

Partikelmessung von Kaffeepulver mit dynamischer Bildanalyse

Messgerät: CAMSIZER X2

Qualitätsanforderungen an Kaffeepulver

Kaffeebohnen zählen zu den wichtigsten Handelsgütern, denn täglich werden weltweit geschätzte 1,4 Milliarden Tassen Kaffee getrunken. Der Geschmack des Kaffees wird durch das Rösten der Bohnen, die Mahlung zu Pulver und die Art und Qualität der Zubereitung bestimmt. Verschiedene Zubereitungsarten im Brüh- und Filterprozess (z. B. Espressomaschine, Filterkaffee oder Mokka) erfordern unterschiedliche Mahlgrade des Kaffeepulvers für ein aromatisches Ergebnis. Werden geröstete Kaffeebohnen zu Kaffeepulver gemahlen, kommt der Bestimmung der Korngrößenverteilung eine entscheidende Rolle zu, da diese maßgeblich die Brüh- und Filtereigenschaften und somit den Geschmack und die Bekömmlichkeit des Kaffees beeinflusst. Bei der Zubereitung von Kaffee gilt es, die optimale Extraktion der Inhaltsstoffe zu erreichen, die beim Brühen durch das heiße Wasser aus dem gemahlene Kaffee gelöst werden. Je feiner der Kaffee gemahlen ist, desto mehr Inhaltsstoffe lassen sich umso schneller extrahieren. Ist der Mahlgrad nicht optimal mit der Dauer und Temperatur des Brühverfahrens abgestimmt, besteht die Gefahr, dass der Kaffee über- oder unterextrahiert wird. Ein unterextrahierter Kaffee (= zu grobe Mahlung) hat wenig Aroma. Ein überextrahierter Kaffee (= zu feine Mahlung) schmeckt aufgrund zu vieler gelöster Bestandteile (z. B. Gerbsäuren) bitter. Durch die zuverlässige Bestimmung der Korngröße lässt sich ein reproduzierbarer Mahlgrad für das jeweilige Zubereitungsverfahren optimal einstellen, so dass man einen wohlschmeckenden Kaffee mit ausbalancierten Aromen erhält.

Kaffeepulver zeigt durch seinen hohen Ölgehalt, die breite Korngrößenverteilung und eine sehr unregelmäßige Kornform ein schwieriges Schüttgutverhalten, d. h. die Partikel neigen stark zur Agglomeration und sind schlecht fließfähig bzw. schwer förderbar. Dies muss bei den mechanischen und optischen Messverfahren ausreichend berücksichtigt werden.

Traditionell wurde die Partikelgrößenverteilung von Kaffeepulver durch Analysensiebung ermittelt; inzwischen hat sich aber das Verfahren der Laserbeugung als Standardmethode etabliert. Allerdings sind beiden Methoden hinsichtlich Aussagekraft, Genauigkeit und Empfindlichkeit gewisse Grenzen gesetzt. Kaffeepulver, besonders wenn es in Kapseln oder Pads verwendet wird, ist jedoch hochgradig auf den jeweiligen Zubereitungsprozess optimiert und muss sehr enge Qualitätsvorgaben einhalten. Diese lassen sich oft nur mit bildgebenden Verfahren überprüfen, welches sehr hochauflösende Größenverteilungen bei gleichzeitig hohem Probendurchsatz liefern.



Abb. 1: Der CAMSIZER X2 ist dank dynamischer Bildanalyse hervorragend geeignet für die Charakterisierung von Kaffeepulver.

Wie funktioniert die Partikelmessung von Kaffeepulver mit dynamischer Bildanalyse?

Bei der Partikelmessung mit dynamischer Bildanalyse gemäß ISO 13322-2 wird ein Partikelstrom erzeugt und an einem Kamerasystem vorbeigeführt. Die Bilder der Partikel werden in der Bewegung als Schattenprojektionen aufgezeichnet und ausgewertet. Dynamische Bildanalyse funktioniert für trockene Pulver und für Suspensionen. Für Kaffeepulver ist die Trockenmessung die bessere Variante. Der Ablauf einer solchen Messung mit dem Bildanalysesystem CAMSIZER X2 ist in Abb. 2 dargestellt. Der CAMSIZER X2 verfügt über zwei Kameras mit unterschiedlichen Abbildungsmaßstäben, wodurch kleine und große Partikel gleichzeitig analysiert werden können, ohne vorherige Einstellung des Messbereiches, z. B. durch die Auswahl geeigneter Objektive. Dies ist ein großer Vorteil für die Analyse von Kaffeepulver, welches üblicherweise eine sehr breite Größenverteilung vom unteren Mikrometerbereich bis zu 2 Millimeter aufweist. Während der Messung wertet der CAMSIZER X2 bis zu 310 Bilder pro Sekunde aus, was durch die große Anzahl an detektierten Partikeln zu sehr stabilen und reproduzierbaren Ergebnissen führt. Die übliche Dauer einer Messung beträgt 2-5 Minuten.

