



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

CAD-unterstützte Bestimmung des effektiven Dispergiervolumens beim Ultraschalldispergieren

Carina Gerlach¹, Karsten Berndt², Prof. Dr.-Ing. Olfa Kanoun¹, Prof. Dr.-Ing. Maik Berger²

¹ Professur Mess- und Sensortechnik, ² Professur Montage- und Handhabungstechnik



**Professur Mess-
und Sensortechnik**

Prof. Dr.-Ing. Olfa Kanoun

Email: mst@etit.tu-chemnitz.de

Tel: +49 (0) 371 531 – 24480

Fax: +49 (0) 371 531 – 24489

www.tu-chemnitz.de/etit/messtech



**Professur Montage-
und Handhabungstechnik**

Prof. Dr.-Ing. Maik Berger

Email: mht@mb.tu-chemnitz.de

Tel: +49 (0) 371 531 – 32841

Fax: +49 (0) 371 531 – 23739

www.tu-chemnitz.de/mb/mht

Agenda

- 1 Agglomeration nanoskaliger Füllpartikel
- 2 Ultraschalldispergieren mittels Sonotrode
- 3 Dispergiergleichung
- 4 Analytische Bestimmung des effektiven Dispergiervolumens
- 5 CAD-unterstützte Methode zur Bestimmung des effektiven Dispergiervolumens
- 6 Vergleich beider Methoden

Referentin Carina Gerlach

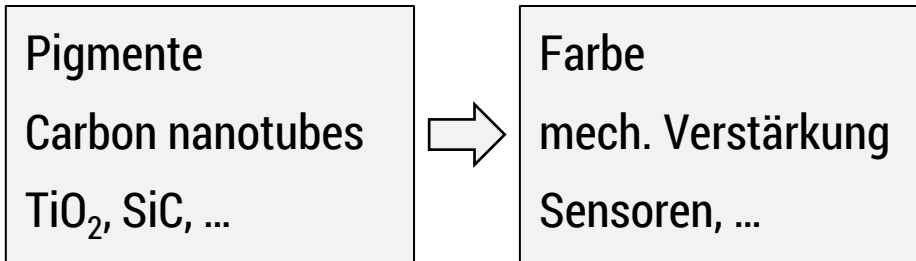
TU Chemnitz / Professur Mess- und Sensortechnik

Reichenhainer Straße 70, 09126 Chemnitz

0371 531 - 39177

carina.gerlach@etit.tu-chemnitz.de

1 Agglomeration nanoskaliger Füllpartikel



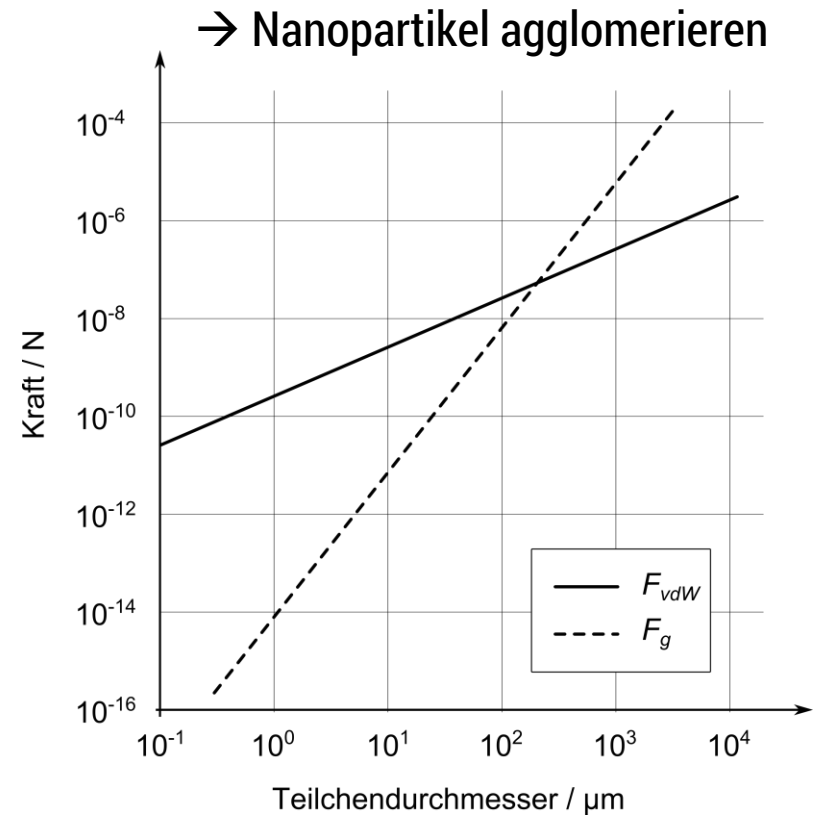
Anziehungskraft und Gravitationskraft zwei benachbarter Teilchen

$$F_{vdW} = \frac{A_H \cdot d}{24 \cdot a^2}$$

$$F_g = \frac{\pi}{6} \cdot \rho \cdot g \cdot d^3$$

a Teilchenabstand
 A_H Hamakerkonstante
 d Teilchendurchmesser
 F_{vdW} van der Waals-Kraft

