

Lehrveranstaltung
Reine Technologien

Folien zur Vorlesung

NUR ZUM PERSÖNLICHEN GEBRAUCH!

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

5. Prüfaerosole

Lernziele zu Kapitel 5

- Wissen:
 - Prüfaerosole: Beispiele und Anforderungen
 - Prinzipien der definierten Aerosolgenerierung
 - Funktionsweise und Bauformen der Flüssigkeitsdispergierung
 - Funktionsweise und Bauformen der pneumatischen Pulverdispergierung
 - Formen der Aerosolkonditionierung

5.1 Prüfaerosole

– Überblick –

Zweck von Prüfaerosolen

- Prüfaerosole:
 - künstlich erzeugtes Aerosol mit definierten Eigenschaften
 - häufigste Prüfgrößen: Partikelgrößenverteilung, Konzentration
 - weitere Prüfgrößen: Partikelmorphologie, Ladungszustand, Benetzbarkeit, ...
- Verwendungen
 - Entwicklung und Validierung von Messtechnik
 - Kalibrierung / Qualifizierung von Messgeräten
 - Überprüfung von Filtermedien
 - Inhalationstoxikologie
 - Aerosolforschung
 - Korrosionsprüfung
 - Abriebprüfung von Oberflächenbeschichtungen
 - ...



Anforderungen und Beispiele

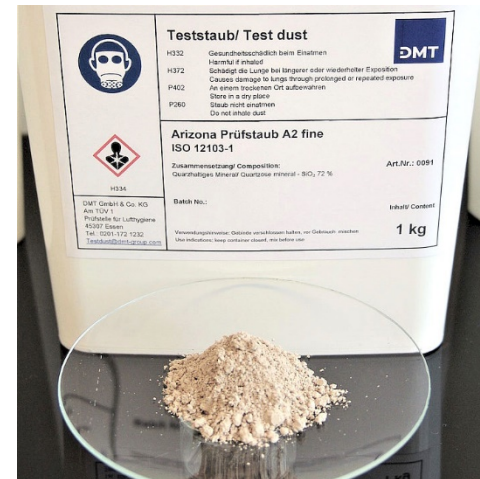
- Anforderungen
 - reproduzierbarer Aerosolzustand
 - zeitlich stabiler Aerosolzustand → relevante Zeitskala ist abhängig von der Anwendung
 - wenn möglich: Variation des Prüfparameters
 - *teilweise*: bestimmte Materialeigenschaften (z.B. Härte, Löslichkeit)
- oft gefordert:
 - ungeladene, kugelförmiger Partikel mit einheitlicher, definierter Größe und zeitlich konstanter Konzentration
- Beispiele
 - Tröpfchenaerosole aus öligen Flüssigkeiten (DEHS, DOP, PAO, Motorenölen)
 - Salzaerosole (NaCl, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NaF)
 - Latexaerosole
 - Rußaerosole
 - Prüfstäube (z.B. *Arizona test dust*, Talkum, eskal 300, z.T. genormt - ISO 12103-1)

Prüfaerosole: Testsubstanzen



Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat (DEHS)

Summenformel: $C_{26}H_{50}O_4$
Dampfdruck: $< 1 \text{ Pa}$ (25°C)
Siedetemper.: $232\text{-}249^\circ\text{C}$
Flammpunkt: $>200^\circ\text{C}$



Arizona test dust

(Society of Automotive Engineers, 1943)

