \leq \eta_{\text{grav}}$
M5	$40 \% < T_{0.4\mu\text{m}} \leq 60 \%$
M6	$60 \% < T_{0.4\mu\text{m}} \leq 80 \%$
F7	$80 \% < T_{0.4\mu\text{m}} \leq 90 \%$
F8	$90 \% < T_{0.4\mu\text{m}} \leq 95 \%$
F9	$95 \% \leq T_{0.4\mu\text{m}}$

## Schwebstofffilter (DIN EN 1822-1)

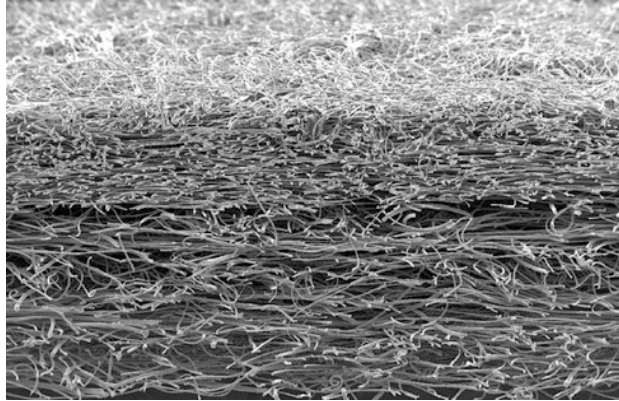
FKI	mittl. Abscheidung
E10	$85 \% \leq T_{\text{MPPS}}$
E11	$95 \% \leq T_{\text{MPPS}}$
E12	$99,5 \% \leq T_{\text{MPPS}}$
H13	$99,95 \% \leq T_{\text{MPPS}}$
H14	$99,995 \% \leq T_{\text{MPPS}}$
U15	$99,9995 \% \leq T_{\text{MPPS}}$
U16	$99,99995 \% \leq T_{\text{MPPS}}$
U17	$99,999995 \% \leq T_{\text{MPPS}}$

- Kriterien

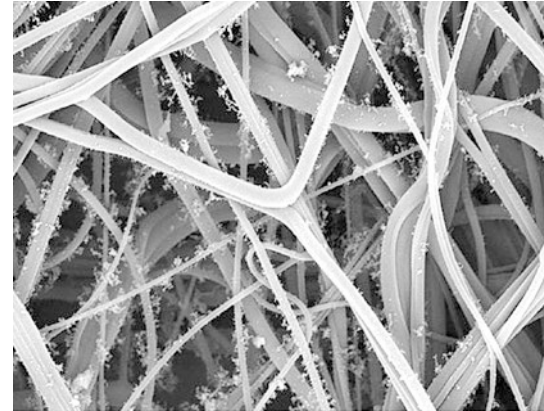
- gravimetrischer Abscheidegrad  $\eta_{\text{grav}}$
- anzahlbezogener Abscheidegrad für 0.4  $\mu\text{m}$  Partikel  $T_{0.4\mu\text{m}}$
- anzahlbezogener Abscheidegrad der am stärksten penetrierenden Partikel  $T_{\text{MPPS}}$