F_g Gravitationskraft
 g Gravitationskonstante
 ρ Teilchendichte

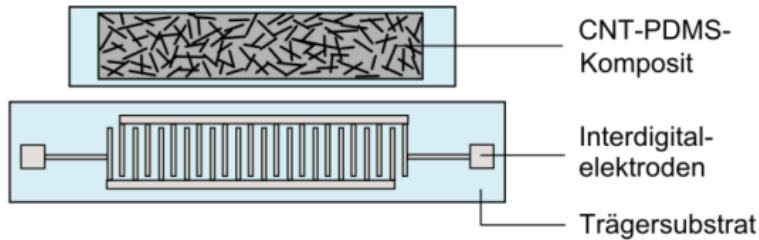


Teilchengrößenabhängigkeit der van-der-Waals-Kraft F_{vdW} und Gravitationskraft F_g von TiO_2 -Partikeln [nach J. Winkler: Dispergieren von Pigmenten und Füllstoffen, S.44, 2010]

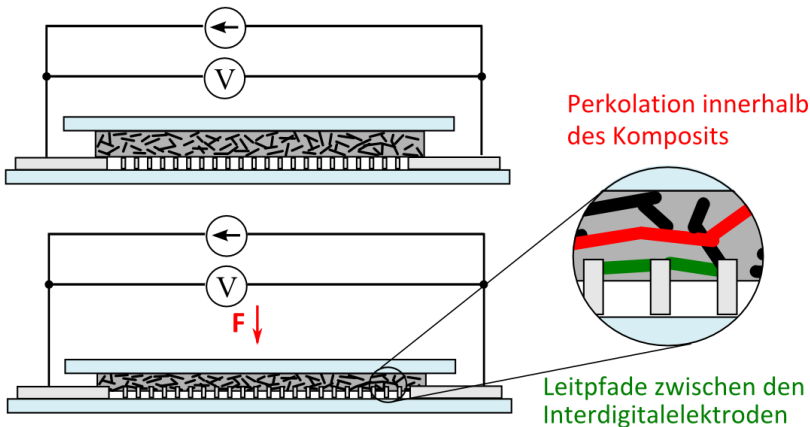
1 Agglomeration nanoskaliger Füllpartikel

Sensortechnische Anwendung von Nanopartikeln
z.B. CNT-Polymer-Komposit basierter Drucksensor

Draufsicht:

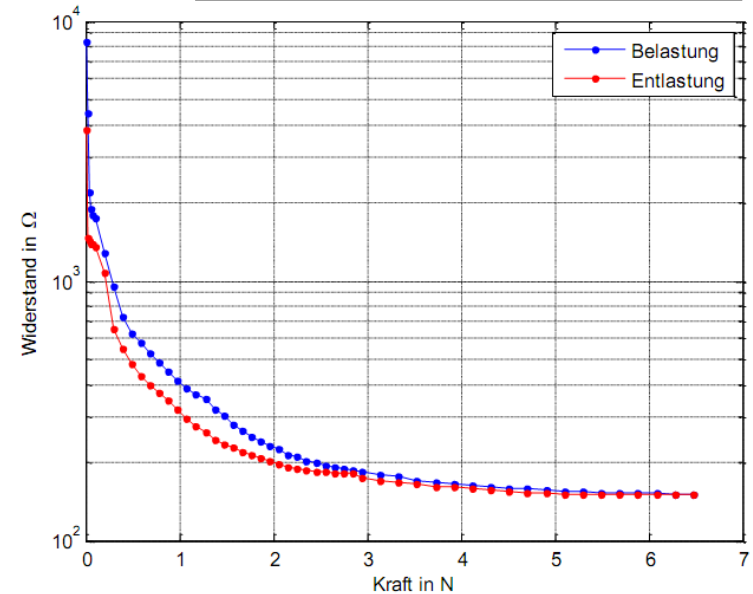
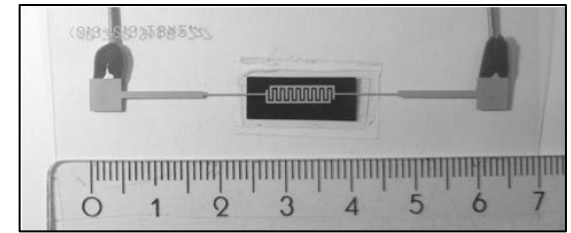


Seitenansicht:



Sensorprinzip eines CNT-PDMS-Komposit-Drucksensors

[Gerlach, Kanoun, tm - Technisches Messen, 80 (2013) 1, 9-15]



oben: CNT-PDMS-Komposit-Drucksensor (Skala in cm)

unten: kraftabhängiges Widerstandsverhalten unter Be- und Entlastung

[Gerlach, Kanoun, tm - Technisches Messen, 80 (2013) 1, 9-15]