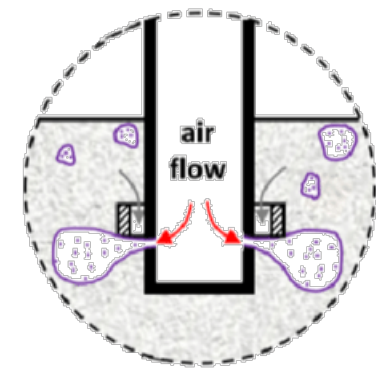
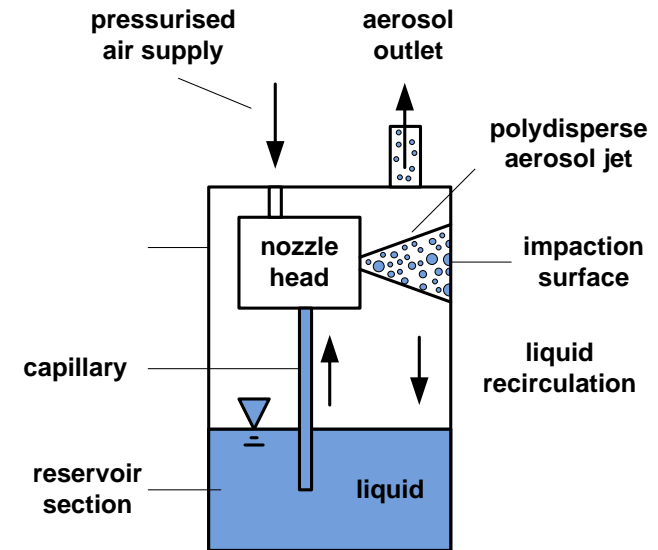
"The material shall be dust that settles out of the air behind or around tractors or implements operating in the Salt River Valley, Arizona. It is recommended that this dust be caught on a canvas cloth."

5.2 Prüfaerosole

– Aerosolgenerierung –

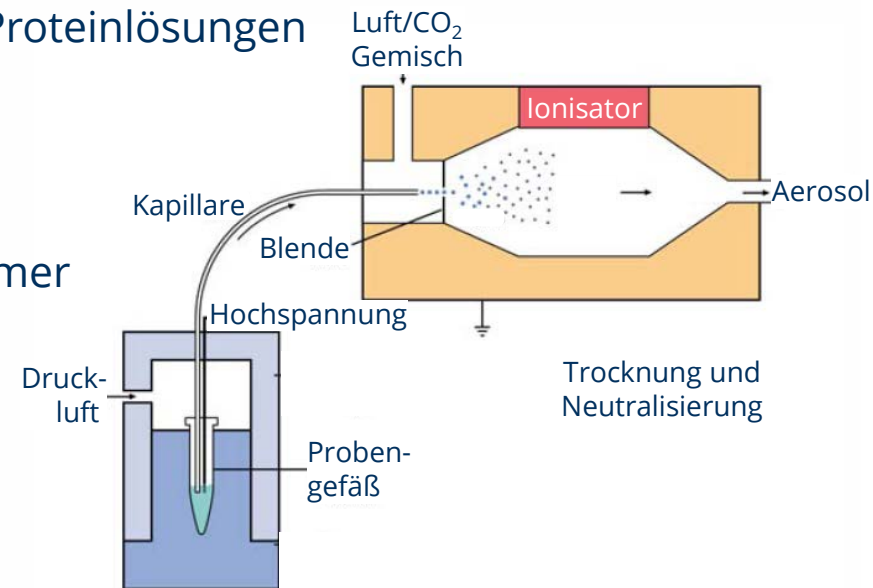
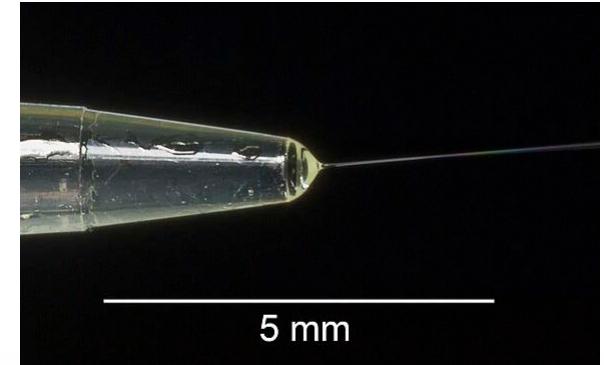
Pneumatische Flüssigkeitsdispergierung

- Grundprinzip:
 - Zerstäuben von Flüssigkeit in einem Trägergas (plus Trägheitsabscheidung grober Tropfen)
- Flüssigkeiten:
 - reine Öle
 - Salzlösungen, hoch verdünnte Suspensionen
- technische Umsetzung:
 - offene Zweistoffdüse:
Ansaugen und Zerstäuben der Flüssigkeit im Unterdruck einer Gasströmung
→ Tropfen in Gasphase
danach Prallplatte / Zyklon
 - Laskin-Prinzip:
getauchte Zweistoffdüse → Tropfen in Gasblase (Prall)abscheidung grober Tropfen in der Blase
→ sehr enge Fraktionen in geringen Konzentrationen