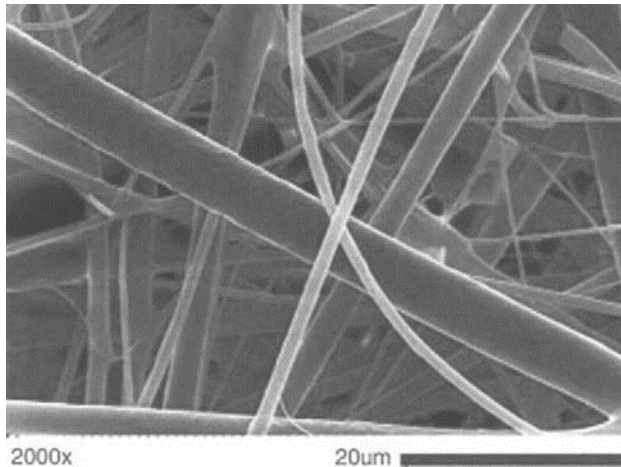
# Filtermedien



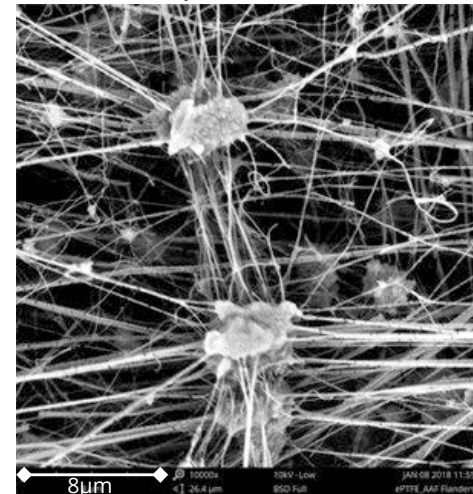
strukturiertes Stapelfaservlies



Spinnvlies



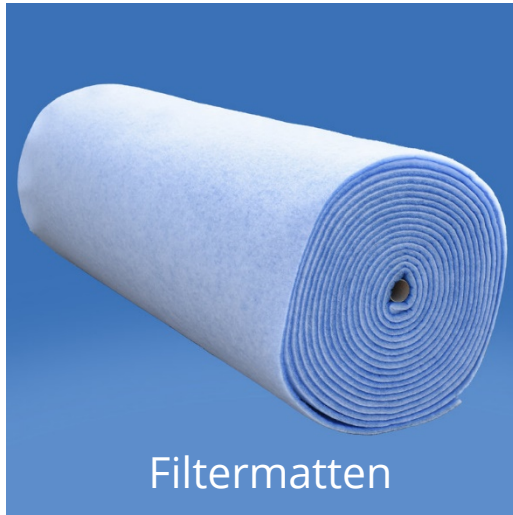
Glasfaserpapier



ePTFE-Membran



# Filterelemente



Filtermatten



Faltenfilter



Kassettenfilter

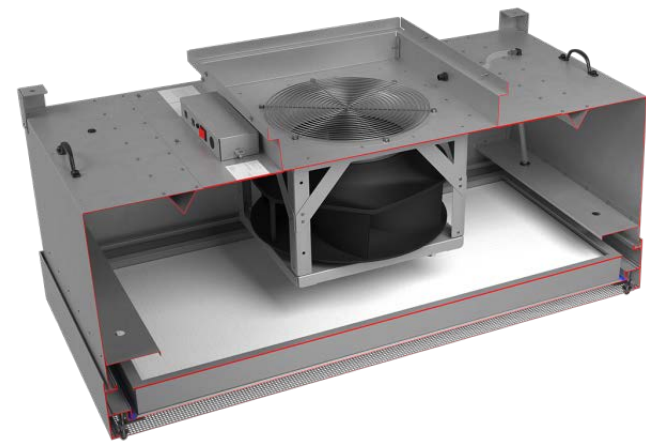


Taschenfilter

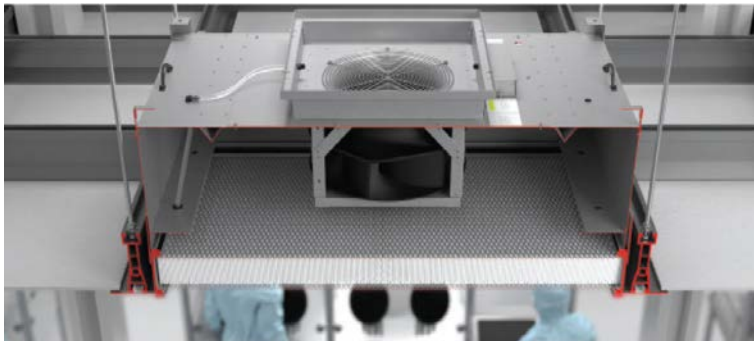
# Filter-Ventilator-Einheiten

(filter fan unit – FFU)

