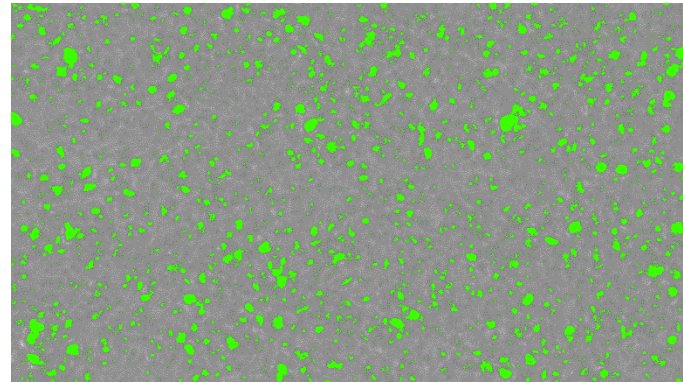


Homogenitätsanalyse von Zellstoffpulpen für das Papier-Spritzgießen: Objektive, datenbasierte Schwellenwertmethode



2. Rosenheimer Kunststoffkolloquium
24.02.2026
Niclas Schillinger



Sinkende Homogenität durch:

- *Steigender Feststoffgehalt*

[Beghello and Eklund 1997; Wahjudi Winters et al. 2002; Cho et al. 2006; l'Anson et al. 2007]

- *steigende Faserlänge*

[Beghello and Eklund 1997; Mohlin 2001; Yan et al. 2006]

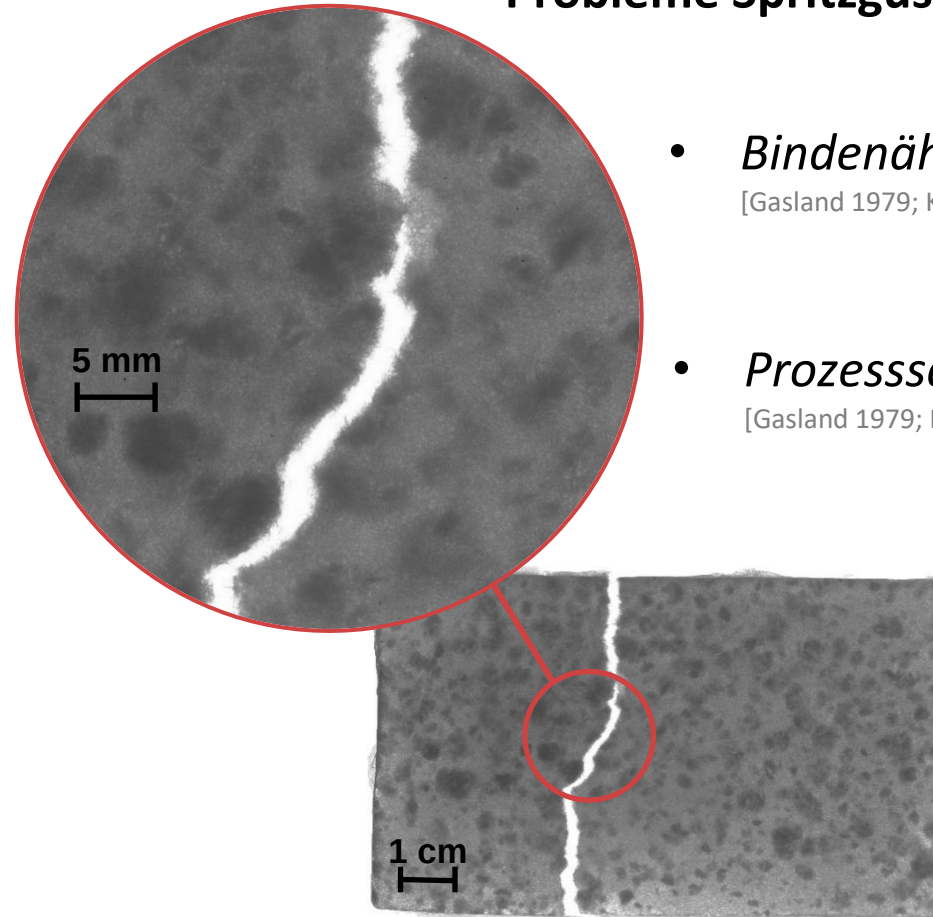
Probleme Spritzguss von Zellstoffpulpen:

- *Bindenähte und Risse*

[Gasland 1979; Kleebauer 2006; Matsuzaka 2018]

- *Prozessschwankungen*

[Gasland 1979; Matsuzaka et al. 2017]



Durchlichtscan einer Zellstoffplatte

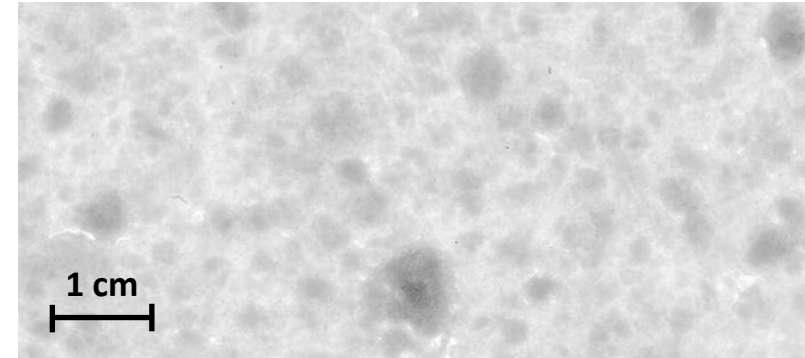
↓ Agglomerate = Festigkeiten ↑ ?

