

Lehrveranstaltung
Partikelmesstechnik

Folien zur Vorlesung

NUR ZUM PERSÖNLICHEN GEBRAUCH!

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

1. Aufgaben der PMT in der Verfahrenstechnik

Lernziele zu Kapitel 1

- Wissen:
 - Grundbegriffe zur Kennzeichnung disperser Systeme
 - Einordnung der Begriffe *Produktmodell* und *Prozessmodell*
- Verständnis:
 - Relevanz des Dispersitätszustandes für die Verarbeitung, Anwendung und physiologische Wirkung disperser Systeme
 - Zusammenhang zwischen den strukturellen Eigenschaften einzelner Partikel mit deren physikalischen Eigenschaften und dem Verhalten disperser Systeme
 - Die konkreten Aufgaben und Herausforderungen der Partikelmesstechnik variieren von Prozess zu Prozess und von Produkt zu Produkt.

1.1 Aufgaben der PMT

- *Disperse Systeme* -

Einteilung disperser Stoffsysteme

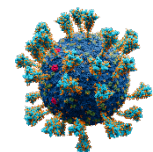
nach Aggregatzustand der dispersen Phase

kont. Phase	disperse Phase	Kategorie	Beispiele
gasförmig	fest	Aerosol Schüttgut	Rauch, Staub Sand, Kies, Holzspäne
	flüssig	Aerosol	Nebel, Spray
flüssig	fest	Suspension Paste	Anstrichfarbe, Schlamm Zahnpaste, Schleifpaste
	flüssig	Emulsion	Salben, Cremes, (Milch)
	gasförmig	Blasensystem Schaum	in Flotationsbecken Milchschaum
	<i>gemischt</i>	<i>Suspo-Emulsionen</i> <i>kompl. Formulierung</i>	<i>Sonnencreme</i> <i>Softeis</i>
fest	fest	Kompositwerkstoffe Legierungen & Gesteine	Kunststoff, Faserverbundwerkst. Granit, Beton
	flüssig	organisches Gewebe feste Emulsion	Bakterien, Hefezellen Butter
	gasförmig	poröser Festkörper Schwamm (fester Schaum)	Aktivkohle, Zeolithe, Kieselgele Metallschäume, Soufflé

Einteilung disperser Stoffsysteme

nach der Partikelgröße (differenziertes Schema)

- grobdispers
 - $> 20 \mu\text{m}$ ($100 \mu\text{m}$)
 - Sand, Kies, Geröll; Pulver zum Sandstrahlen; Hülsenfrüchte, Getreidekörner, Grieß; Cornflakes
- feindispers
 - $1 \mu\text{m} \dots 20 \mu\text{m}$ ($100 \mu\text{m}$)
 - Schluff; Glimmerplättchen, feinste Schleifkörper; Nebeltröpfchen; rote Blutkörperchen, Milchtröpfchen; Pollen, Bakterien
- kolloiddispers:
 - $1 \text{ nm} \dots 1 \mu\text{m}$
 - kolloidales Au, Casein-Mizellen, Ruß, Pigmente, Miniemulsionen
- nanodispers:
 - $1 \text{ nm} \dots 100 \text{ nm}$
 - transparente Buntpigmente, Mikroemulsionen, Ultrafeinstaub, Viren
- molekulardispers:
 - einzelne (Makro-)Moleküle (Proteine), i.d.R. $< 10 \text{ nm}$



1.2 Aufgaben der PMT

– technische Relevanz der dispersen Eigenschaften –

Zur Erinnerung: Physikalische Abhängigkeiten

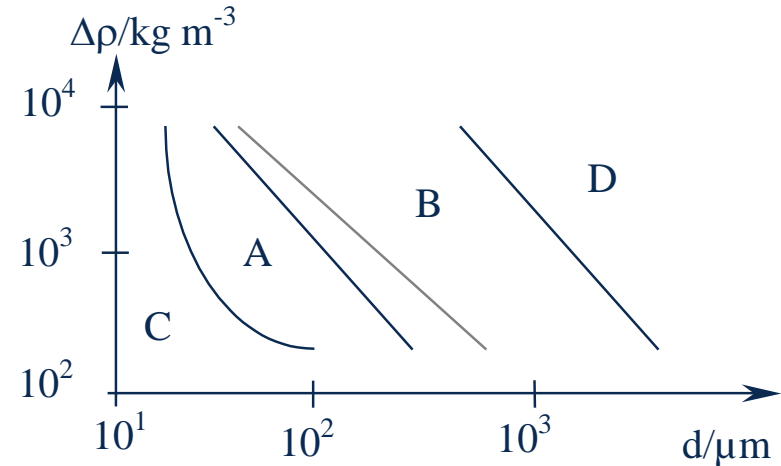
- Permeabilität von Schüttungen:
$$r = K' \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot S_V^2$$
- Fluidisierung von Schüttungen:
$$Re_{Sch,WP}^* = \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot K}{C^2} \cdot \frac{\varepsilon_{WP}^3}{(1 - \varepsilon_{WP})^2} \cdot Ar} - 1 \right) \cdot \frac{C}{2 \cdot K}$$
- diffusiver Stofftransport:
$$D_P = \frac{kT}{3\pi\eta x}$$
- Stoffübergang an Kugeln:
$$Sh = \frac{\beta \cdot x}{D} = 2.0 + 0.6 \cdot Re^{0.5} \cdot Sc^{0.3}$$
- Lichtschwächung an mikrodisp. Partikeln: $E/L = c_N \cdot C_{ext} \sim c_N \cdot A_{proj} \sim c_N \cdot d^2 \sim c_N/x$
- Lichtstreuung an nanodispersen Partikeln: $I_{sca} \sim c_N \cdot C_{sca} = c_N \cdot \frac{3}{2\pi} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 k^4 V^2 \sim c_N \cdot x^6$