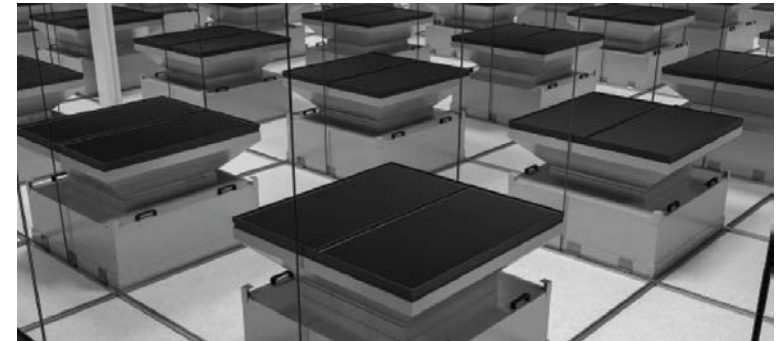
- standardisierte Bausätze zur einfachen Montage und Wartung
- flexibel einsetzbar
- kombinierbar mit Vorfiltern oder Adsorbern



FFU



Deckenaufhängung einer FFU



mit vorgesetztem Aktivkohlefilter

Bildquelle: *High Purity Filtration Solutions Fan Filter Units & Controls*; Brochure AFP-1-434F. AAF International, 2023.

# Filterprüfung



- Gegenstand der Filterprüfung:
  - Erfüllung der Spezifikation
  - integrale Partikelabscheidung, lokale Penetrationsraten
- Durchführung:
  - Generation eines Prüfaerosols und Messung der größenabhängigen Penetration
  - im Labor / am Teststand oder vor-Ort (bei laufendem Betrieb)

## **7.3 Herstellung reiner Gase**

*– Leistungsparameter von Tiefenfiltern –*

# Mikroprozesse der Tiefenfiltration

## *Partikelrückhalt in Tiefenfiltern:*

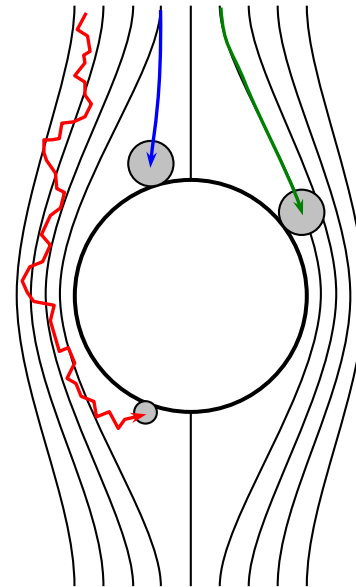
- Transport an innere Oberfläche + Haftung

## *Abscheidemechanismen:*

- Impaktion (Trägheitsabscheidung)
- Interzeption (Sperrereffekt)
- Diffusion
- außerdem:
  - Sedimentation
  - Siebwirkung
  - elektrische Anziehung