Zellstoffsuspensionen und Papiere

Licht-Transmission:

gute Übereinstimmung zwischen Licht-Transmission und Feststoffgehalt

[Sanjon et al. 2024]



Durchlicht einer Zellstoffpulpe

- Licht-Transmission bietet eine einfache Methode zur indirekten Bestimmung des Feststoffgehalts
- Zusammenhang bisher nur bei Feststoffgehalt $< 1 \%$

Bestimmung Schwellenwert

Oftmals Median als Schwellenwert:

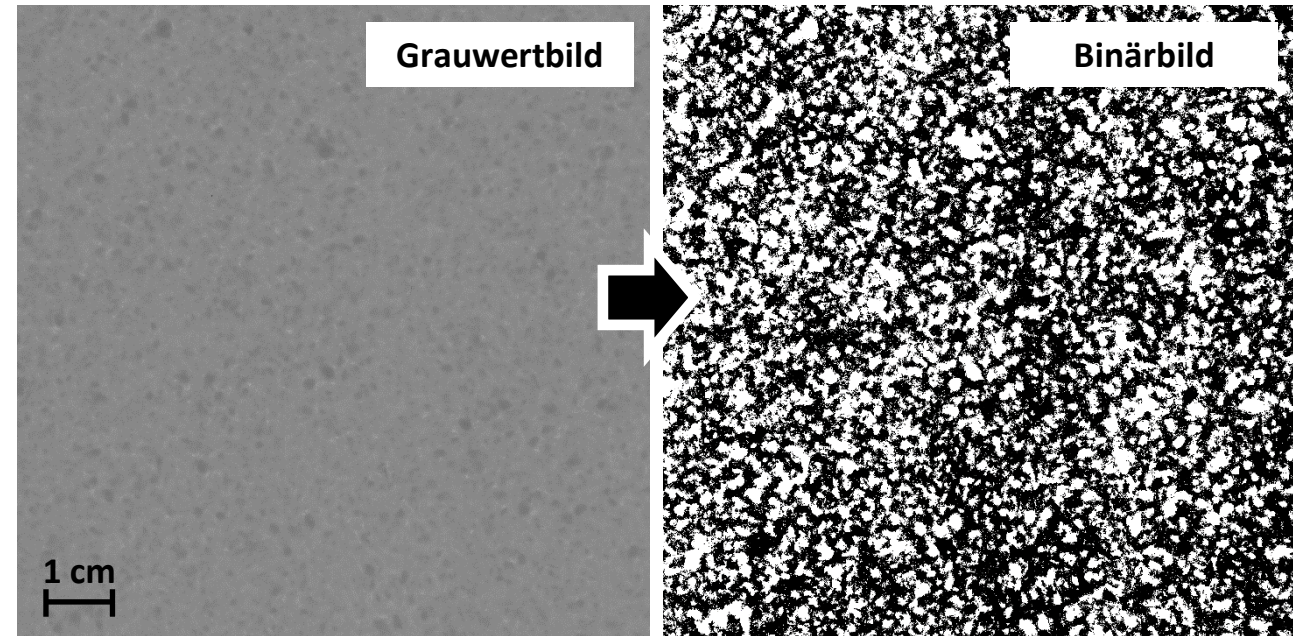
[Kaji et al. 1991; Kerekes und Schell 1995; Kellomäki et al. 1999; Karema 2001; Chen 2002; Yan 2004; Saarikoski 2012; Lauri 2021; Koponen 2024]

Schwellenwerte oftmals „subjektiv“ ausgewählt

Papiertechnik: [Chen et al. 2002; Yan 2004]

Weitere Branchen: [Rondet et al. 2010; Juntunen et al. 2014; Schadhauser 2019]

