

# Wie die Partikelgröße von Kakaomasse das Mundgefühl beeinflusst: Tribologische Messungen

Florian Rummel und Dr. Shona Marsh, Analysieren & Prüfen, und Martina Tietz, Mahlen & Dispergieren

## Einleitung

Tribologie ist die Lehre von Reibung, Verschleiß und Schmierung in Systemen mit interagierenden, sich bewegendenden Oberflächen. Sie ist von großem Interesse in der Lebensmittelwissenschaft, wo sie dazu dient, die Beziehung zwischen der Struktur von Lebensmitteln und ihrer sensorischen Wahrnehmung zu verstehen.

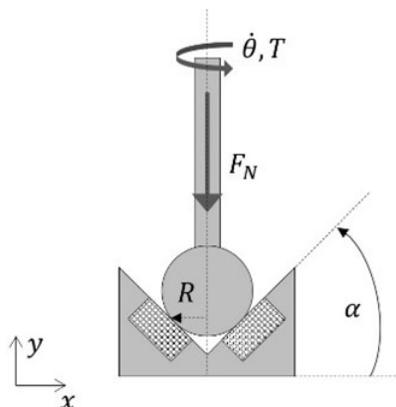
Eine tribologische Messung ist repräsentativ für die Prozesse, die während der Nahrungsaufnahme, des Kauens und des Schluckens ablaufen, und liefert somit Informationen über das Mundgefühl [1]. Dabei wird ein tribologisches System wie das Zunge-Gaumen-Paar verwendet, das während der oralen Verarbeitung durch Speichel-Nahrungsmittelmischungen geschmiert wird [2]. Im Folgenden wird der Einfluss der Partikelgröße in Kakao-massen auf ihr Verhalten in einem weichen tribologischen Kontext bei niedrigem Druck untersucht. Weitere Informationen zu dieser Anwendung finden Sie in [3].

## Materialien und Messbedingungen

Um die gleiche Zusammensetzung zu gewährleisten wurden drei Proben aus der gleichen Charge Kakao-masse hergestellt. Nach dem Vermahlen in einer horizontalen Kugelmühle (NETZSCH Mahlen & Dispergieren)

wurde der D90 Volumenäquivalentdurchmesser jeder Probe mit einem Laserbeugungs-Partikelgrößenmessgerät Mastersizer 3000 (Malvern Panalytical) bestimmt. Die drei vorbereiteten Proben unterschieden sich in ihrer Partikelgrößenverteilung (D90): 33  $\mu\text{m}$  für die grobe Kakaomasseprobe, 26  $\mu\text{m}$  für die mittlere Kakaomasseprobe und 20  $\mu\text{m}$  für die feine Kakaomasseprobe.

Die tribologischen Messungen wurden mit einem Rotationsrheometer Kinexus Prime ultra+ durchgeführt, das mit einem Peltier-Temperiermodul mit aktiver Haube und einer Tribologiezelle nach dem Kugel-auf-Drei-Plättchen-Prinzip (NETZSCH Analysieren & Prüfen) ausgestattet war. Die obere Messgeometrie bestand dabei aus einer Borosilikatglaskugel mit einem Durchmesser von 12,7 mm und SIL 30 Silikon-Urethan-Elastomer-Stückchen (Carbon Inc.) in einer Vertiefung der unteren Geometrie, die zusammen das weiche Zungen-Gaumen-Tribo-Paar darstellten. Die Kugel wird gegen die Plättchen gedrückt, der Abstand zwischen Drehachse und dem Kontaktpunkt Kugel-Plättchen ist  $R$ . Die Plättchen sind um  $45^\circ$  gegenüber der Horizontalen geneigt. Die Welle dreht sich mit einer definierten Winkelgeschwindigkeit, die der jeweiligen Gleitgeschwindigkeit am Tribokontakt entspricht (siehe Abbildung 1 links). Das für diese Drehbewegung erforderliche Drehmoment wird bei der tribologischen Messung erfasst.



Sample holder filled with cocoa mass sample



Glass ball in shaft

1 Schema der Messgeometrie und des Tribosystem (links); Probenhalter mit der Kakaomasse (Mitte) und obere Geometrie mit Glaskugel (rechts)

## APPLICATIONNOTE Wie die Partikelgröße von Kakaomasse das Mundgefühl beeinflusst: Tribologische Messungen

Die Messungen wurden bei 40 °C und einer Normalkraft von 1 N durchgeführt. Das Messprogramm ist in Tabelle 1 dargestellt (siehe auch [1]).

Unabhängig von den tribologischen Untersuchungen wurden an den drei Proben auch Scherviskositätskurven aufgenommen. Diese sind hier nicht dargestellt, können aber in [1] eingesehen werden. Sie zeigen, dass bei höheren Scherraten ( $> 3 \text{ s}^{-1}$ ) die Scherviskosität bei der groben Kakaomasseprobe am höchsten und bei der feinen Kakaomasse am niedrigsten ist.