Elektro-Zerstäubung

- Grundprinzip:
 - Zerstäuben von elektrisch leitfähiger Flüssigkeit durch ein Hochspannungsfeld (basierend auf den Zerfall des Taylor-Kegels);
 - Aerosolabtransport in einem Trägergas
- Flüssigkeiten:
 - verdünnte Suspensionen, Emulsionen, Proteinlösungen
- technische Umsetzung:
 - Einstoffdüse mit elektrischem Feld
 - Druckluft getriebener Kapillarfluss
 - Hochspannung zw. Flüssigkeit und Kammer
 - am Kapillaraustritt: Taylor-Kegel
→ Zerfall in sehr feine Tröpfchen
 - Mitnahme im Trägergas (Luft / CO₂)
 - unipolar geladene Aerosolpartikel, für Prüfaerosole: Neutralisierung

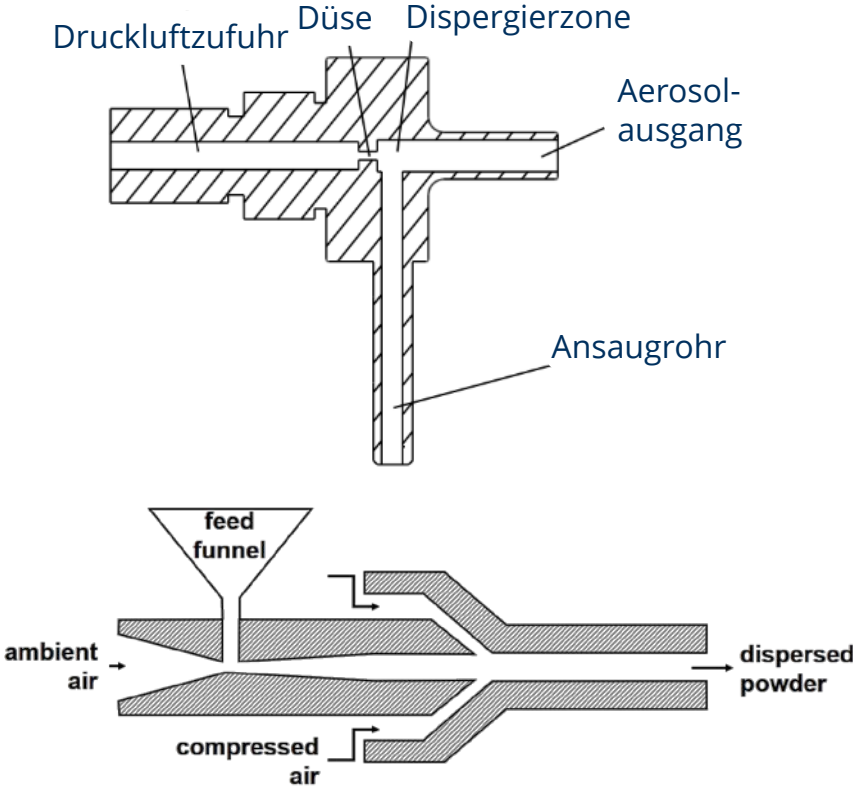


Pneumatische Feststoffdispergierung (1)