→ **Großer Einfluss des Schwellenwerts auf Ergebnis**



Analyse mit Schwellenwert

Erfassung projizierter Flächen

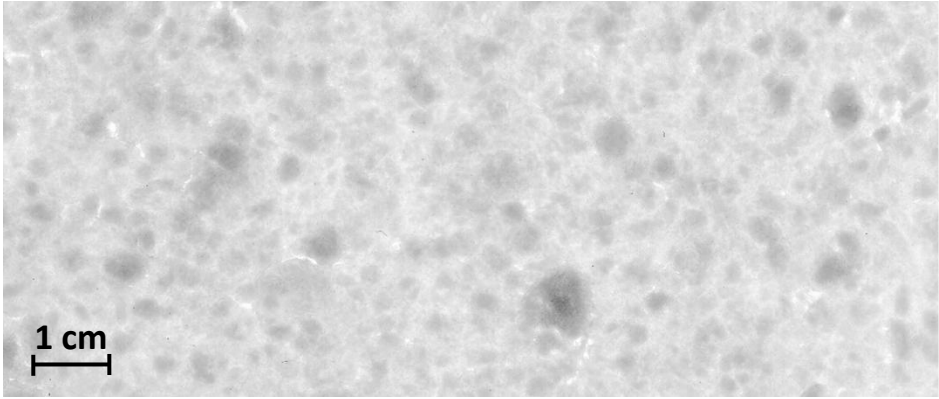
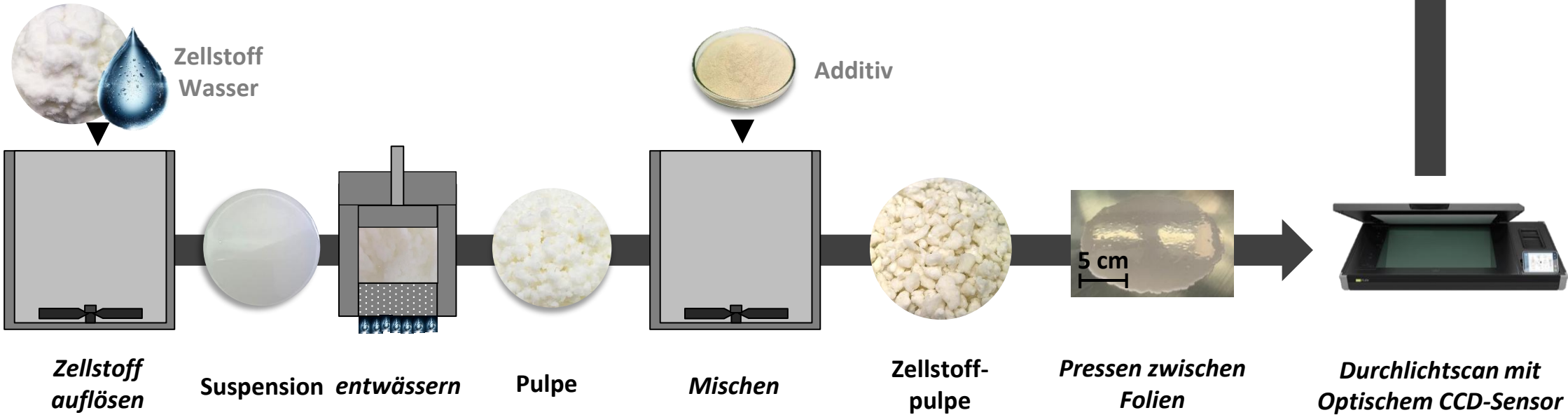
Ergebnis: Größe, Menge, Komplexität der Agglomerate

Kennwerte: spezifischer Umfang, Äquiv. Durchmesser

Bezeichnung	Holzart	Länge (l ₅₀)
BC300	Buche	240 µm
B400	Buche	390 µm
FIF400	Fichte	450 µm

Feststoffgehalt: 20, 30, 40 und 45 Gew.-%
Additiv: Alginate, Additivanteil 3 Gew.-%
(Fasern und Alginat von JRS Gruppe)

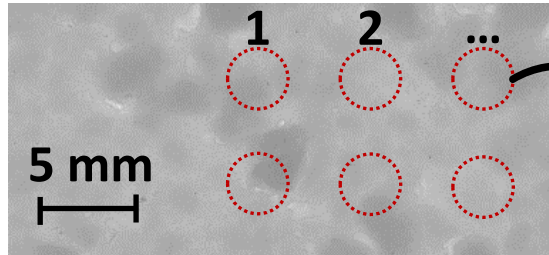
Probenvorbereitung



Durchlichtscan

Zusammenhang zwischen Feststoffgehalt und Grauwert

Feststoffgehalt:



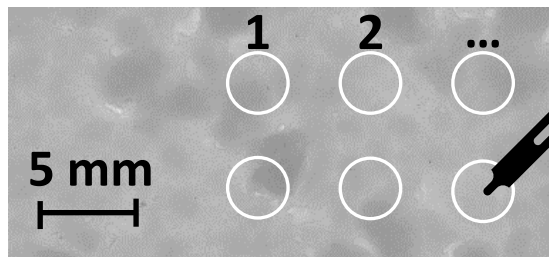
Durchlicht einer Zellstoffpulpe

Messwiederholung: 50



$$\text{Feststoffgehalt} = \frac{\text{darrtrockene Probenmasse}}{\text{Anfangsprobenmasse}} \times 100 \%$$

Grauwert:

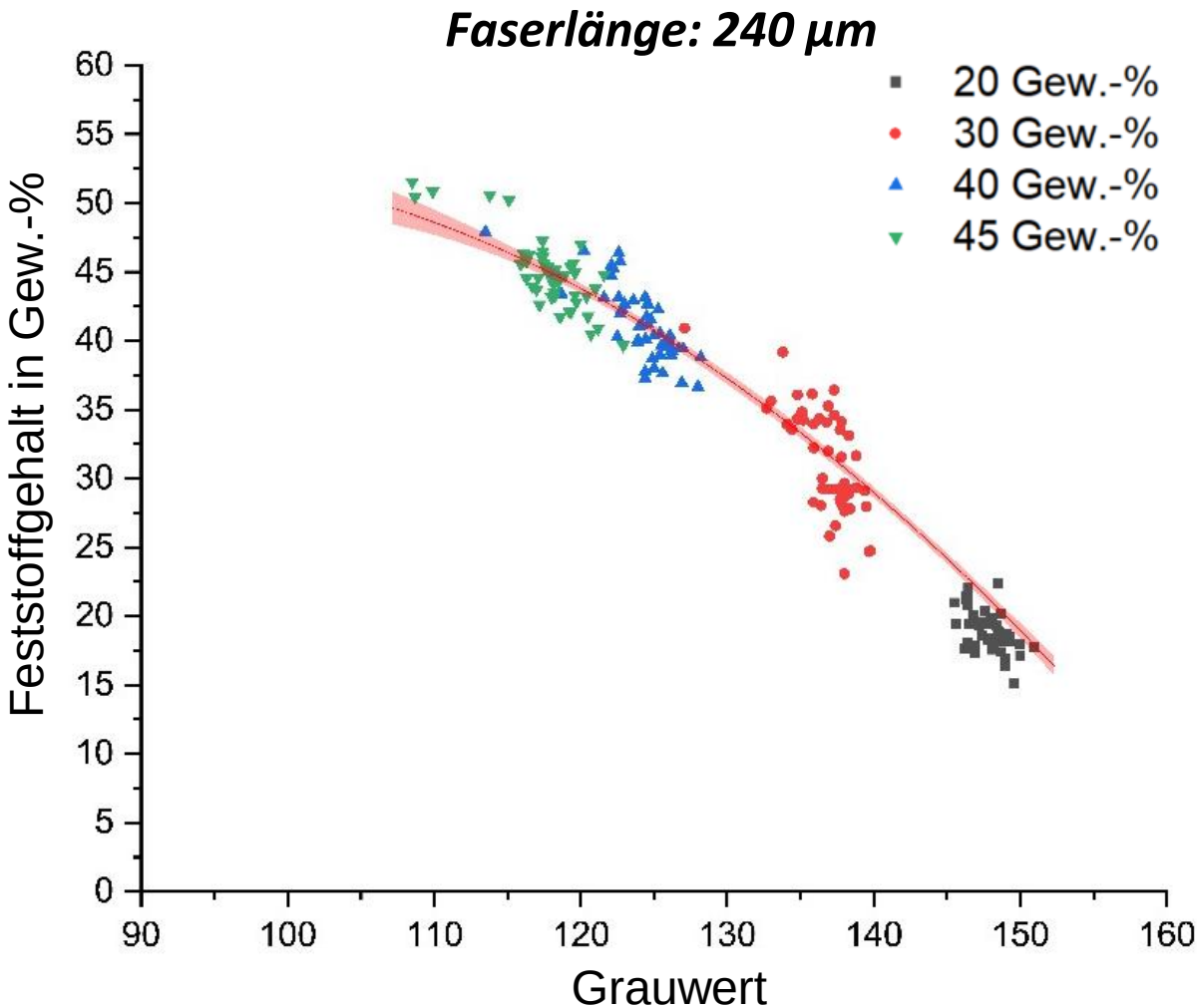


Grauwert

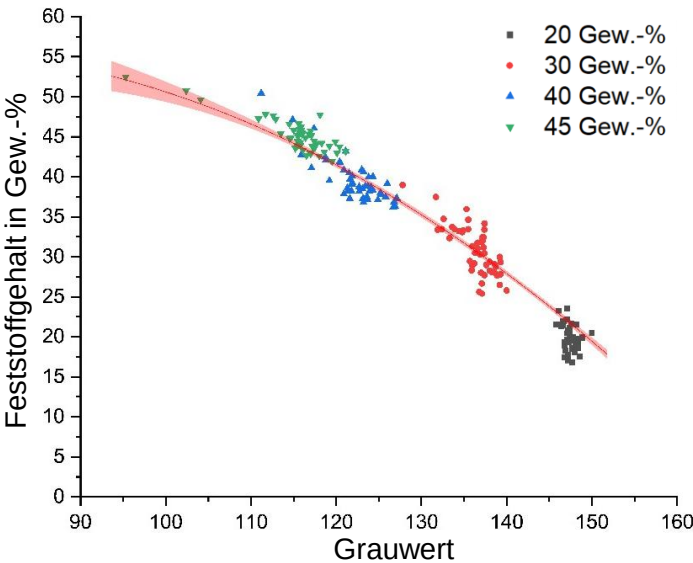
$$\text{Grauwert} = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in M} I(x,y)$$
$$N = |M|$$