Dispersitätszustand und Produkteigenschaften

- Dispersitätszustand beeinflusst ...
 - die Abscheidecharakteristik der Partikelsysteme
(z.B. bei Entstaubung und Klärung von Abwässern)
 - die Dosierbarkeit von Pulvern
(i.d.R. je feiner die Partikel, desto kohäsiver und schlechter dosierbar)
 - das Fließverhalten von Suspensionen
(z.B. höhere Viskosität infolge von Agglomeration)
 - die optische Eigenschaften von Farbanstrichen
(Farbton, Deckkraft)
 - das Zünd-, Lösungs-, Explosionsverhalten von Stäuben
(je feiner, desto reaktiver)
 - sensorische Eigenschaften
(z.B. „Cremigkeit“, „Frische“ von Eis oder Schokolade)
 - toxikologische Eigenschaften
(z.B. Einatembarkeit, Akkumulation in inneren Organen)
 - Verhalten in der Umwelt
(z.B. Transport in Atmosphäre, Böden, Fließgewässern)

Größeneinfluss auf die Fluidisierbarkeit von Pulvern

- **A (aeratable):**
 - leicht kohäsive Pulver
 - homogene WS, $v_{mB} > v_{WP}$
- **B (bubbly):**
 - nicht kohäsive Pulver
 - Blasenbildung ab WP, $v_{mB} = v_{WP}$
- **C (cohesive)**
 - feine, stark kohäsive Pulver
 - i.d.R. Kanalbildung
 - Hilfsmittel erforderlich
- **D (spouting)**
 - grobe Partikel,
 - beträchtliche Bettbewegung, $v_{mB} < v_{WP}$



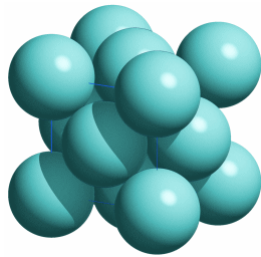
nach:

Geldart, *Powder Technol.*,7:285-292, 1973

v_{mB} = minimale Anströmgeschwindigkeit, bei der Blasenbildung einsetzt

Polydispersitätseinfluss auf die max. Packungsdichte

Kugeln mit einheitlicher
Größe

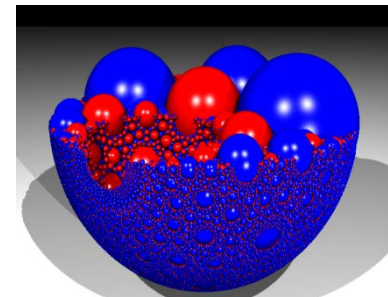


z.B. hexagonal dicht-gepackt

Porosität = 34% ... 26 %

Packungsdichte = 66% ... 74%

unterschiedlich große und/oder
nicht-kugelige Partikel

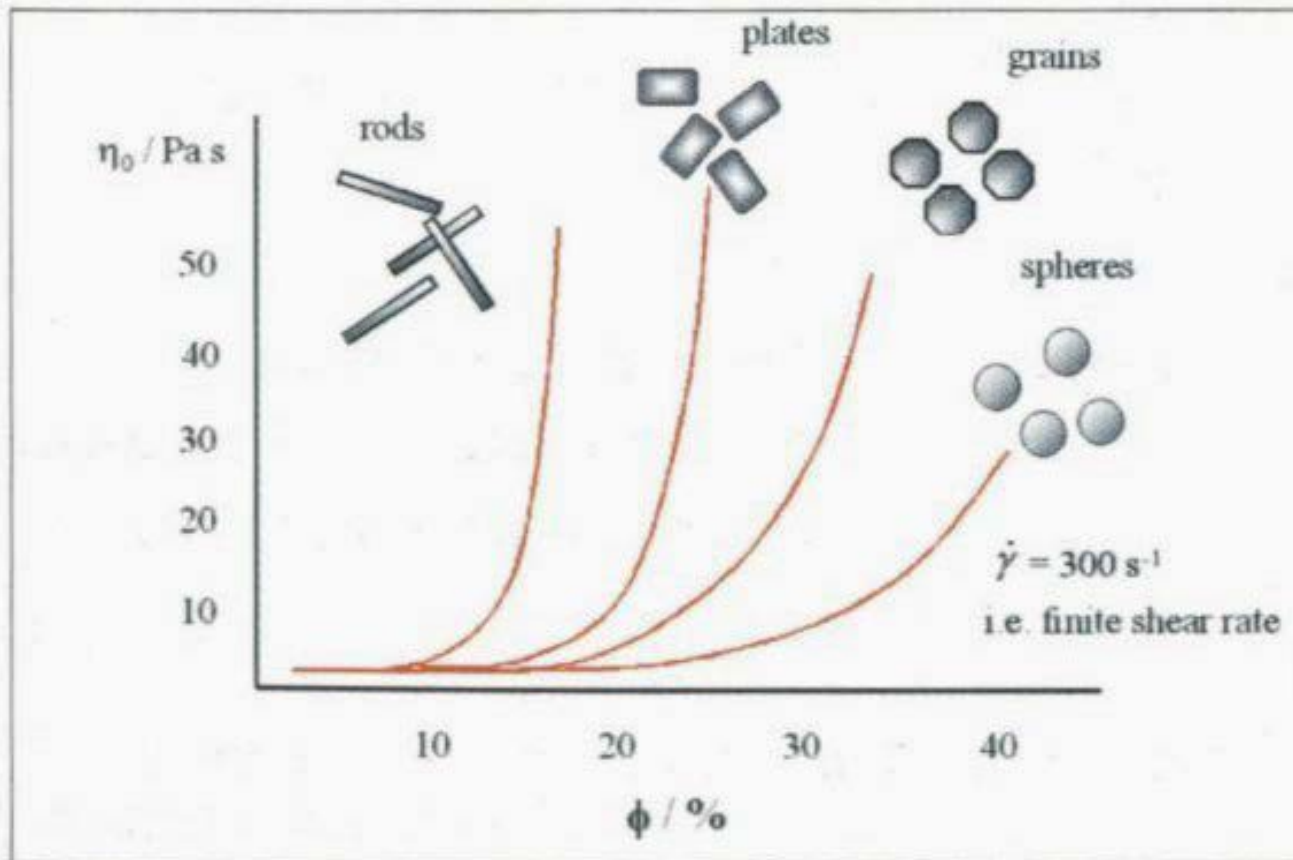