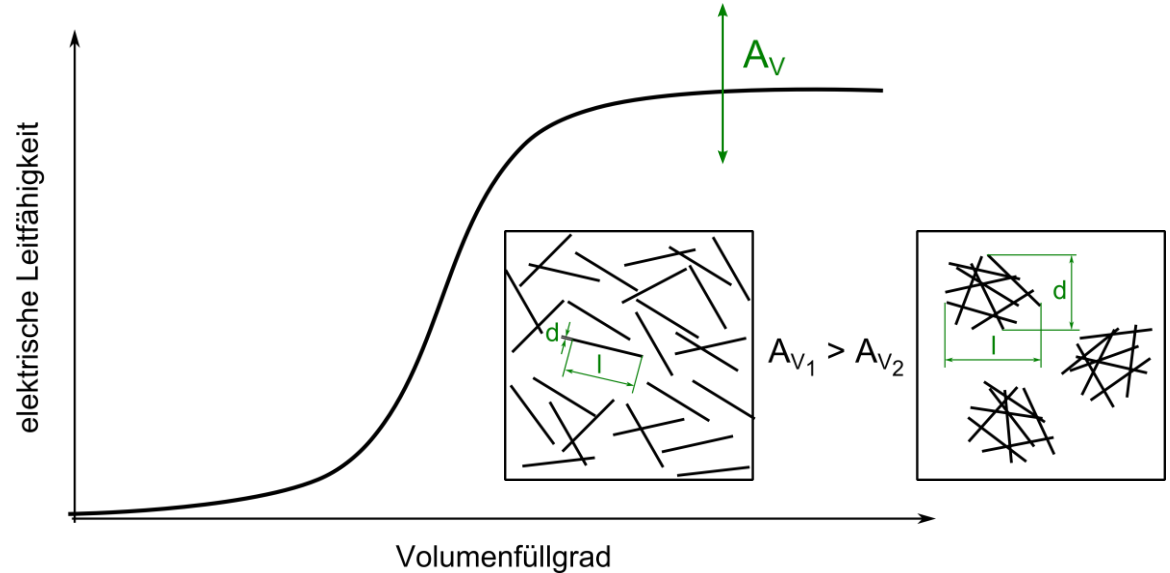
1 Agglomeration nanoskaliger Füllpartikel

$$\sigma = \frac{a \cdot A_V \cdot \sigma_f}{c + \exp\left(-\frac{\phi - \text{roundness}}{\cos\theta}\right)}$$

$$A_V = \frac{l}{d}$$

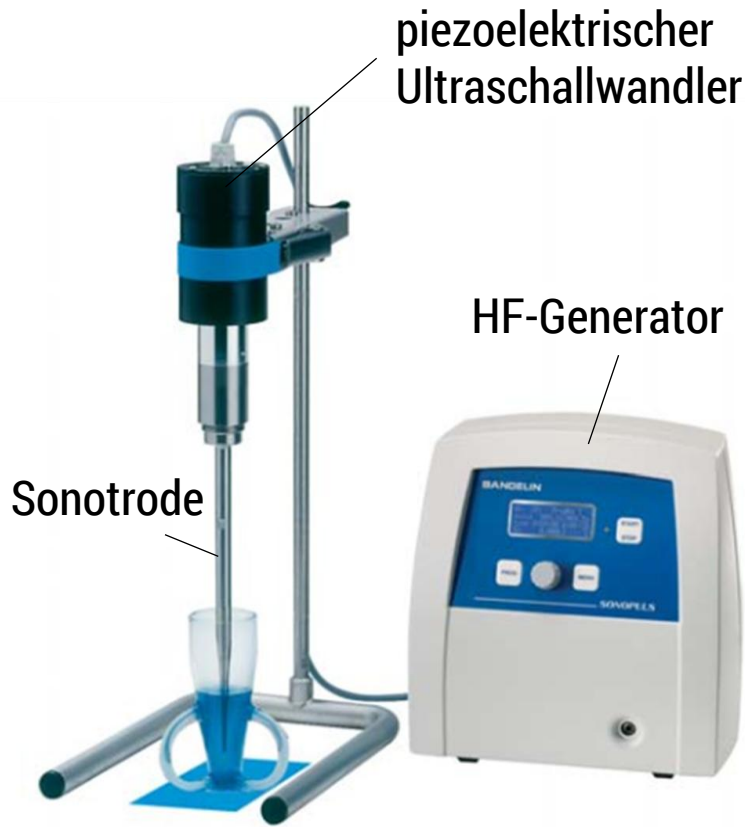
a, c	Stellparameter
A_V	Aspektverhältnis
d	Durchmesser eines Partikels
l	Länge eines Partikels
roundness	inverses Aspektverhältnis
$\cos(\theta)$	Benetzung
σ	el. Leitfähigkeit des Komposits
σ_f	el. Leitfähigkeit der Partikel
θ	Benetzungswinkel
ϕ	Volumenfüllgrad der Partikel

[Taherian, R.: ECS Journal of Solid State Science and Technology 3 (6), 2014, M26-M38]

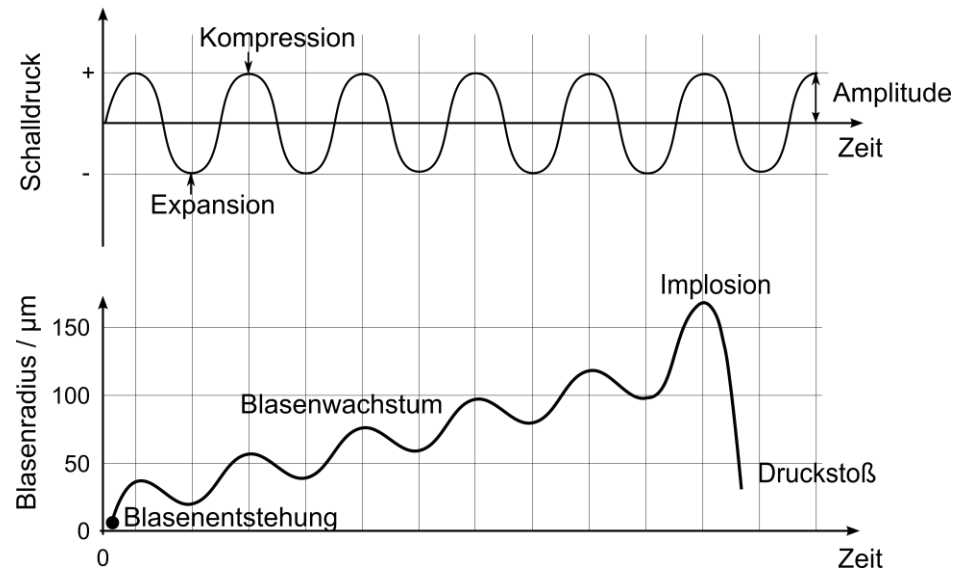


- Aspektverhältnis beeinflusst el. Leitverhalten
 - Nachteile verbleibender Agglomerate im Komposit
 - geringe Reproduzierbarkeit
 - schlechte Übereinstimmung Modell/Experiment
- Ziel: keine Restagglomerate