M: Pixel der jeweiligen Probe

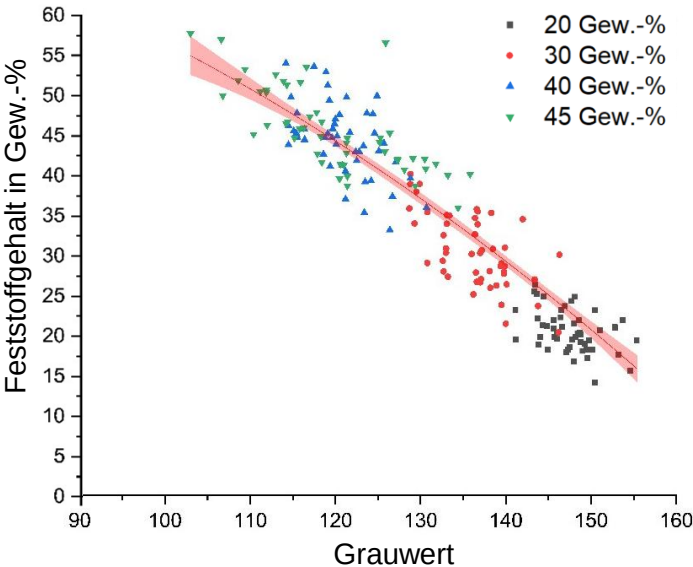
Zusammenhang zwischen Feststoffgehalt und Grauwert

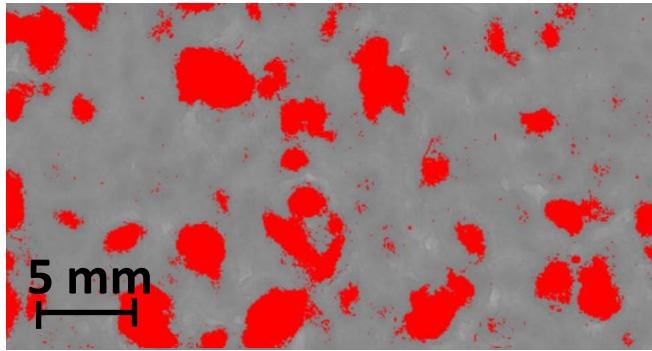


**Faserlänge:
390 μm**



**Faserlänge:
450 μm**





Durchlicht einer Zellstoffpulpe

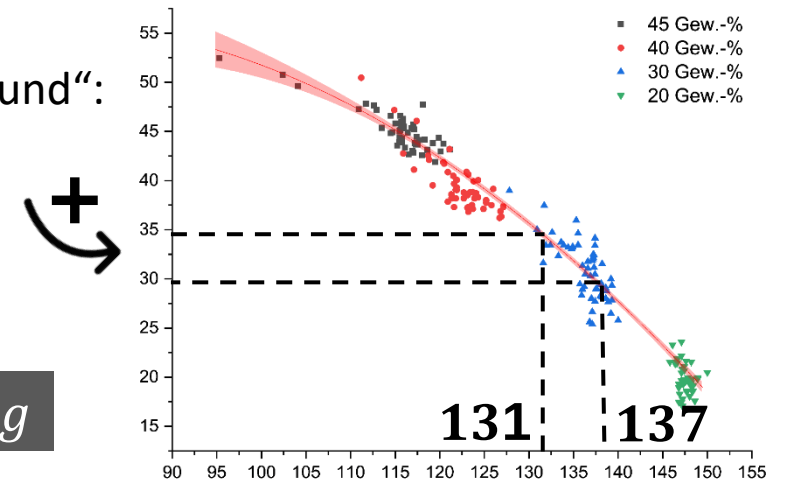
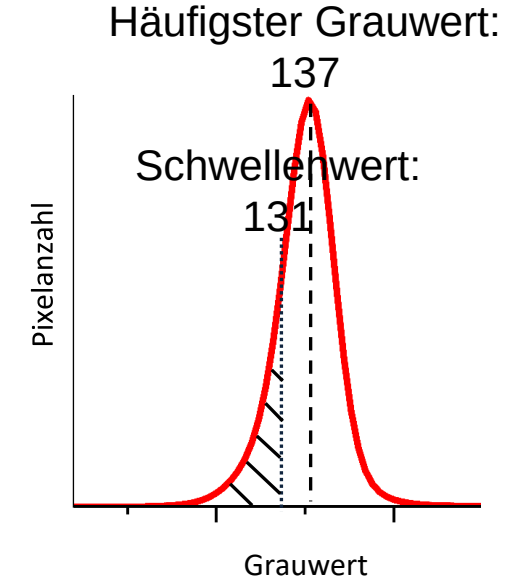
Feststoffgehalt	Grauwert
29,8 Gew.-%	137
31,8 Gew.-%	
32,0 Gew.-%	
26,7 Gew.-%	
...	