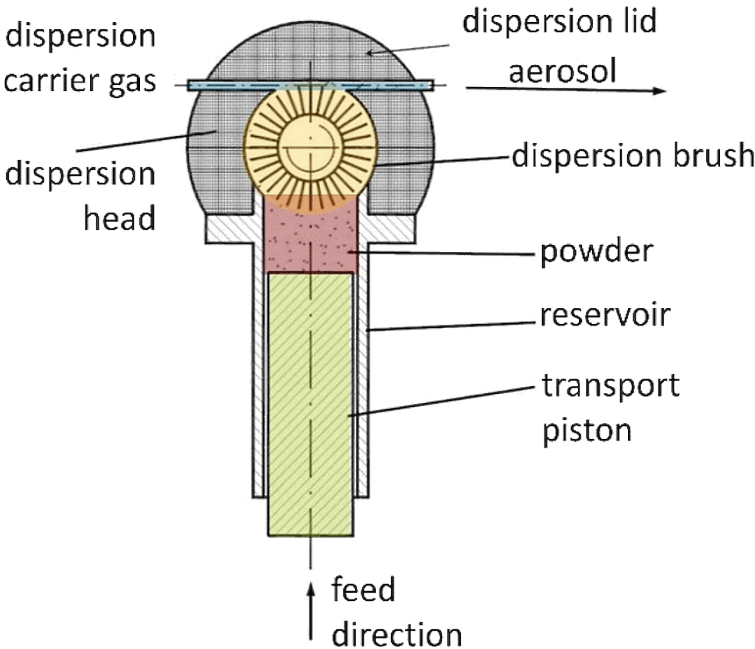
- Grundprinzip:
 - Dosieren und Dispergieren eines Pulvers in einer schnellen Gasströmung
- Dosierung mittels Förderband, rotierendem Ringspalt oder Vibrationsrinne
 - Ziel: zeitlich konstante Zufuhr eines definierten Massestroms
- Dispergierung im Treibstrahl (engl.: *air jet dispersion*)
 - Ansaugen des Feststoffs durch Unterdruck einer Gasströmung
 - Dispergieren des Feststoffs beim Beschleunigen in der Gasphase
 - verschiedene Bauformen mit unterschiedlicher Dispergierbeanspruchung
- Rotationsbürstengenerator (RBG)
 - Dosierung und Dispergierung in einem Apparat
 - Dosierung: konstanter Vorschub eines Pulverpfropfens
 - Dispergierung: Abschaben des Pfropfens mit einer Drahtbürste und anschließendes „Ausblasen“ der Bürste durch Gasströmung, weitere Dispergieren des Feststoffs beim Beschleunigen in der Gasphase

Pneumatische Feststoffdispertierung (2)