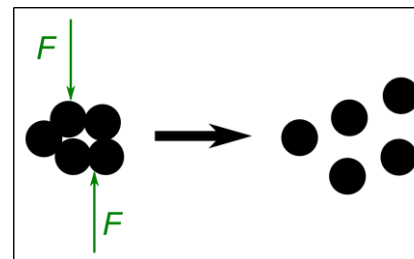
2 Ultraschalldispergieren mittels Sonotrode



Ultraschall-Homogenisator (Bandelin HD3200)
[www.bandelin.com]



Bildung, Wachstum und Implosion von Kavitationsblasen
[nach Suslick, 1995, Applications of Ultrasound to Materials Chemistry]



Implosion: Desagglomeration

Implosion:
→ Scherkräfte
→ Desagglomeration

3 Dispergiergleichung

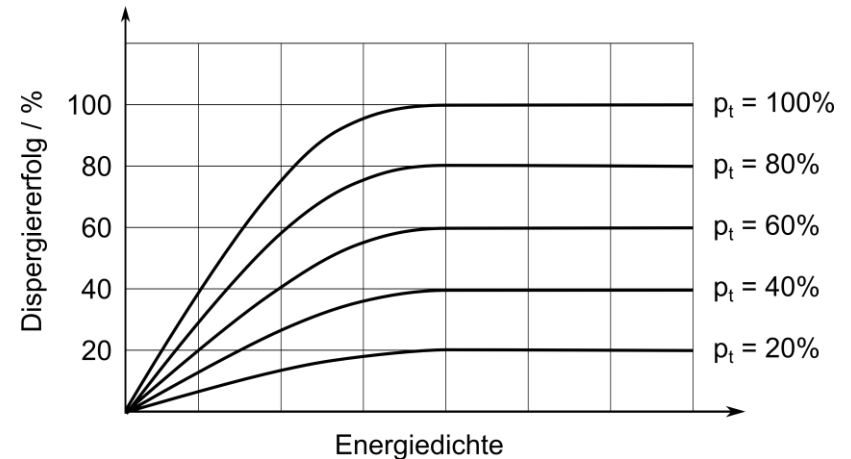
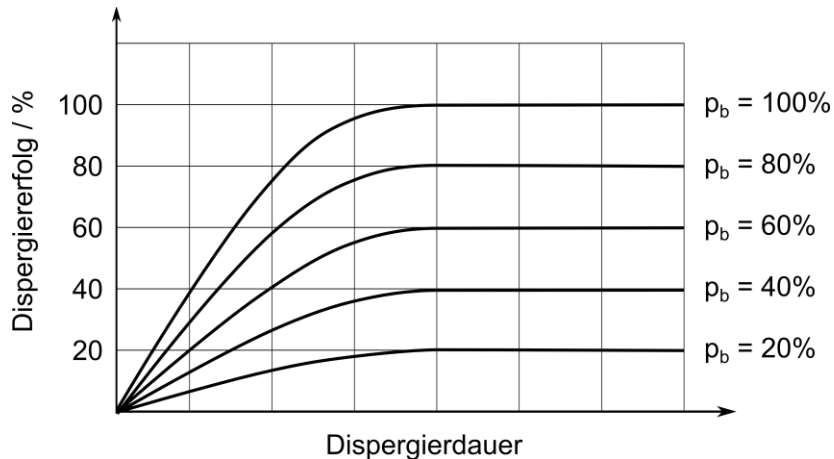
Berechnung der optimalen Prozessparameter t, E

- p_t und p_b unabhängig voneinander optimieren
- u.a. V_{eff} bestimmen

$$p_T = p_t \cdot p_b$$

$$p_T = \left(1 - e^{-\frac{k \cdot V_{eff} \cdot t}{V_T}} \right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{a \cdot E}{\sigma \cdot V_T}} \right)$$

a – Proportionalitätskonstante
 k s^{-1} Proportionalitätskonstante
 E Nm eingebrachte Energie
 p_b – Bruchwahrscheinlichkeit
 p_t – Trefferwahrscheinlichkeit
 p_T – Gesamtwahrscheinlichkeit
 t s Dispergierzeit
 V_{eff} ... m^3 effektives Dispergiervolumen
 V_T m^3 Probenvolumen
 σ $\frac{N}{m^2}$ Agglomeratfestigkeit