Mittelwert „Hintergrund“
30,3 Gew.-%

Abweichung „Hintergrund“:
2,4 Gew.-%

„physikalisch basiert“ zu Feststoffgehalt:

$$\text{Agglomerat} = \text{Hintergrund} + 2 \cdot \text{Hintergrundschwankung}$$



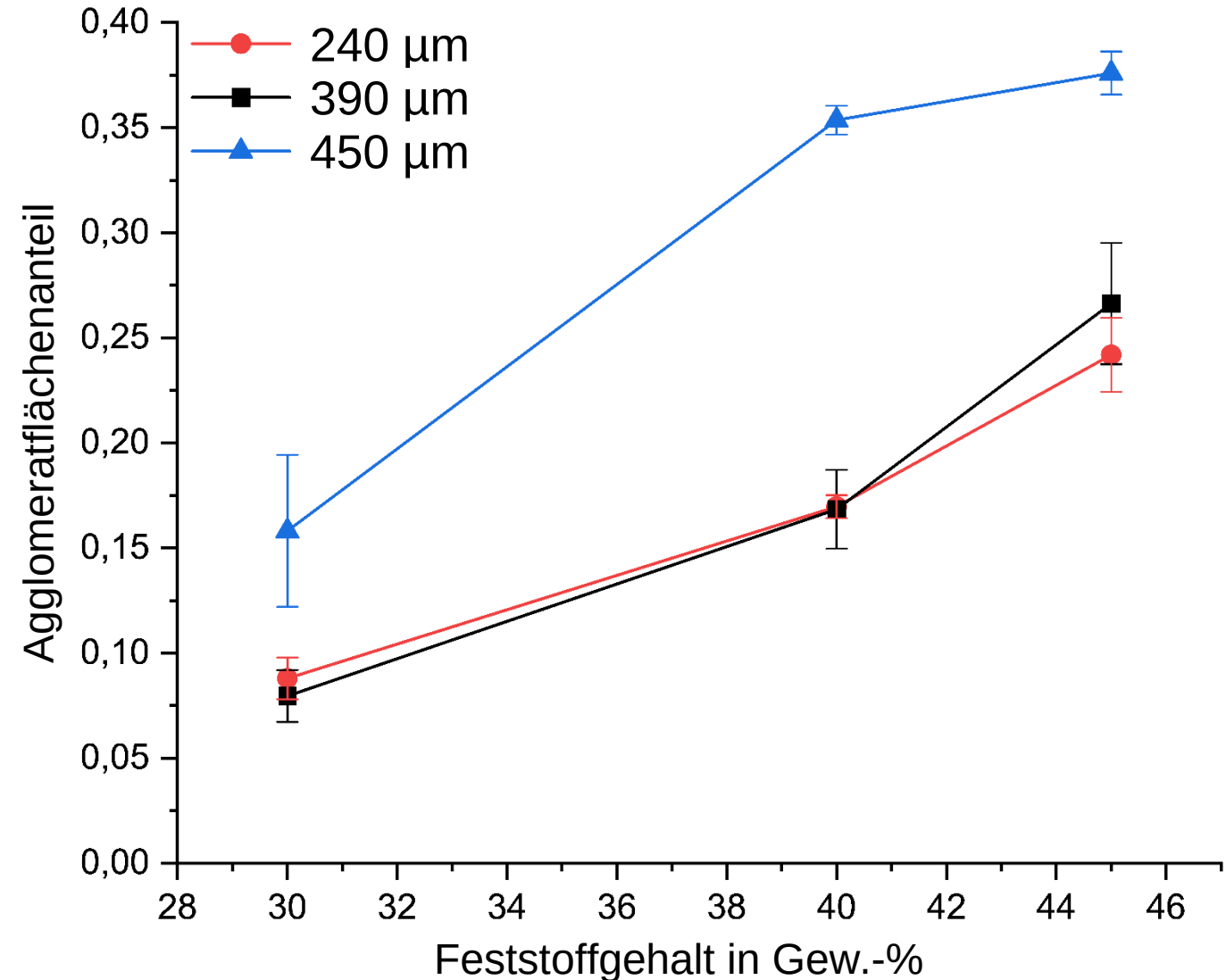
Agglomeratflächenanteil:

$$\frac{\text{Agglomeratfläche}}{\text{Probenfläche}}$$

Agglomeratflächenanteil steigt:

mit steigendem Feststoffgehalt

mit steigender Faserlänge



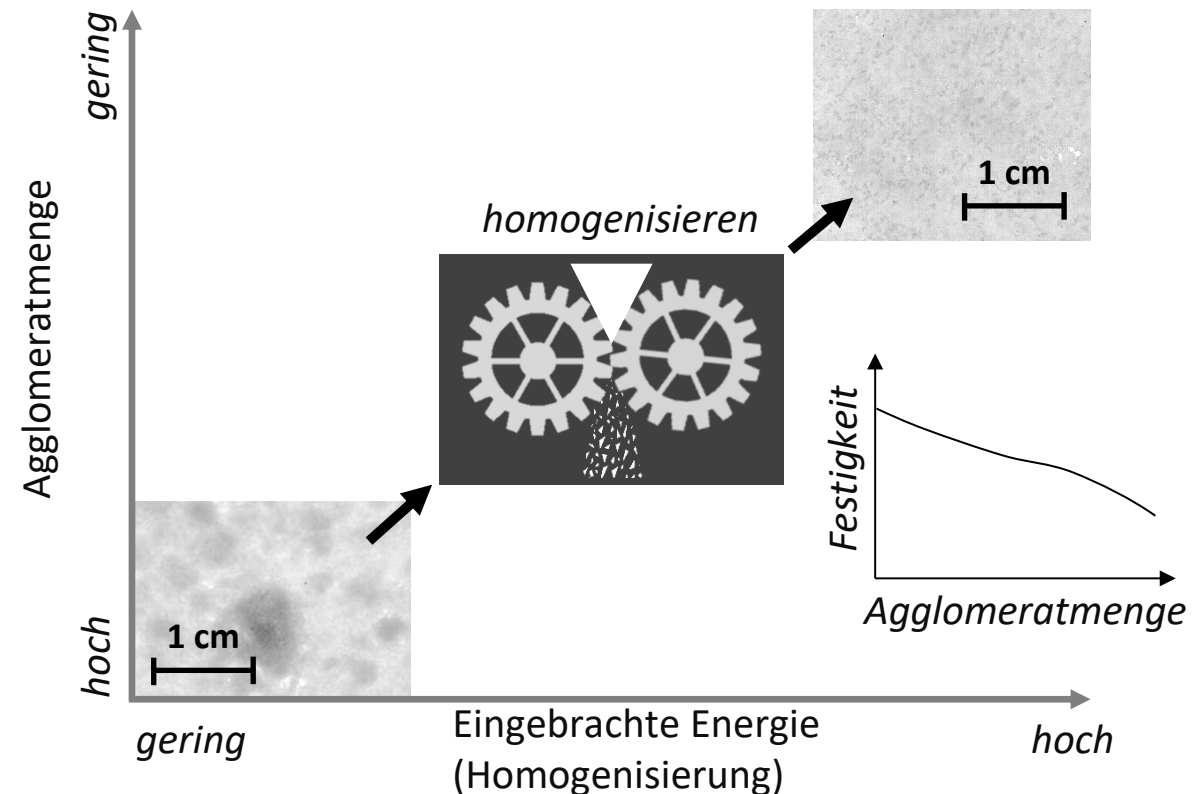
- Guter Zusammenhang zwischen lokalem Feststoffgehalt und Grauwert > 20 Gew.-%
- Ermittlung Schwellenwert über signifikanten Feststoffgehalt
→ Objektive und datenbasierte Methode
- Ermittelter Homogenitätswert folgt dem erwartbaren Trend



Messmethode notwendig zur Überprüfung von:

Beeinflussung der Agglomeratbildung?

Einfluss auf mechanische Eigenschaften?





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Niclas Schillinger
niclas.schillinger@th-rosenheim.de
+49 (0) 8031 805-2839