z.B. theoretisch dichteste Kugelschüttung
 $\varepsilon \rightarrow 0$

verdichtete grobdisperse Pulver: $\varphi_{V,S} = \dots 100\%$

unverdichtete kohäsive Pulver: $\varepsilon = \dots 100\%$

Einfluss der Partikelform auf das Fließverhalten von Suspensionen

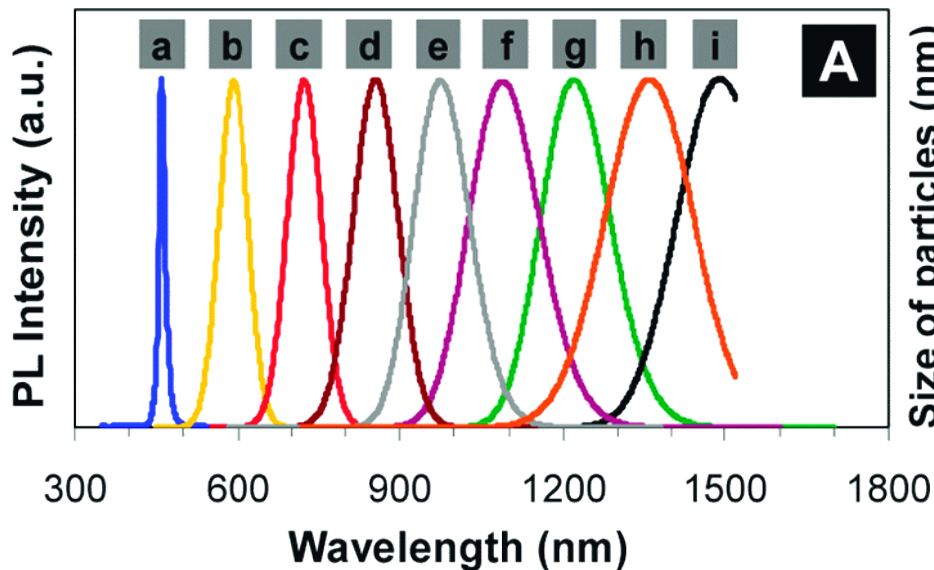


Mr. Alan Rawle, private communication

Quantendots – Größenabhängigkeit der Leuchtfarbe