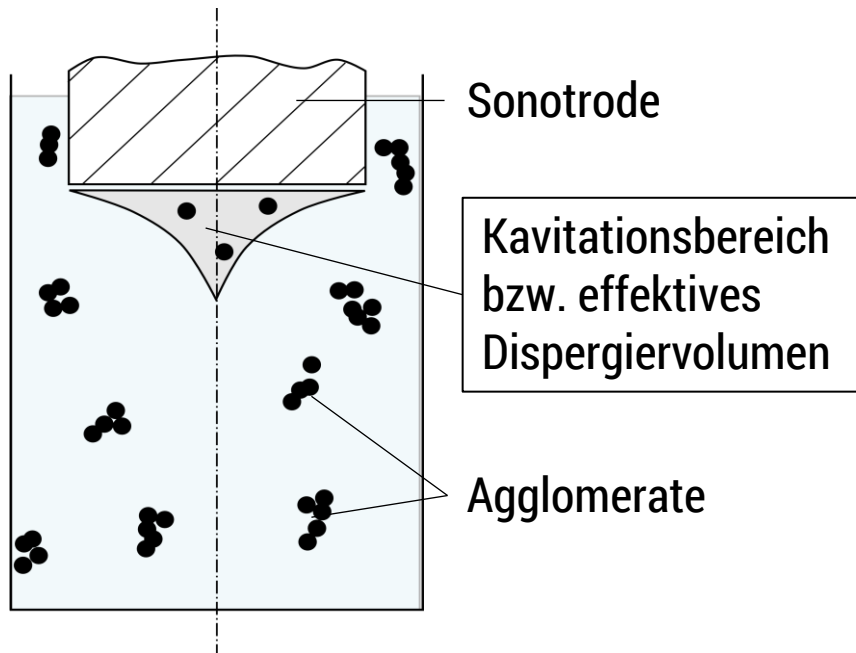
links: zeitabhängiger Dispergiererfolg bei unterschiedlichen Bruchwahrscheinlichkeiten

rechts: energiedichteabhängiger Dispergiererfolg bei unterschiedlichen Trefferwahrscheinlichkeiten

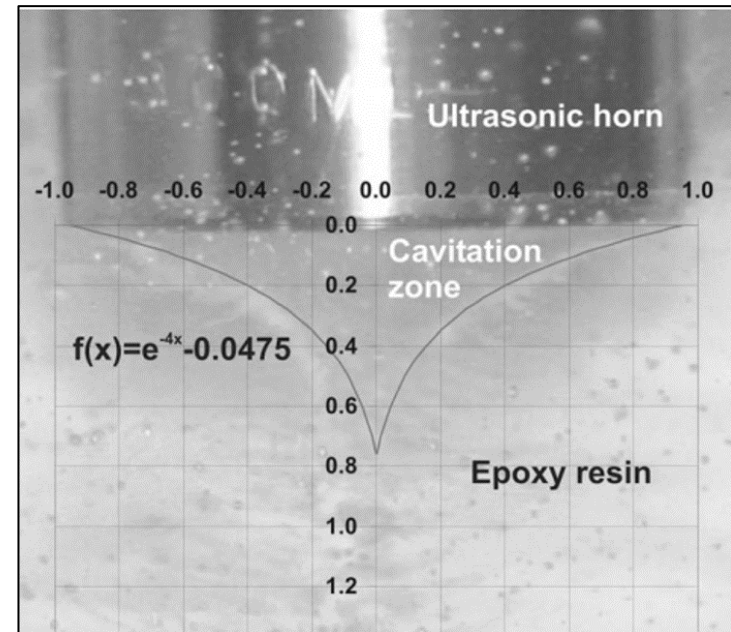
[nach J. Winkler: Dispergieren von Pigmenten und Füllstoffen, S.133, 2010]

3 Dispergiergleichung: effektives Dispergiervolumen V_{eff}

- Volumen, in welchem Agglomerate in Partikel zerteilt werden
- für Ultraschallsonotrode: Bereich des wirksamen Kavitationsbereichs
- V_{eff} muss experimentell bestimmt werden



Prinzipdarstellung Kavitationsbereich



Analytisch bestimmter Kavitationsbereich in Epoxid
[Bittmann et al., Ultrasonics Sonochemistry 16 (2009): 622-628]

4 Analytische Bestimmung des effektiven Dispergiervolumens

1. Foto des Kavitationsbereichs
2. Bildbearbeitung in Grafikprogramm, z.B. Inkscape
 - a) Koordinatensystem festlegen
 - b) Grenzbereich mittels Spline abschätzen