## *Haftmechanismen:*

- van-der-Waals-Kräfte
- chemische Affinität
- elektrostatische Anziehung



*Abscheidung infolge von:*

Impaktion

Interzeption

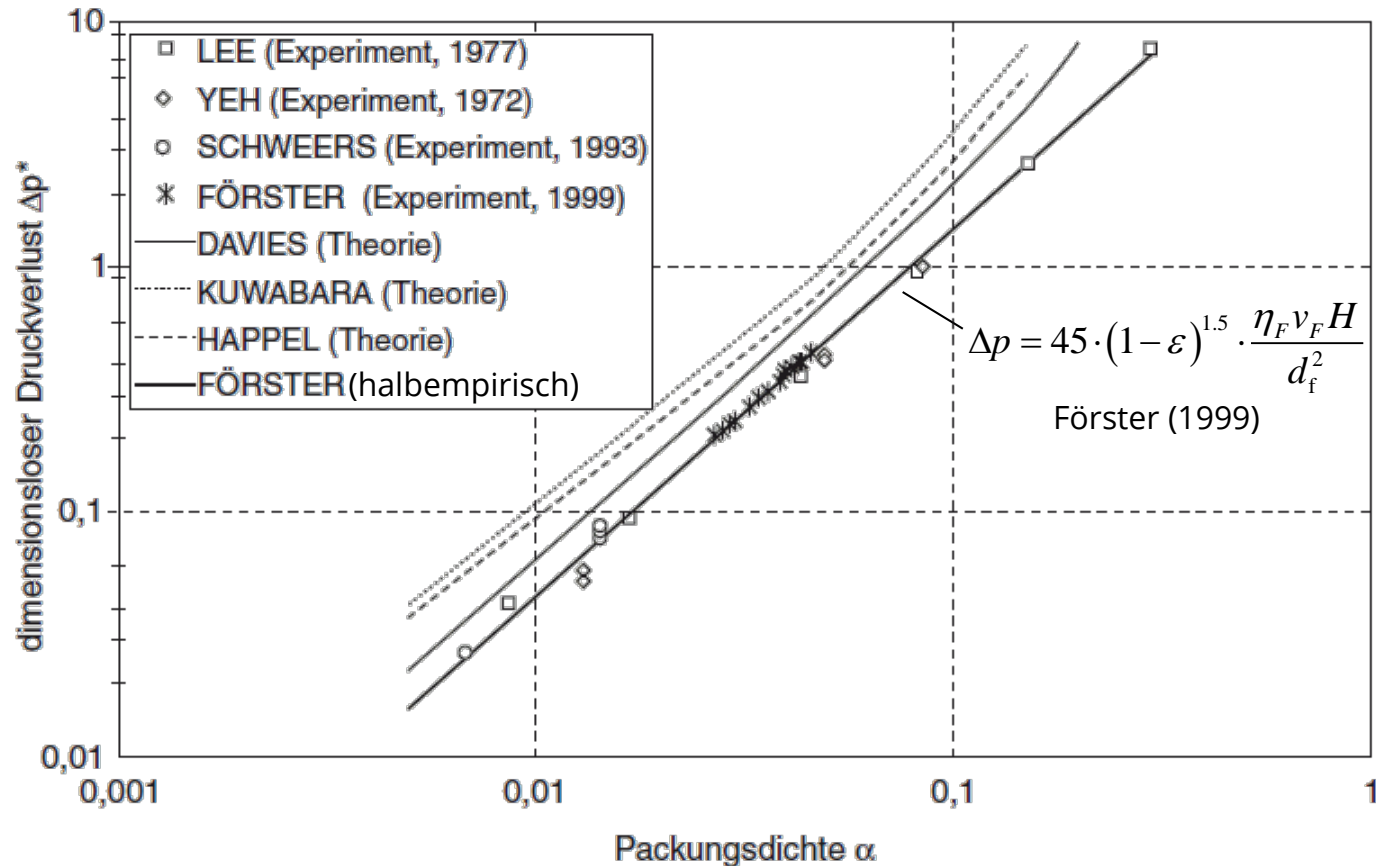
Brownscher Bewegung

# Leistungsparameter von Tiefenfiltern

- Fraktionsabscheidegrad und *most penetrating particle size* (MMPS)
  - entscheidet für Feinstaub- und Schwebstofffilter über die Filterklasse
  - charakteristisches Minimum im Submikrometer-Bereich → MMPS
- Gesamtabscheidegrad
  - entscheidet für Grobstaubfilter über die Filterklasse
  - abhängig von Größenverteilung des Aerosols
- Druckverlust
  - beeinflusst von Porosität, Porenweite, Filterdicke  
aber auch: von Anströmgeschwindigkeit und Gasviskosität
  - reibungsdominierte Strömung
  - für sehr feine Poren: Schlupfkorrektur → weniger Strömungswiderstand  
(z.B. ePTFE-Membranen mit geringeren  $\Delta p$  als Glasfaserfilter der gleichen Klasse)
- Kapazität
  - Aufnahmekapazität des Filters bis zum „Durchbruch“ (Redispergierung abgeschiedener Partikel) oder signifikanter Druckerhöhung
  - Kompromiss mit Druckverlust