### Ergebnisse und Diskussion

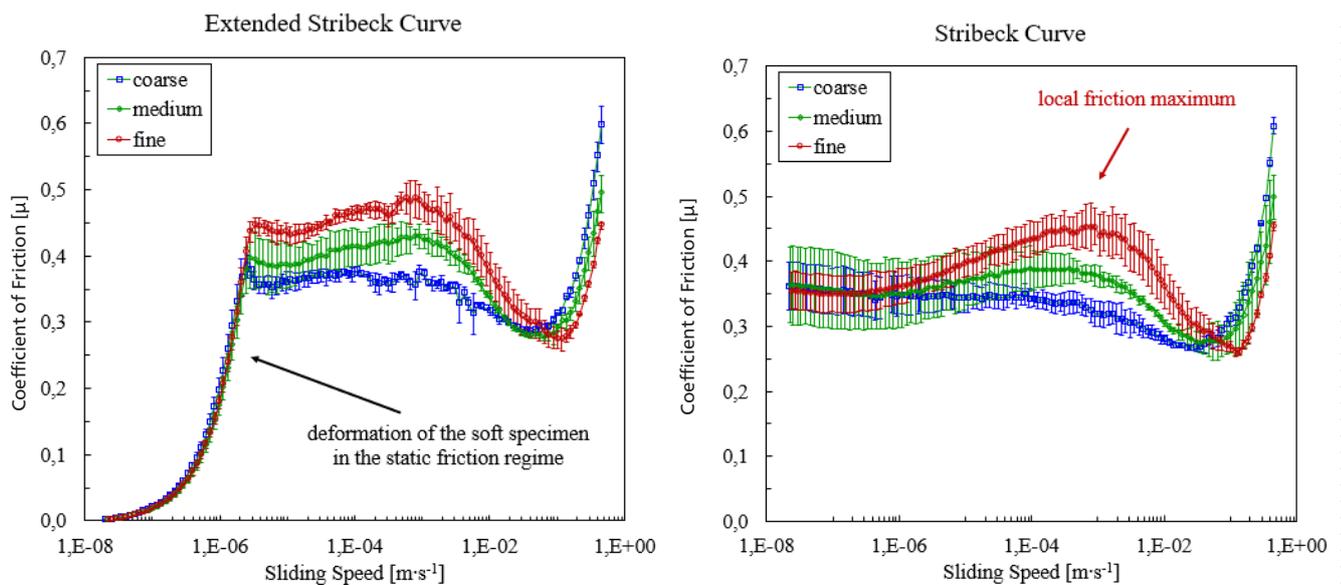
In Abbildung 2 sind die erweiterten Stribeck-Kurven und die Stribeck-Kurven aus den tribologischen Messungen an der groben, mittleren und feinen Kakaomasse dargestellt.

Der Anstieg der Reibung bei den niedrigsten Gleitgeschwindigkeiten (engl. extended Stribeck curve) kann auf die Verformung der weichen Probe zurückgeführt werden. Die Kurven der drei Proben überlappen sich. Dies deutet darauf hin, dass dieses Phänomen unabhängig von der Partikelgröße ist und stattdessen von den intrinsischen Volumeneigenschaften der weichen Probe bestimmt wird.

Ein lokales Reibungsmaximum ist für die Probe mit feiner Kakaomasse sowohl in den erweiterten Stribeck-Kurven (engl. extended Stribeck curves, Abbildung 2 links) als auch in den Stribeck-Kurven (Abbildung 2 rechts, rote Kurve). Ein möglicher Grund für dieses Verhalten ist das Verkleben der kleinen Partikel zwischen der rotierenden Kugel und dem Elastomer, was zu einer effektiven Erhöhung der Oberflächenrauheit und damit der Reibung führt.

**Tabelle 1** Parameter der tribologischen Messungen

	Phase	Winkelgeschwindigkeit
1	Running -in	15 rad/s (10 min)
2	Halten	Relaxation (5 min)
3	Erweiterte Stribeck-Kurve	$5 \cdot 10^{-6}$ bis 100 rad/s
4	Stribeck-Kurve	100 bis $5 \cdot 10^{-6}$ rad/s



**2** Erweiterte Stribeck-Kurven (links) und Stribeck -Kurven (rechts) für die groben, mittleren und feinen Kakaomasseproben

## APPLICATIONNOTE Wie die Partikelgröße von Kakaomasse das Mundgefühl beeinflusst: Tribologische Messungen

Die Probe mit feiner Kakaomasse weist die höchste Grenzreibung auf (Bild 3), während sich dieser Faktor bei den Proben mit grober und mittlerer Kakaomasse nicht wesentlich unterscheidet. Nach Überschreiten der Grenzreibung nimmt die Reibung der Probe mit der groben Kakaomasse deutlich ab (blaue Kurve). Eine mögliche Erklärung für dieses Verhalten ist, dass die groben Partikel zu groß sind, um in den Raum zwischen der rotierenden Glaskugel und dem Elastomer einzudringen, was zu einem geringeren Feststoffvolumenanteil der Suspension führt. Folglich ist die Reibung am Tribokontakt geringer.