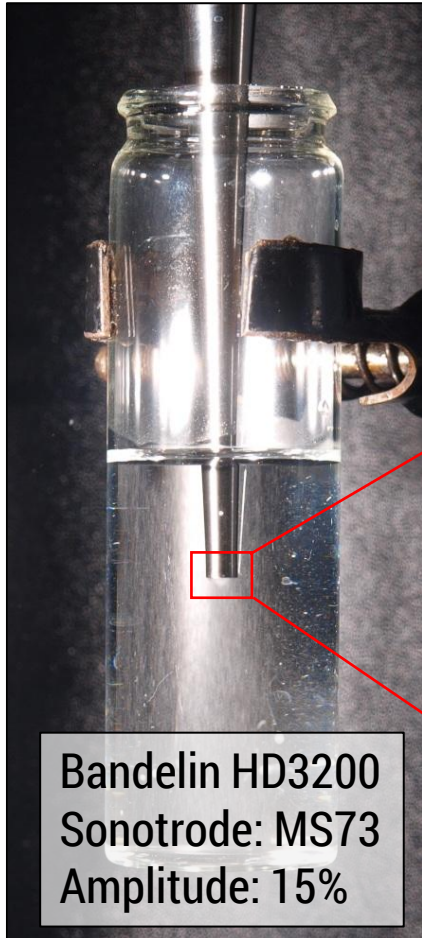
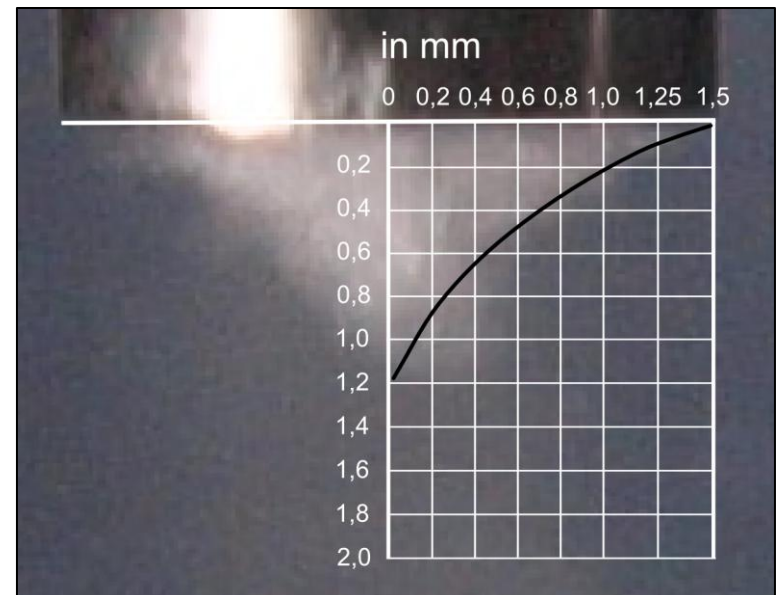


Foto Ultraschallversuch



Vergrößerung des Kavitationsbereichs

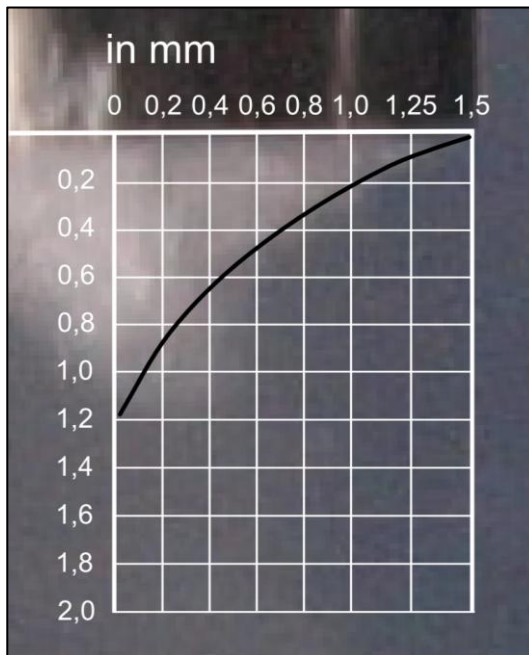


Kavitationsbereich mit Koordinatensystem

4 Analytische Bestimmung des effektiven Dispergiervolumens

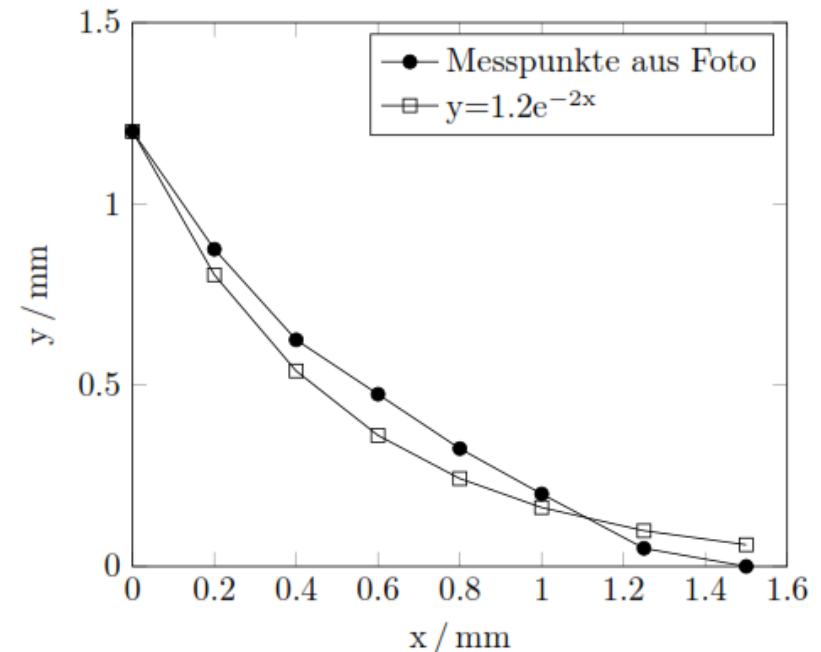
3. Funktion ermitteln mittels Tabellenkalkulation, z.B. Excel

- a) bearbeitetes Foto laden
- b) Messpunkte abschätzen
- c) mathematische Funktion ermitteln