# Druckverlust an Tiefenfiltern

## Modelle und Messdaten

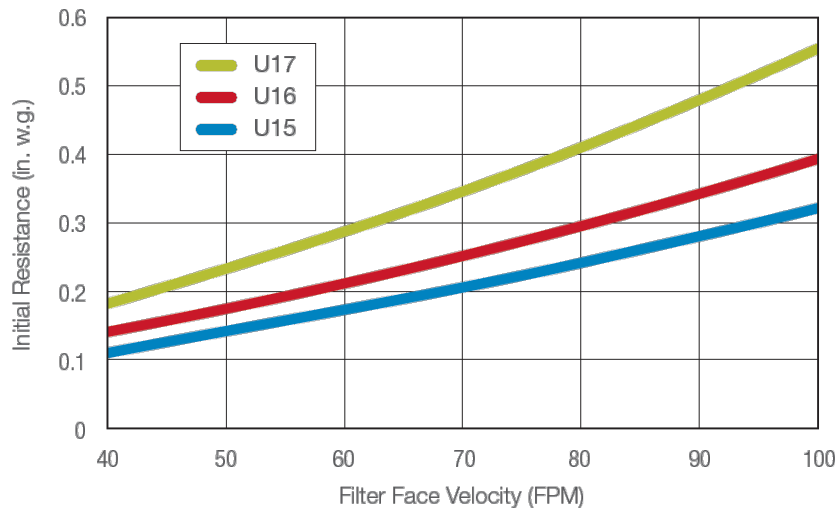


Bildquelle: L. Gail & U. Gommel (Hrsg.): *Reinraumtechnik*, 4. Auflage, Springer, Heidelberg, **2018**; Abb. 5.14