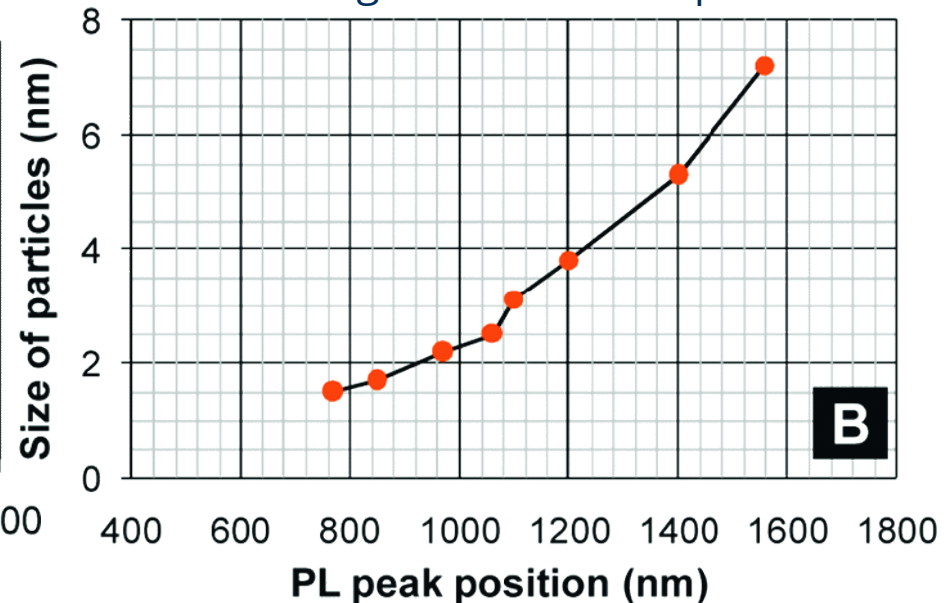
Xie et al., *Chem. Mater.*, 22(13):3820–3822, 2010; doi:10.1021/cm1008653

Photolumineszenzspektren
von Cd_3P_2 -Nanokristallen



(a) <1.5 nm, (b) <1.5 nm, (c) 1.5 nm, (d) 1.8 nm,
(e) 2.4 nm, (f) 3 nm, (g) 4 nm, (h) 5.5 nm, (i) 7.6 nm

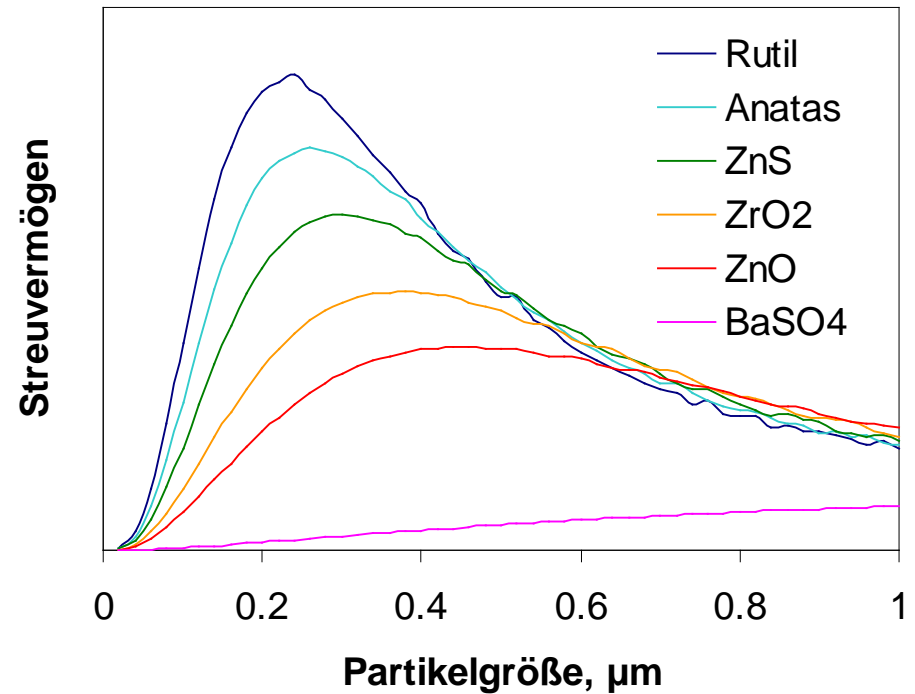
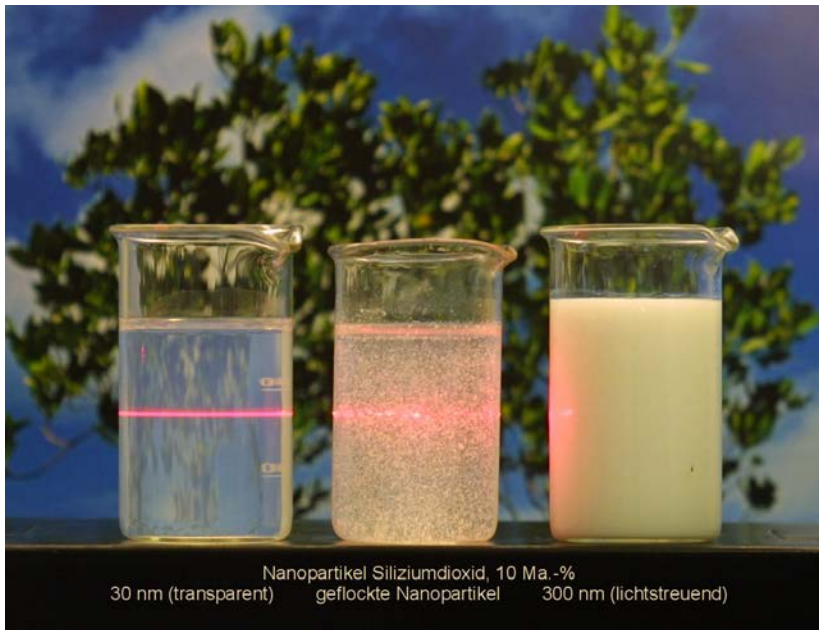
Korrelation zwischen Kristallgröße
und Lage des Emissionspeaks