Treibstrahldispertierer

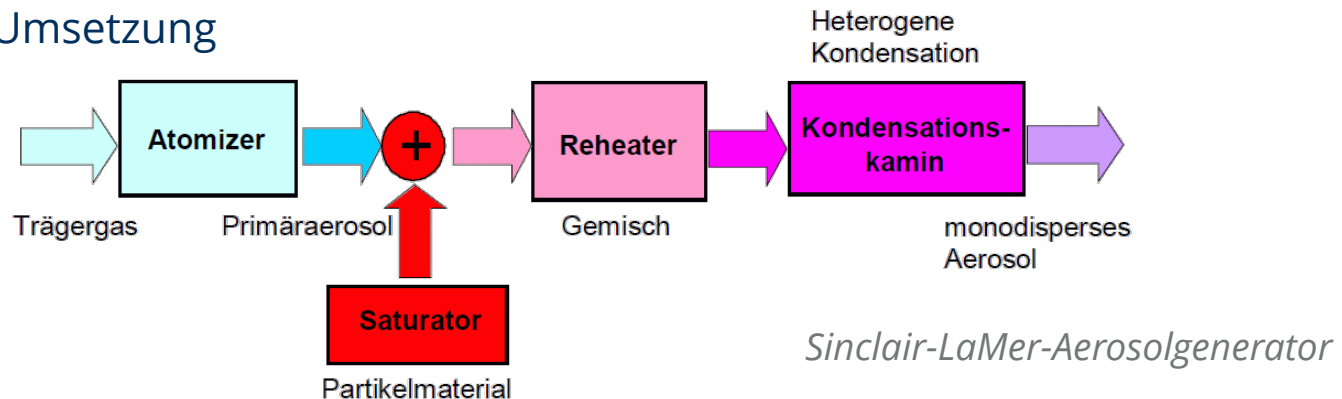


Rotationsbürstengenerator



Heterogene Kondensation

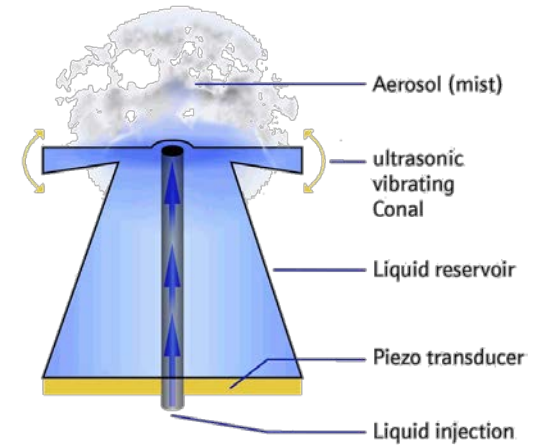
- Grundprinzip:
 - heterogene Kondensation eines Dampfes auf einem feinen Salzaerosol
- technische Umsetzung



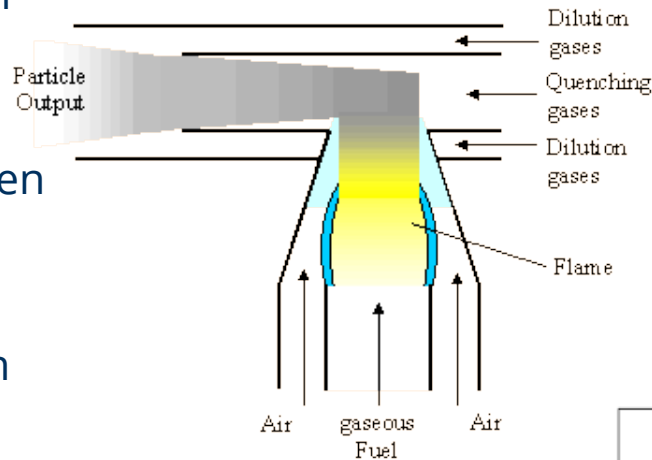
- Salzaerosol (ca. $0.1 \mu\text{m}$) durch pneumatisches Zerstäuben (*atomiser*)
 - Einblasen des Aerosols in warme Flüssigkeit (*saturator*)
 - Aufheizen (*reheater*)
 - heterogene Kondensation in einem luftgekühlten Kamin (*condensation chimney*)
- Stoffsysteme
 - Salzkern: NaCl
 - Kondensat: DEHS, DOP, PAO, Paraffin, Stearinsäure, Carnaubawax