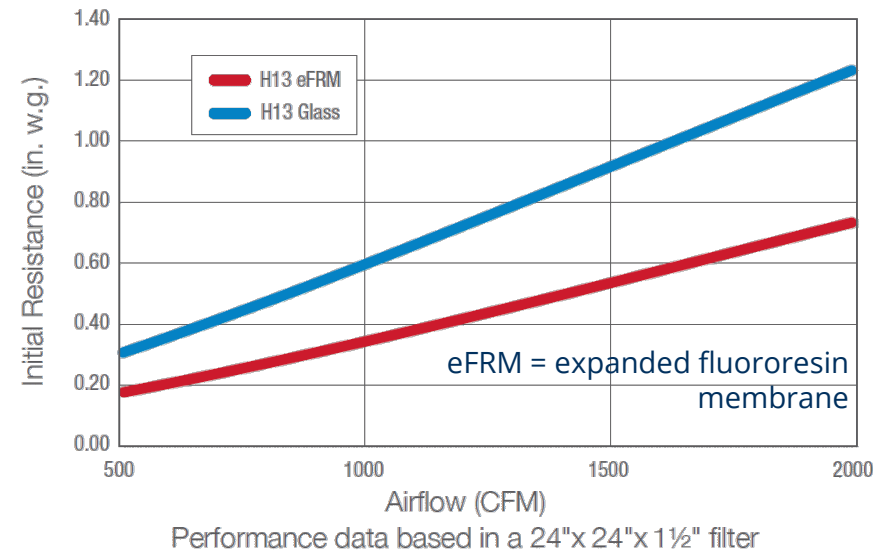


# Druckverlust an Schwebstofffiltern

## Einfluss der Filterklasse



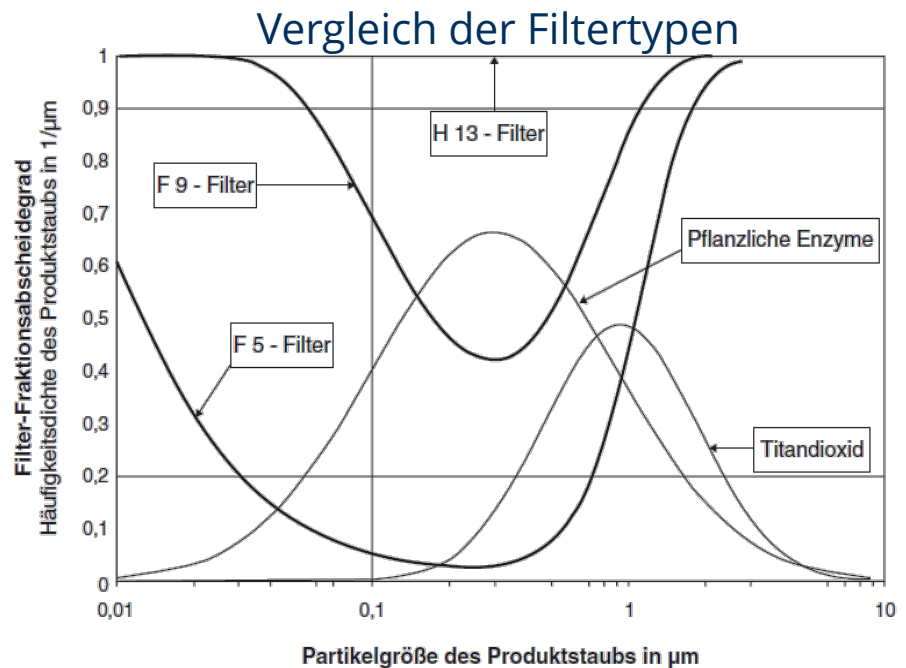
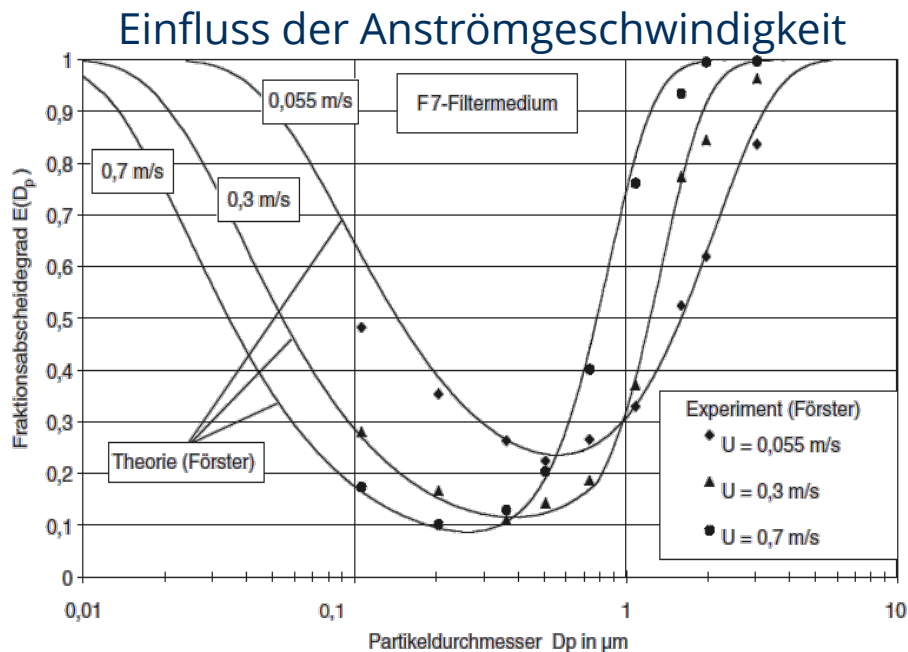
## Materialeinfluss