Krauss Maffei
Pioneering Plastics

Schnurr
Innovative solutions for customer excellence



FRANZ MODEREGGER GMBH
KUNSTSTOFFSPRITZGUSS
UND FORMENBAU

HEIDENHAIN

- Beghello, Luciano; Eklund, Dun (1997): Some mechanisms that govern fiber flocculation. In: *Nordic Pulp & Paper Research Journal* 12 (2), S. 119–123. DOI: 10.3183/npprj-1997-12-02-p119-123.
- Chen, Bo; Tatsumi, Daisuke; Matsumoto, Takayoshi (2002): Floc Structure and Flow Properties of Pulp Fiber Suspensions. In: *J. Soc. Rheol., Jpn* 30 (1), S. 19–25. DOI: 10.1678/rheology.30.19.
- Gasland, S. (1979): Verfahren zum Herstellen eines Gegenstandes aus Pappe. Veröffentlichungsnr.: DE 2920 988 C2.
- l'Anson, S. J.; Sampson, W. W.; Sevajee, C. R. (2007): NEW PERSPECTIVES ON THE INFLUENCE OF FORMATION AND GRAMMAGE ON SHEET STRENGTH. p. B141-144. Hg. v. Annual Meeting of the Pulp and Paper Technical Association of Canada (PAPTAC). Montreal, Canada. Online verfügbar unter <https://personalpages.manchester.ac.uk/staff/william.sampson/pdf/Paptac07Sevajee.pdf>, zuletzt geprüft am 10.12.2024.
- Juntunen, Petri; Liukkonen, Mika; Lehtola, Markku; Hiltunen, Yrjö (2014): Characterization of alum floc in water treatment by image analysis and modeling. In: *Cogent Engineering* 1 (1), S. 944767. DOI: 10.1080/23311916.2014.944767.
- Kaji, H.; Monma, K.; Katsura, T. (1991): Fractal analysis of flocculation in pulp suspension. In: *Tappi International Paper Physics Conference*, 291–297, Kona, Hawaii. Tappi Press, Atlanta.
- Karema, Hannu; Salmela, Juha; Tukiainen, Maarit; Lepomäki, Hannu (2001): Prediction of Paper Formation by Fluidisation and Reflocculation Experiments. In: H. Karema, J. Salmela, M. Tukiainen und H. Lepomäki (Hg.): PREDICTION OF PAPER FORMATION BY FLUIDISATION AND REFLOCCULATION EXPERIMENTS. The Science of Papermaking: Fundamental Research Committee (FRC), Manchester, S. 559–589.
- Kellomäki, M.; Karema, H.; Kataja, M.; Salmela, J.; Selenius, P. (1999): Fiber flocculation measurement in pipe flow by digital image analysis. In: F. Nonomura und Y.A.N. Takeuchi (Hg.): International Paper Physics Conference Proceedings. Atlanta: TAPPI Press, S. 461–463.
- Kerekes, R. J.; Schell, C. J. (1995): Effects of fibre length and coarseness on pulp flocculation. In: *TAPPI Journal* 78 (2), S. 133–139.
- Kleebauer, M.; Kirchberg, S. (2006): Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Spritzgussteilen aus Papierfaserstoffen: Nebent.: Spritzgießtechnologie für Faserstoffe. Clausthal-Zellerfeld. Hg. v. PTS/PuK-Forschungsbericht.
- Koponen, A. I.; CECCHINI, J.; LAUKKANEN, O.-V.; JASBERG, A. R.I. (2024): September 2024. In: *TJ* 23 (9), S. 505–521. DOI: 10.32964/TJ23.9.505.
- Lauri, Janne; Haavisto, Sanna; Salmela, Juha; Miettinen, Arttu; Fabritius, Tapio; Koponen, Antti I. (2021): Online measurement of floc size, viscosity, and consistency of cellulose microfibril suspensions with optical coherence tomography. In: *Cellulose* 28 (6), S. 3373–3387. DOI: 10.1007/s10570-021-03745-6.
- Matsuzaka, K. (2018): Clarification and Optimization of Molding Process in Pulp Injection Molding. Ph.D. thesis. The University of Tokyo, Tokyo.
- Mohlin, Ulla-Britt (2001): Fiber dimensions – formation and strength. In: *Nordic Pulp & Paper Research Journal* 16 (3), S. 235–239. DOI: 10.3183/npprj-2001-16-03-p235-239.
- Rondet, Eric; Delalonde, Michèle; Ruiz, Thierry; Desfours, Jean Pierre (2010): Fractal formation description of agglomeration in low shear mixer. In: *Chemical Engineering Journal* 164 (2-3), S. 376–382. DOI: 10.1016/j.cej.2010.03.069.
- Saarikoski, E.; Saarinen, T.; Salmela, J.; Seppälä, J. (2012): Flocculated flow of microfibrillated cellulose water suspensions: an imaging approach for characterisation of rheological behaviour. In: *Cellulose* 19 (3), S. 647–659. DOI: 10.1007/s10570-012-9661-0.
- Sanjon, Cedric W.; Leng, Yuchen; Hauptmann, Marek; Groche, Peter; Majschak, Jens-Peter (2024): Transmitted Light Measurement to Determine the Local Structural Characteristics of Paperboard: Grammage, Thickness, and Fiber Orientation. In: *Fibers* 12 (12), S. 113. DOI: 10.3390/fib12120113.
- Schadhauser, M. (2019): Spritzgießverfahren mit Endlosfasereinzug – Technologie, Modellbildung und Modellvalidierung. Dissertation. Technischen Universität Dresden.
- Wahjudi, W. U.; Duffy, G.G.; Kibblewhite, R. P.; Riddell, M.J.C. (2002): Effect of grammage and concentration on paper sheet formation of Pinus Radiata kraft pulps. In: *Appita* 55 (1), S. 35–42.
- Yan, H. (2004): Fibre Suspension Flocculation under Simulated Forming Conditions. Ph.D. thesis. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm. Division of Paper Technology. Department of Fibre and Polymer Technology. Royal Institute of Technology.
- Yan, Huawei; Lindström, Tom; Ankerfors, Mikael (2006): Fibre length effect on fibre suspension flocculation and sheet formation. In: *Nordic Pulp & Paper Research Journal* 21 (1), S. 30–35. DOI: 10.3183/npprj-2006-21-01-p030-035.