Weitere Aerosolgeneratoren

- akustisches Zerstäuben

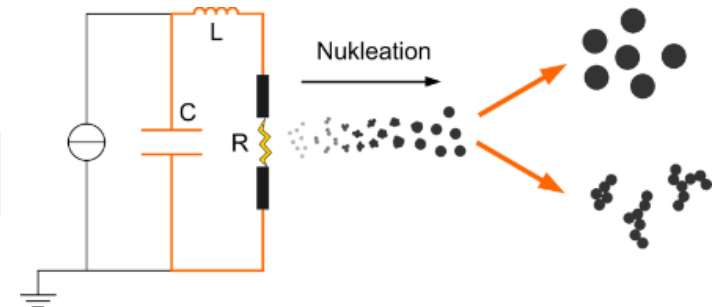


- Flammenrußgeneratoren

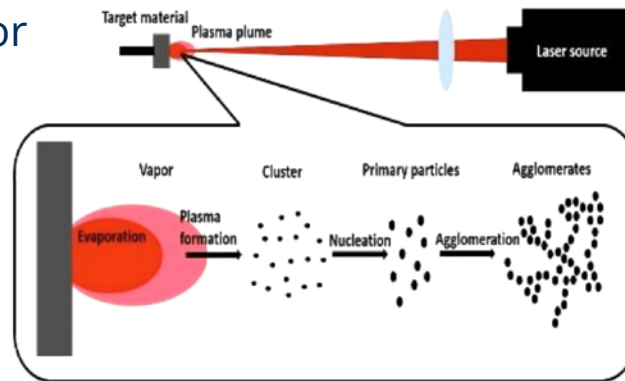


- Gasphasengeneratoren

- Funkengenerator



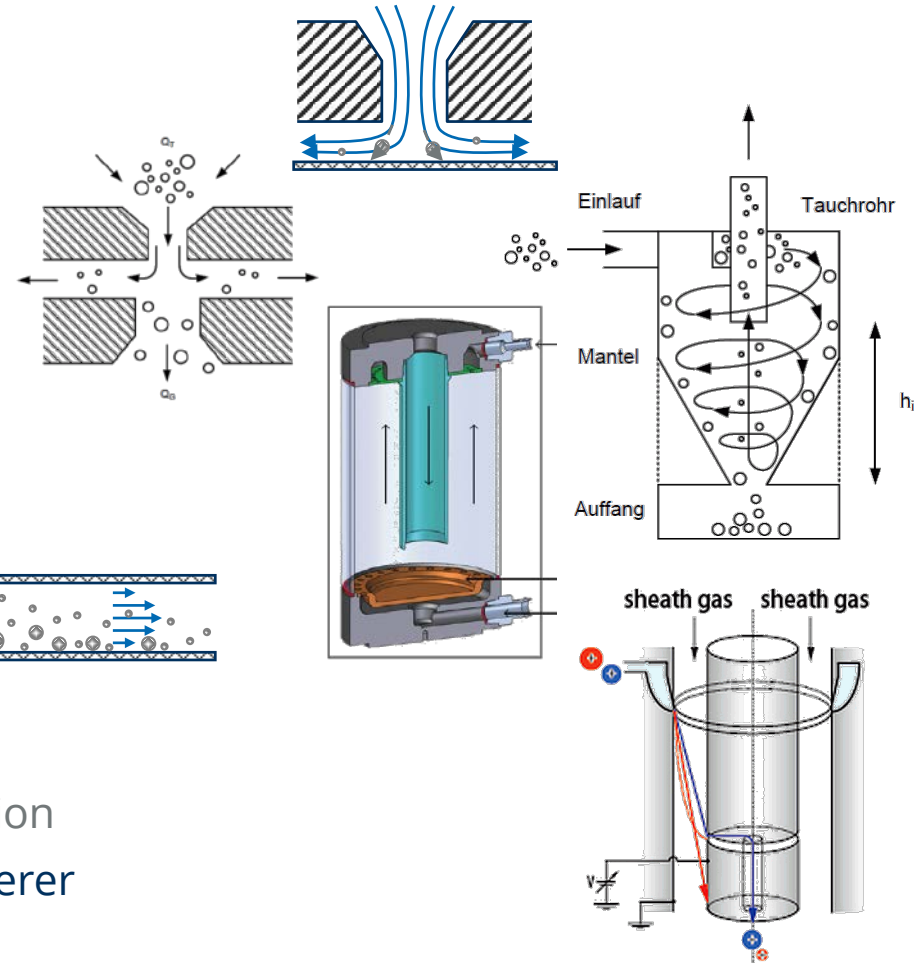
- Laserablation



5.3 Prüfaerosole – *Konditionierung* –

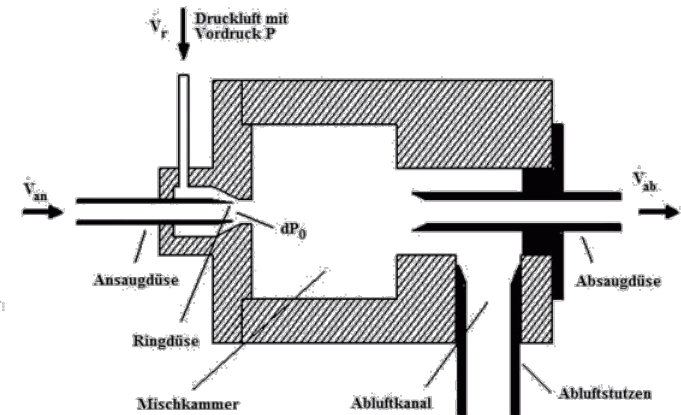
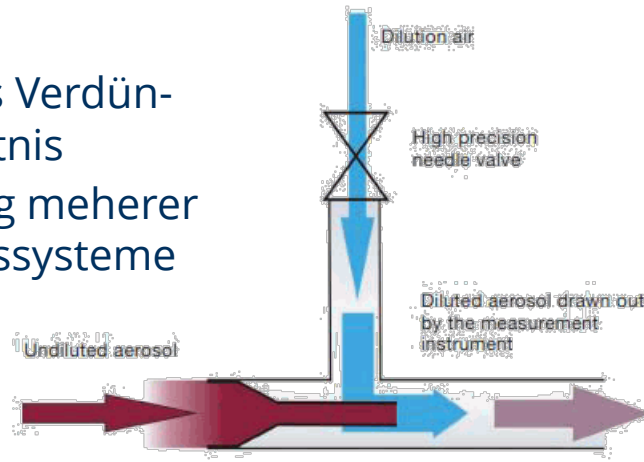
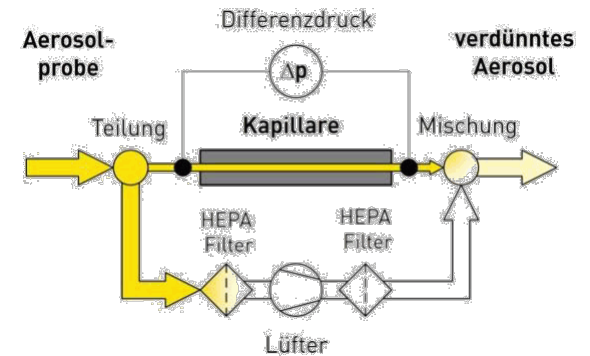
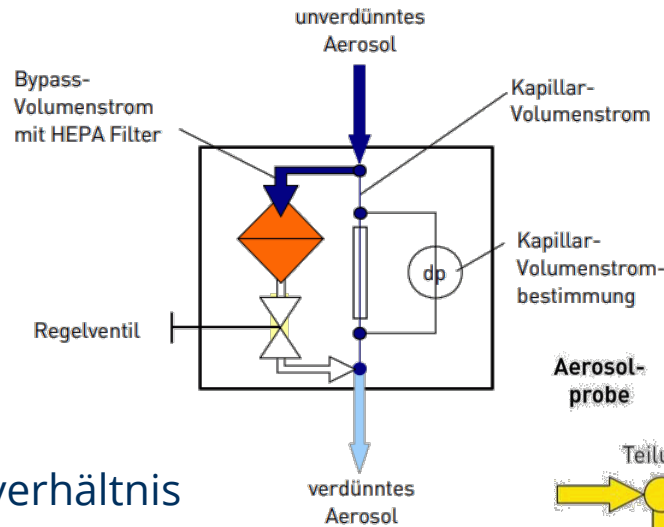
Klassierung

- Trägheitsklassierung
 - Impaktor (Prallplatte)
Abtrennung des Grobgutes
 - virtueller Impaktor
Abtrennung des Grobgutes
 - Aerozyklon
Abtrennung des Grobgutes
- Strömungsklassierung/Sedimentation
 - Gegenstromklassierung
 - Elutriationskanäle
→ Abtrennung des Grobgutes
- elektrostatische Klassierung
 - mittels DMA
„Ausschneiden“ einer Mobilitätsfraktion
- Diffusionsabscheider, thermophor. Klassierer
 - Abtrennung der feinen Partikel