- baugleiche Filter unterschiedlicher Filterklassen:  
je besser die Abscheidung umso höher der Druckverlust
- baugleiche Filter derselben Filterklasse:  
Membranfilter mit geringerem Druckverlust als Glasfilter

# Abscheidekurven

## Trennfunktionen



- Darstellung als Abscheidegrad oder logarithmierter Penetrationsgrad
- Trennfunktionen sind abhängig von den Betriebsbedingungen
- *most penetrating particle size* (MMPS) variiert zw. Filtern und mit Versuchsbedingungen

Bildquelle: L. Gail & U. Gommel (Hrsg.): *Reinraumtechnik*, 4. Aufl., Springer, Heidelberg, 2018; Abb. 5.16 & 5.18

## **7.4 Herstellung reiner Gase**

*– luftgetragene molekulare Verunreinigungen –*

# Luftgetragene molekulare Verunreinigungen

(engl.: *airborne molecular contamination – AMC*)

- Klassifizierung nach Wirkung
  - Geruchsstoffe
  - korrosive & reaktive Gase (Säuren, Basen)
  - Giftstoffe / Gefahrstoffe
  - kondensierbare Stoffe (→ Beschichtung von Oberflächen)
  - dotierbare Stoffe (→ Diffusion in Werkstoffe)
- stoffliche Klassifizierung
  - N-Verbindungen:  $\text{NH}_3$ , Amine
  - Säuren:  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ;
  - VOC:  $\text{CH}_4$ , Toluol, Siloxan, Phosgen
  - Ozon
- Quellen
  - Außenluft & Prozessgase
  - Flüssigkeiten: Leckagen, Kondensate, Schweiß, Filterprüfaerosole
  - Feststoffe: flüchtige Bestandteile, chemische Reaktion mit anderen AMC