Abbildung 4 (Stribeck-Kurven im Gleitgeschwindigkeitsbereich des hydrodynamischen Regimes) zeigt, dass die Reibung unter diesen Bedingungen für die grobe Kakao-masseprobe am höchsten und für die feine Kakaomasseprobe am niedrigsten ist. Je größer die Partikel, desto niedriger ist die Gleitgeschwindigkeit, bei der der Übergang stattfindet. Dies steht im Einklang mit der höheren Scherviskosität der groben Probe bei höheren Scherraten (siehe [1]).

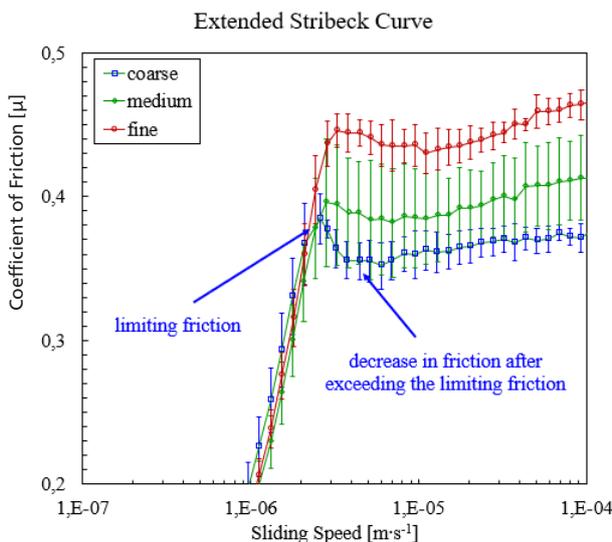
### Fazit

Die tribologischen Eigenschaften von drei Kakaomasseproben mit unterschiedlicher Korngrößenverteilung wurden verglichen. Es konnten Unterschiede im Reibungsverhalten festgestellt werden, die auf unterschiedliche Schmiermechanismen zurückgeführt werden können.

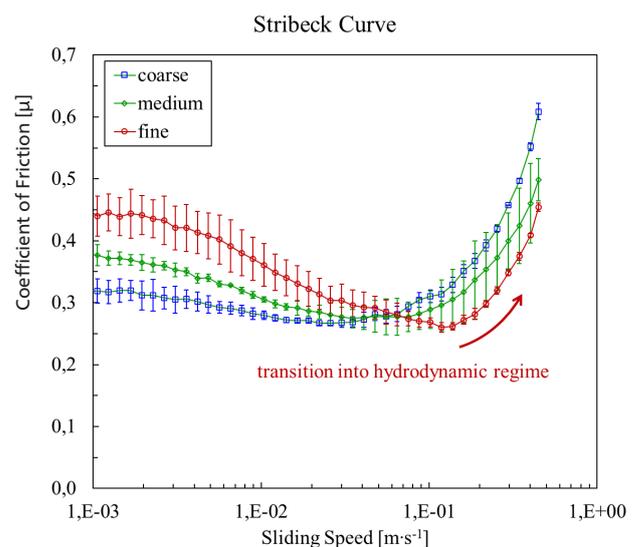
Weitere Erklärungen und vorgeschlagene Mechanismen sind in [1] beschrieben.

### Quellen

- [1] In order Chen J. and Stokes J.R., Rheology and tribology: Two distinctive regimes of food texture sensation, Food Science and Technology, 2012, 25 (1), 4-12. DOI: 10.1016/j.tifs.2011.11.006.  
 [2] Stokes J.R, Boehm M.W., and Baier S.K., Oral processing, texture and mouthfeel: from rheology to tribology and beyond, Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2013, 18 (4), 349-359. DOI: 10.1016/j.cocis.2013.04.010.  
 [3] ANNUAL TRANSACTIONS OF THE NORDIC RHEOLOGY SOCIETY, VOL. 31, 2023, Tribological Characterization of Cocoa Mass with Different Rheological Properties and Particle Size Distributions, Florian Rummel, Martina Tietz and Shona Marsh.



**3** Erweiterte Stribeck-Kurven für Gleitgeschwindigkeiten zwischen 10<sup>-7</sup> und 10<sup>-4</sup> m/s



**4** Stribeck-Kurve, die den Übergang in das hydrodynamische Regime zeigt