Kavitationsbereich mit Koordinatensystem und Messpunkten

x	y
0	1,2
0,2	0,875
0,4	0,625
0,6	0,475
0,8	0,325
1,0	0,2
1,25	0,05
1,5	0



Messpunkte und gefittete e-Funktion

4 Analytische Bestimmung des effektiven Dispergiervolumens

4. Volumenbestimmung über Rotation der Funktion um y-Achse

Ausgangsfunktion $y = 1.2 \cdot e^{-2x}$

Umkehrfunktion $x = \frac{1}{2} (\ln 1.2 - \ln y)$

Rotation um y-Achse:

$$V_y = \pi \int_{y_{min}}^{y_{max}} x^2 dy$$

$$V_y = \pi \int_{y_{min}}^{y_{max}} \left(\frac{1}{2} (\ln 1.2 - \ln y) \right)^2 dy$$

$$V_y = \frac{\pi}{4} \int_{y_{min}}^{y_{max}} \left(\underbrace{\ln^2 1.2}_{\textcircled{1}} - \underbrace{2 \ln 1.2 \ln y}_{\textcircled{2}} + \underbrace{\ln^2 y}_{\textcircled{3}} \right) dy$$

$$V_y = \frac{\pi}{4} (\ln^2 1.2y - 2 \ln 1.2y \ln y + 2 \ln 1.2y + y (\ln^2 y - 2 \ln y + 2)) \Big|_{y_{min}}^{y_{max}}$$

$$V_y = \frac{\pi}{4} (y (\ln^2 y - 2, 365 \ln y + 2, 397)) \Big|_{y_{min}=0,0001}^{y_{max}=1,2}$$

$$V_y = \underline{\underline{1,88 \text{ mm}^3}}$$

Nebenrechnung:

$$\textcircled{1} : \int \ln^2 1.2 dy = \ln^2 1.2 y$$

$$\textcircled{2} : \int -2 \ln 1.2 \ln y dy = -2 \ln 1.2y \ln y + 2 \ln 1.2y$$

$$\textcircled{3} : \int \ln^2 y dy = y (\ln^2 y - 2 \ln y + 2)$$

5 CAD-unterstützte Methode zur Bestimmung des effektiven Dispergiervolumens

Foto des Kavitationsbereichs

Beispiel: Creo

1. Part anlegen
2. „Ansicht“ → „Modelldarstellung“ → „Bilder“



Bild in Creo laden

5 CAD-unterstützte Methode

3. „Hinzufügen“ und Bezugsebene auswählen

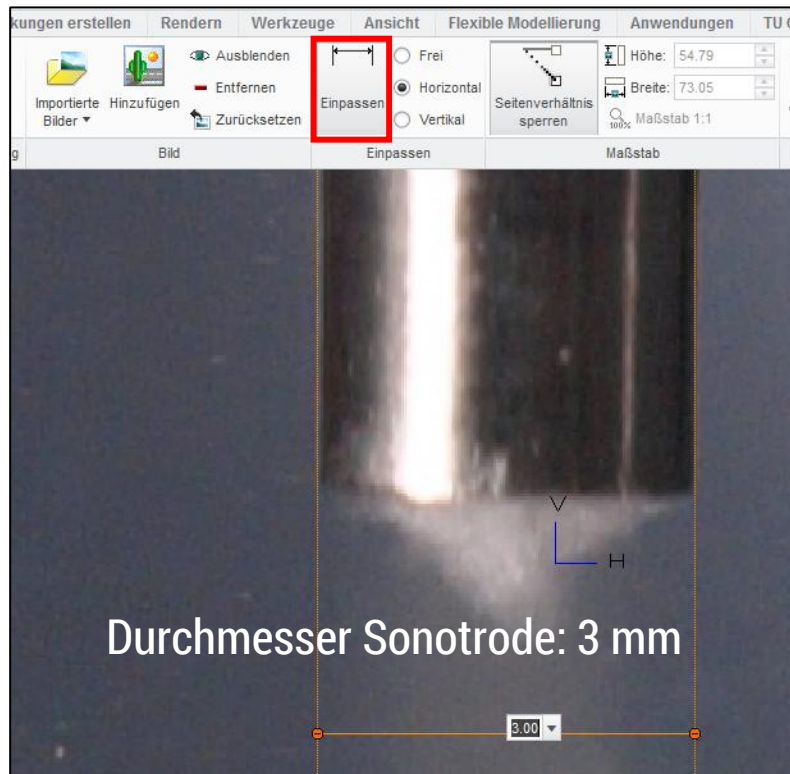
→ Bild wird im Creo auf der gewählten Ebene angezeigt

The screenshot shows the Creo Parametric software interface. The 'Bild' (Image) section of the ribbon is active, and the 'Hinzufügen' (Add) button is highlighted with a red box. The software window displays a 3D model of a cylindrical component with a glass tube and liquid inside, representing the experimental setup for volume determination. The 'Modellbaum' (Model Tree) on the left shows the current model structure, including the '15_DISPERGIERVOLUMEN.PRT' part and its reference planes (PRT_CSYS_DEF, PRT_RIGHT, PRT_TOP, PRT_FRONT).