# Adsorptionsmittel



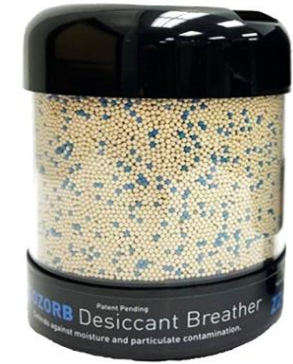
Aktivkohle



Aktivkohlepellets



imprägniertes  $\text{Al}_2\text{O}_3$



Zeolithgranulate



$\text{Al}_2\text{O}_3$  mit  $\text{KMnO}_4$   
imprägniert  
unbeladen



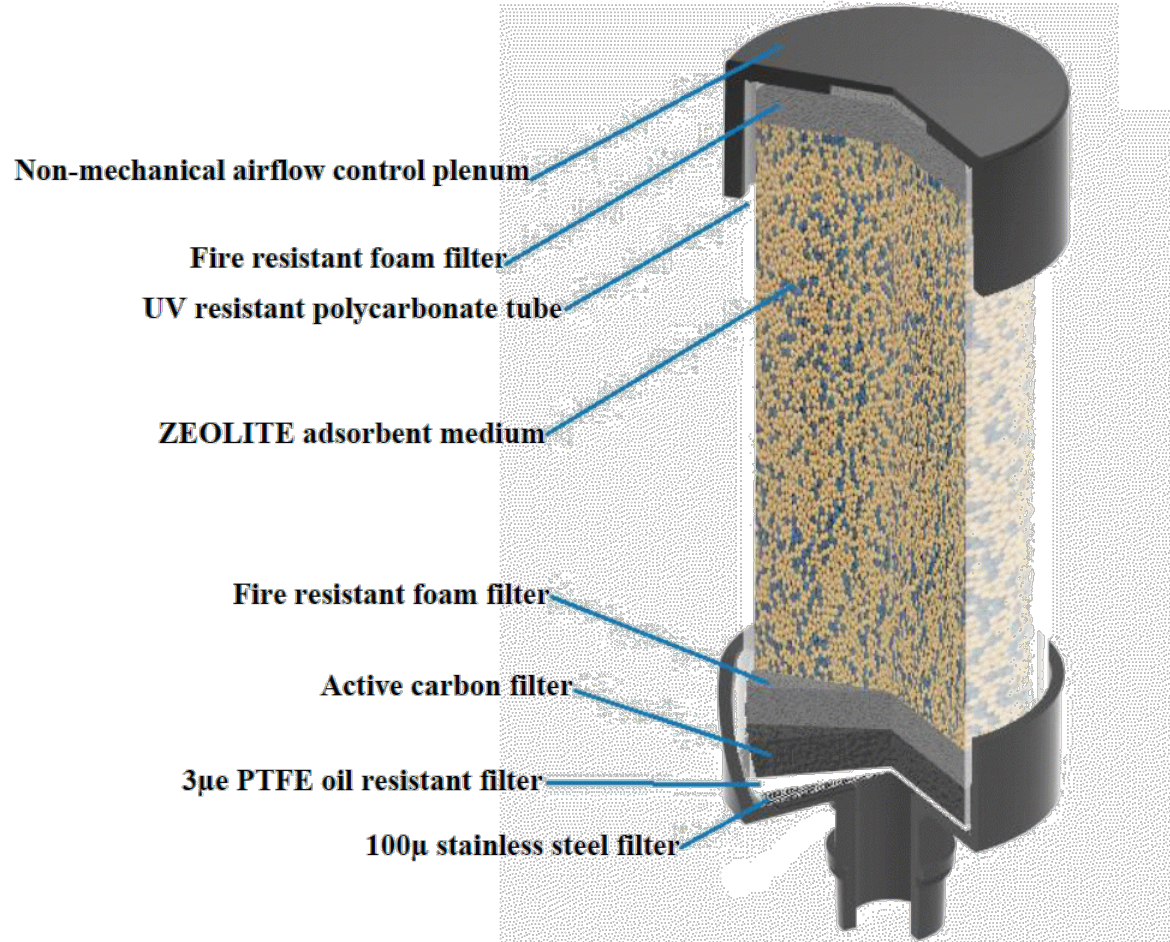
$\text{Al}_2\text{O}_3$  mit  $\text{KMnO}_4$   
imprägniert  
teilbeladen



$\text{Al}_2\text{O}_3$  mit  $\text{KMnO}_4$   
imprägniert  
erschöpft

Bildquellen: *Gas-Phase Filtration Solutions*, Brochure GFP-1-203A, AAF International, Louisville, KY/USA, **2024**.  
*ZEOSORB® Desiccant Breathers* (Brochure), Drytech Inc., Cookstown, NJ/USA, **2023**.

# Adsorptionssäule mit Zeolithgranulat



Bildquelle: ZEOSORB® Desiccant Breathers (Brochure), Drytech Inc., Cookstown, NJ/USA, 2023.

# 7.5 Herstellung reiner Gase

– *Literaturverweise* –

# Literatur zum Kapitel 7

## Bücher und Buchkapitel:

- L. Gail & U. Gommel (Hrsg.): Reinraumtechnik, 4. Auflage, Springer, Heidelberg, **2018**; [doi:10.1007/978-3-662-54915-5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-54915-5)  
→ Kap. 5
- P. Kulkarni, P. A. Baron, K. Willeke (eds.): *Aerosol measurement: Principles, techniques, and applications*, 3<sup>rd</sup> ed.; John Wiley & Sons, **2011**; [doi: 10.1002/9781118001684](https://doi.org/10.1002/9781118001684)  
→ chapt. 36

## Normen / Richtlinien:

- DIN EN 779:2012 Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik, Bestimmung der Filterleistung
- DIN EN 1822-1:2019 Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) – Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung
- DIN EN ISO 16890-1:2017 Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik – Teil 1: Technische Bestimmungen, Anforderungen und Effizienzklassifizierungssystem, basierend auf dem Feinstaubabscheidegrad (ePM)