Photolumineszenzspektroskopie:

Spektralanalyse der phosphoreszierenden Strahlung nach Anregung mit hoch-energetischem, d.h. kurzwelligem, Licht

Transparenz und Deckkraft von Pigmenten



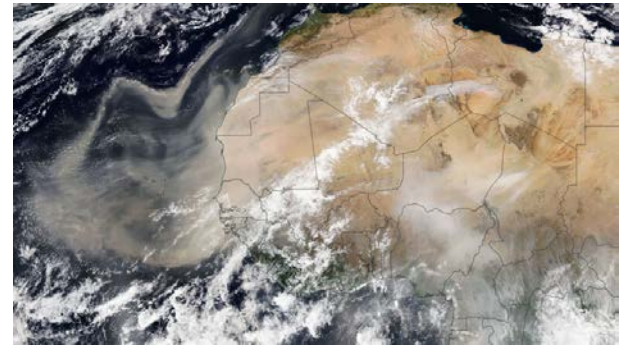
Transportverhalten in der Umwelt

Pollen“wolke“ von Fichten



© blickwinkel / A. Hartl

Saharastaub



© NASA Earth Observatory



© IMAGO / Sylvio Dittrich

1.3 Aufgaben der PMT

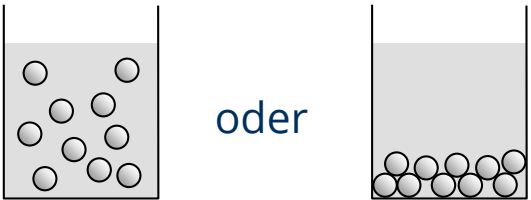
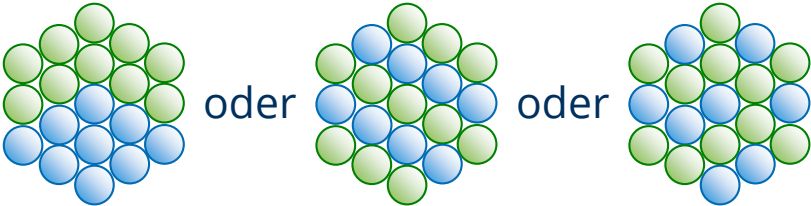
– *Granulometrischer Zustand* –

Mischungs- und Dispersitätszustand

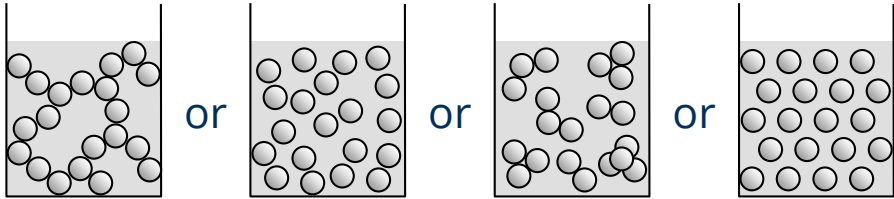
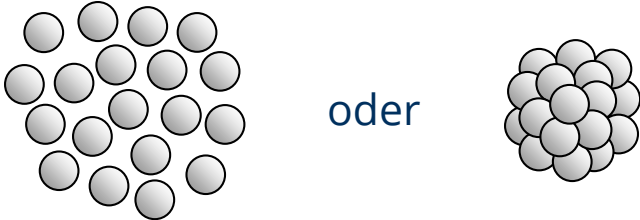
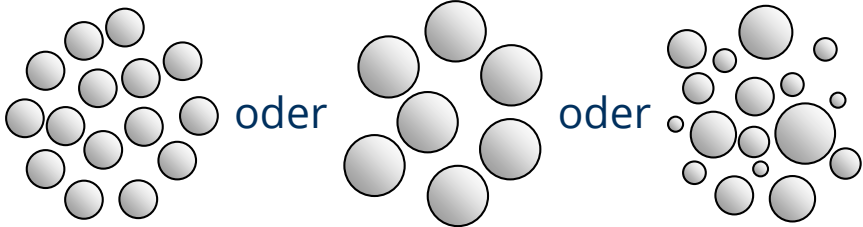
- Mischungszustand:
 - = globaler Ordnungszustand aller dispersen Phasen im Verhältnis zur kontinuierlichen Phase und im Verhältnis zueinander
 - z.B. relevant für folgende Fragen:
 - ζ wie homogen sind Farbpartikel in einer Beschichtung verteilt?
 - ζ wie stark streut der Wirkstoffgehalt in den Tabletten einer Charge?
 - ζ in welchem Maße ist das Fruchtfleisch frisch gepresster Säfte nach einer bestimmten Lagerzeit aussedimentiert?
- Dispersitätszustand:
 - die Feinheit sowie der lokale wie auch der globale Ordnungszustand der dispersen Phase
 - beinhaltet u.a. Aussagen zu:
 - Größe der einzelnen Partikel
 - Form und Porosität der einzelnen Partikel
 - Größe und Struktur agglomerierter Partikelstrukturen
 - Struktur und Verteilung raumfüllender Netzwerke (Schäume, Gele)