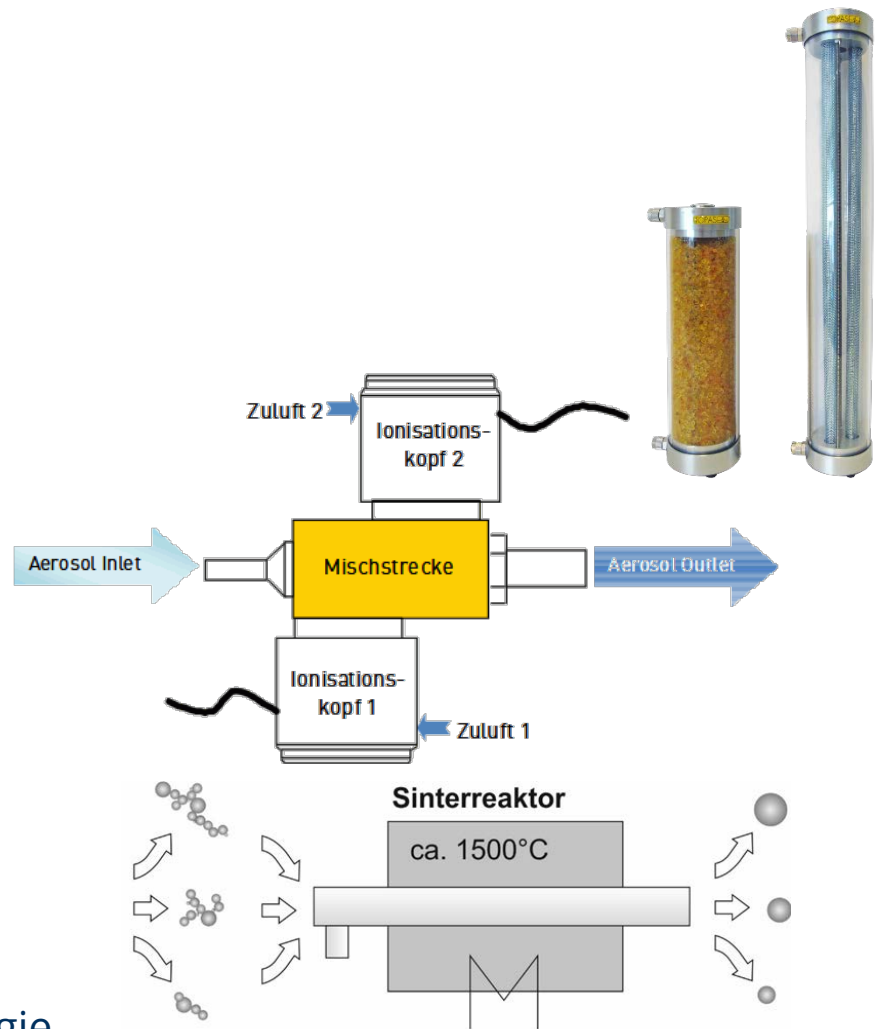
Verdünnung

- verschiedene Prinzipien
 - mit externer Zuluft
 - mit gefilterter Teilluft
- Anforderungen
 - definiertes Verdünnungsverhältnis
 - spezifizierter Volumenstrom
 - kein Einfluss auf PGV
 - zeitliche Konstanz
- sinnvoll
 - Variation des Verdünnungsverhältnis
 - Kaskadierung mehrerer Verdünnungssysteme



Weitere Konditionierungen

- Mischen von Aerosolen
 - z.B. für bimodale Prüfaerosole
 - Strömungsrohre, Mischkammern
- definiertes Einstellen der Luftfeuchte
 - z.B. Trocknen von Sprühaerosolen
 - Diffusionstrockner
- Neutralisierung von Prüfaerosolen
 - z.B. zur Vermeidung von elektrostatischer Abscheidung
 - Zuführung von entgegengesetzt geladenen Ionen
- Oberflächenfunktionalisierung
 - z.B. Einstellung der Benetzbarkeit
 - heterogene Kondensation
- Sinteröfen
 - Veränderung der Aggregatmorphologie



5.4 Prüfaerosole

– *Literaturverweise* –

Literatur zum Kapitel 5

Bücher und Buchkapitel:

- W. C. Hinds, *Aerosol Technology. Properties, behaviour, and measurement of airborne particles*, 2nd ed.; John Wiley & Sons, New York, **1998**.
→ chapt. 3, 11

Normen / Richtlinien:

- VDI 3491-1:2016 Herstellungsverfahren für Prüfaerosole – Grundlagen und Übersicht
- VDI 3491-2:2017 Herstellungsverfahren für Prüfaerosole – Dispergierung von Flüssigkeiten
- VDI 3491-3:2018 Herstellungsverfahren für Prüfaerosole – Dispergierung von Haufwerken und Feststoffen
- VDI 3491-4:2018 Herstellungsverfahren für Prüfaerosole – Kondensationsverfahren
- VDI 3491-5:2021 Herstellungsverfahren für Prüfaerosole – Herstellung mithilfe von Verbrennungsprozessen und anderen thermischen Reaktionen