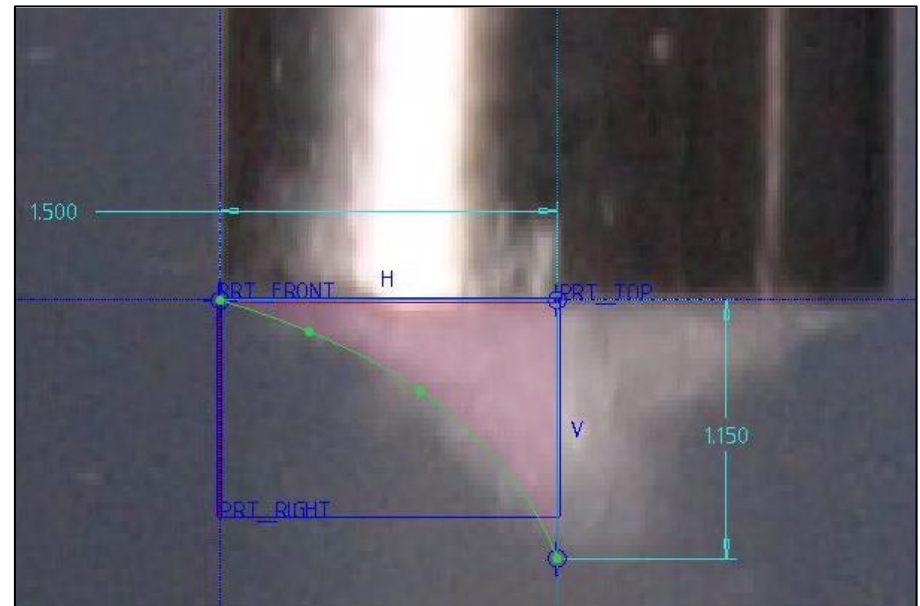
Bild hinzufügen

5 CAD-unterstützte Methode

4. Funktion: „Einpassen“: Maßstab festlegen (Element x im Bild hat das Maß y)
5. im Skizzier-Modus eine Spline festlegen



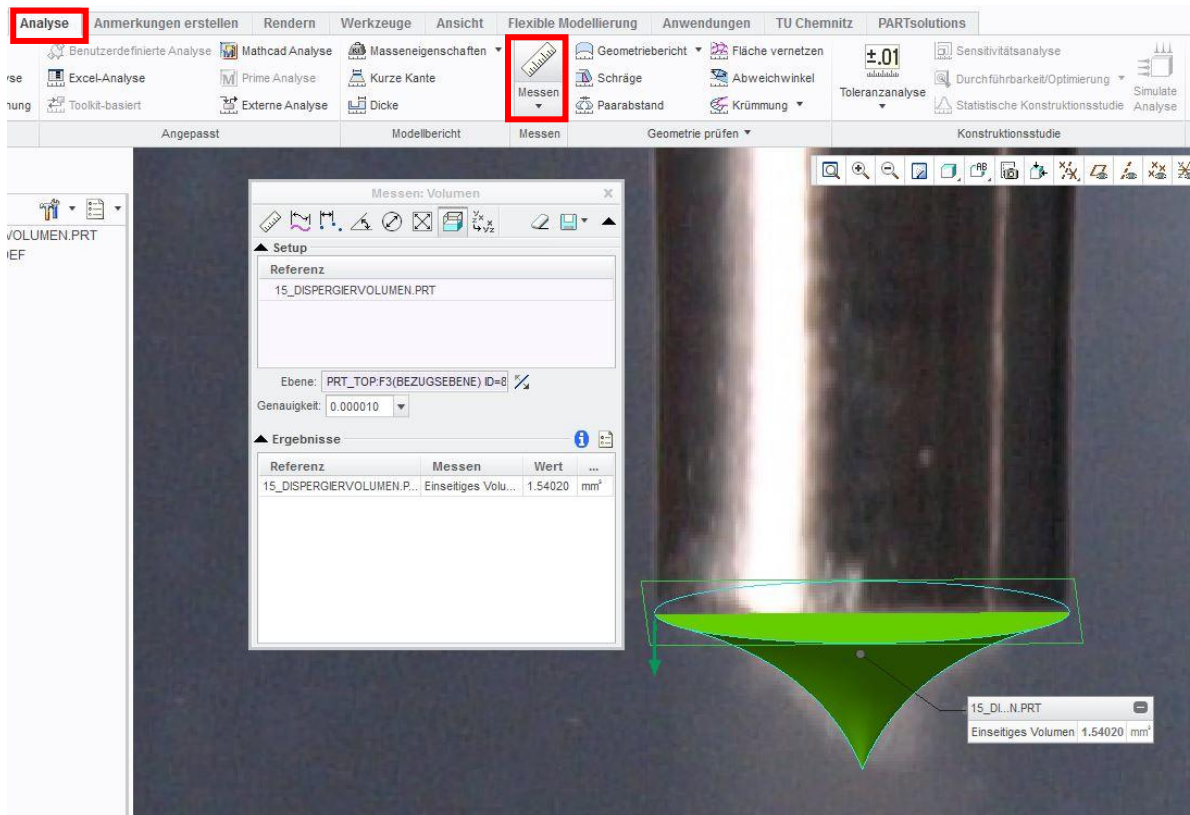
Maßstab festlegen



Spline definieren

5 CAD-unterstützte Methode

6. Skizzier-Modus verlassen → „Drehen“-KE mit erstellter Skizze erzeugen
7. „Analyse“ → „Messen“ → „Volumen“



$$\underline{\underline{V_{eff} = 1,54 \text{ mm}^3}}$$

Volumen bestimmen

6 Vergleich beider Methoden

CAD-unterstützte Methode ist im Vergleich zur analytischen Methode zur Bestimmung des effektiven Dispergiervolumens vorteilhafter, da

- schneller
- weniger fehleranfällig
- bei gleicher Genauigkeit

Analytische Methode	CAD-Methode
$V_{eff} = 1,88 \text{ mm}^3$	$V_{eff} = 1,54 \text{ mm}^3$
zeitintensiv	schnell
fehleranfälliger	weniger fehleranfällig