Mischungs- und Dispersitätszustand

Mischungszustand



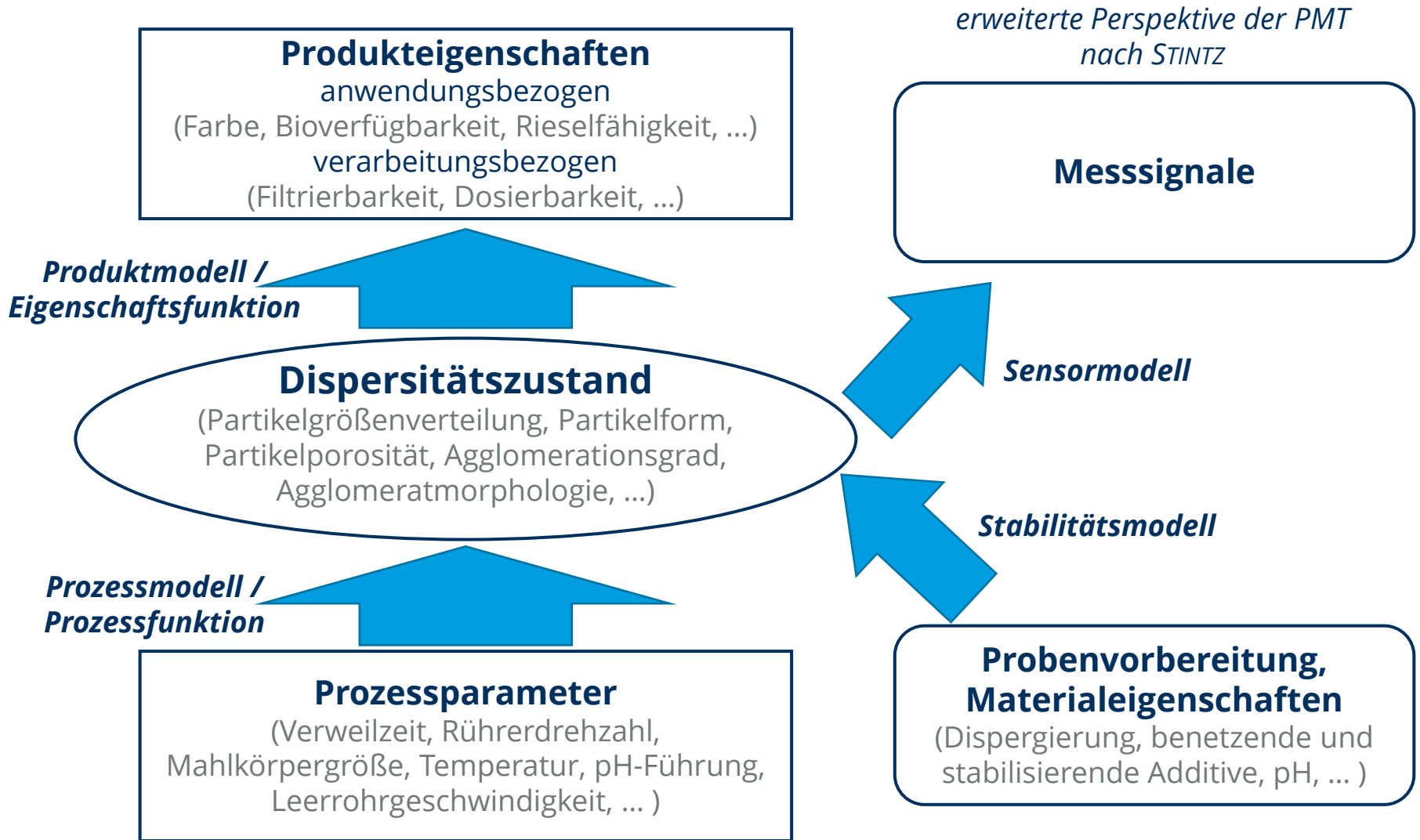
Dispersitätszustand



1.4 Aufgaben der PMT

– Produkt- und Prozessmodell –

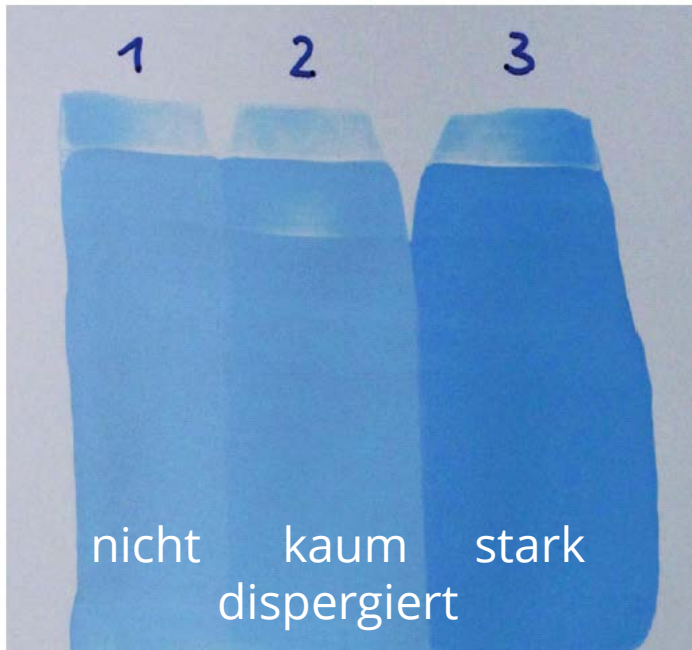
Produkt- und Prozessmodell



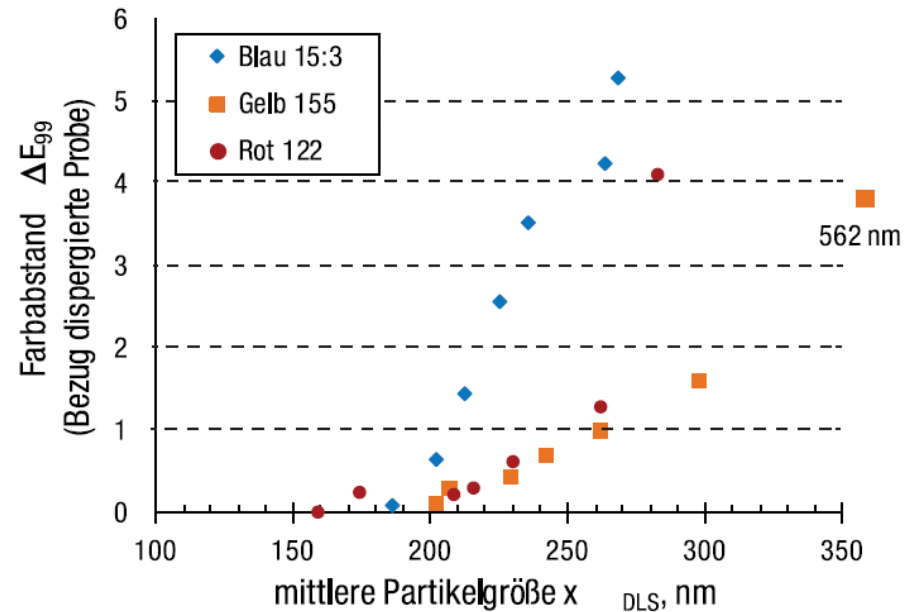
Produktmodell und Prozessmodell

Beispiel: Einfluss der Dispergierung auf die Farbwirkung

Ausstrichtest für ein Blaupigment



Produktmodell: Farbton vs. Partikelgröße



Farbe des getrockneten Anstrichs im Vergleich mit einem Farbnormal

- Ausstrichtest: Dispergieren, Mischen, Ausstreichen, Trocknen, Messen
- Produktmodell: Rückführung auf Eigenschaften der flüssigen Paste

Bilder und Diagramme: Nogowski et al., *Farbe und Lack*, 123(August):42-47, 2018

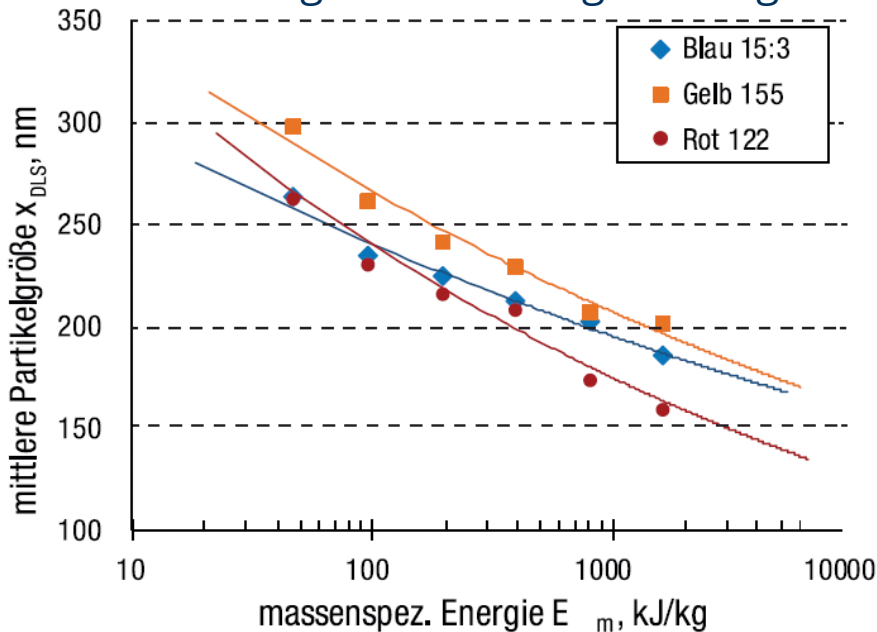


Produktmodell und Prozessmodell

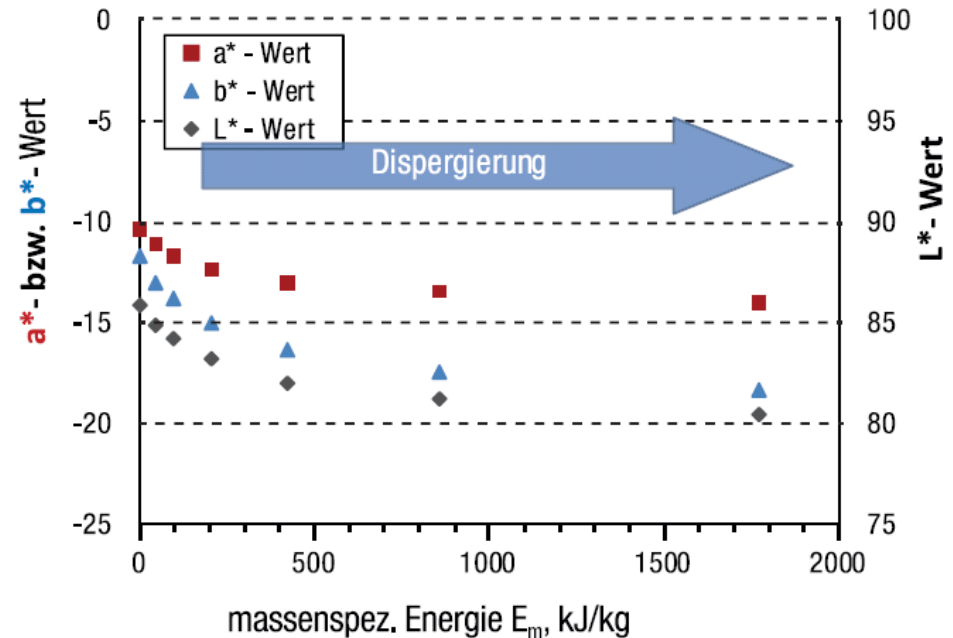
Beispiel: Einfluss der Dispergierung auf die Farbwirkung

Prozessmodell:

Partikelgröße vs. Energieeintrag



Beeinflussung der Produktqualität durch den Prozess



- Dispergierprozess: Scheibendispergierer (Parameter: Geometrie, Zeit & Drehzahl)
- Prozessmodell: Korrelation zw. Prozessparameter und Suspensionseigenschaften

Bilder und Diagramme: Nogowski et al., *Farbe und Lack*, 123(August):42-47, 2018

1.5 Aufgaben der PMT

- typische Aufgaben -

Aufgaben der Partikelmesstechnik im verfahrenstechnischen Kontext

Aufgabe:	Bewertung der Produktreinheit	Charakter. von Zerkleinerungsprozessen	Rezepturoptim. von konzentr. Suspensionen	Monitoring eines Produktstromes
<i>Beispiele:</i>	Aufarbeitung von Kühlschmieremulsionen	Produktkontrolle einer Kalksteinmühle	Farb- oder Schleifpasten	Pigmente und Tropfen in Polymerschmelze
<i>gesuchte Info:</i>	fraktionelle Anzahlkonz.	mittlere Größe + Grobkornanteil	PGV, Grobanteil, Stabilität, Farbstärke, Rheologie	mittlere Größe, Homogenität der Verteilung
<i>Mengenart:</i>	Anzahl	Masse (Volumen)	Masse (Volumen)	Masse (Volumen)
<i>Messproblem:</i>	Partikel in trüben Medium; Statistik	Repräsentanz grober Partikel	hohe Konzentr., Zeiteffekte, nicht nur Größe	hohe Temperatur, hoher Druck, nicht nur Größe
<i>Messmethode:</i>				

1.6 Aufgaben der PMT

– *Literaturhinweise* –

Literatur zum Einstieg

Überblick zur Partikelmessstechnik

Bücher und Buchkapitel:

- H. Schubert (Hrsg.), *Handbuch der Mechanischen Verfahrenstechnik, Bd. 1*; Kap. 2, S 7-100; Wiley-VCH, Weinheim, **2003**; [doi:10.1002/3527603352](https://doi.org/10.1002/3527603352)
- M. Stieß, *Mechanische Verfahrenstechnik - Partikeltechnologie 1*; Kap.2, S. 9-95; Springer, **2009**; [doi:10.1007/978/3-540-32552-9](https://doi.org/10.1007/978/3-540-32552-9)
- H. G. Merkus, *Particle size measurements. Fundamentals, practice, quality*. In: *Particle technology series*, vol. 17. Springer, **2009**; [doi:10.1007/978-1-4020-9016-5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9016-5)

Artikel und Normen:

- R. Hogg, Issues in particle sizing. *KONA Powder Part. J.*, 26:81-93, **2008**; [doi:10.14356/kona.2008009](https://doi.org/10.14356/kona.2008009)
- *DIN 66160:1992*, Messen disperser Systeme – Begriffe.
- *DIN 66161:2010*, Partikelgrößenanalyse – Formelzeichen, Einheiten.