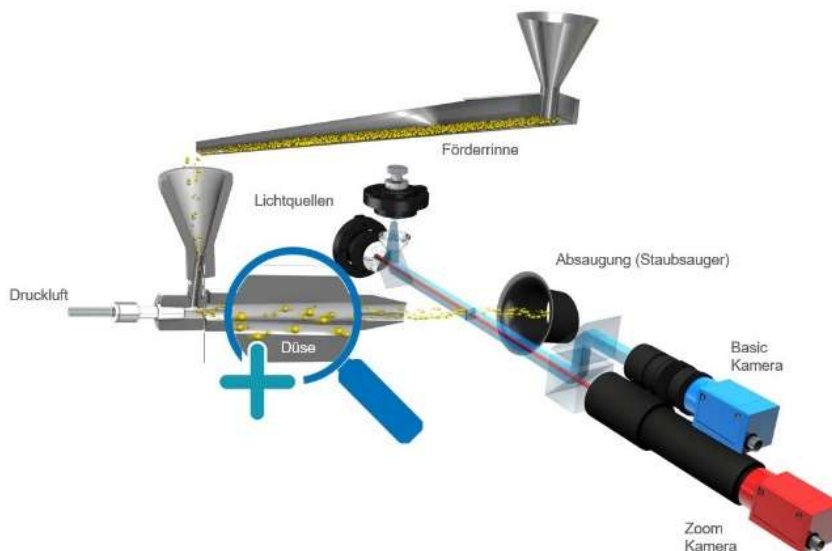


Abb. 2: Messprinzip des CAMSIZER X2 bei der Trockenmessung von Kaffeepulver. Die Probe gelangt über eine Förderrinne in das Messgerät, wo sie von einem Druckluftstrom erfasst wird. Die Partikel werden in der Bewegung von zwei Kameras mit unterschiedlichen Abbildungsmaßstäben als Schattenprojektionen detektiert und ausgewertet.

Der Vorteil des Zwei-Kamera Prinzips ist in Abb. 3 veranschaulicht. Das Diagramm zeigt eine Größenverteilung von Kaffeepulver, gemessen mit beiden Kameras, zusammen mit dem Ergebnis derselben Probe nur mit Basic-Kamera und nur mit Zoom-Kamera. Die Zoom-Kamera erfasst den Feinanteil, aber aufgrund des kleinen Bildbereichs nur wenige große Partikel, was an den starken Sprüngen in der Verteilung zu erkennen ist. Die Basic-Kamera kann den Feinanteil aufgrund der schlechteren Auflösung nicht korrekt erfassen. Die beiden Kameras ergänzen sich also perfekt und sind dadurch jedem Bildanalysesystem mit nur einer Kamera überlegen.

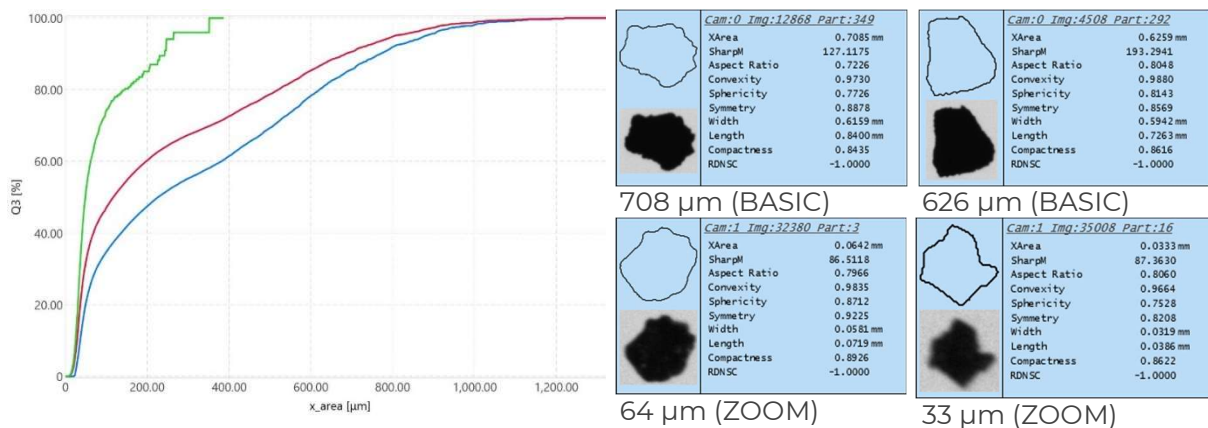


Abb. 3: CAMSIZER X2 Analyse einer Probe Kaffeepulver. Messung nur mit ZOOM-Kamera(grün): Grobanteil wird nicht erfasst. Messung nur mit BASIC-Kamera: Feinanteil nicht korrekt erfasst. Messung mit BEIDEN Kameras (rot): richtiges Ergebnis! Die Bilder zeigen Aufnahmen mit der BASIC bzw. ZOOM Kamera.

Messbeispiele von Kaffeepulver und Vergleich mit Laserbeugung und Siebanalyse

Kaffeepulver weist typischerweise breite Korngrößenverteilungen mit ausgeprägtem Fein- und Grobanteil auf. Der Feinanteil liegt dabei unter 200 µm, der Grobanteil kann bis zu 2 mm erreichen. Durch das patentierte Zwei-Kamera-System und den dadurch sehr breiten dynamischen Messbereich lässt sich bei Kaffeepulver beides mit hoher Auflösung und guter statistischer Sicherheit mit dem CAMSIZER X2 bestimmen. Dies zeigt Abbildung 4 am Beispiel von Kaffeepulver mit unterschiedlichen Mahlgraden. Bei der Messung wurden die Partikel mit Druckluft im Probenzufuhrmodul X-Jet (Abb. 2) bei 80 kPa dispergiert. Für die Vibrations-Förderung des Kaffeepulvers auf einer Dosierrinne wurden von Microtrac Vorrichtungen entwickelt, die auch bei sehr schlecht fließfähigen Kaffeepulvern die problemlose Zufuhr zur Messung ermöglichen.

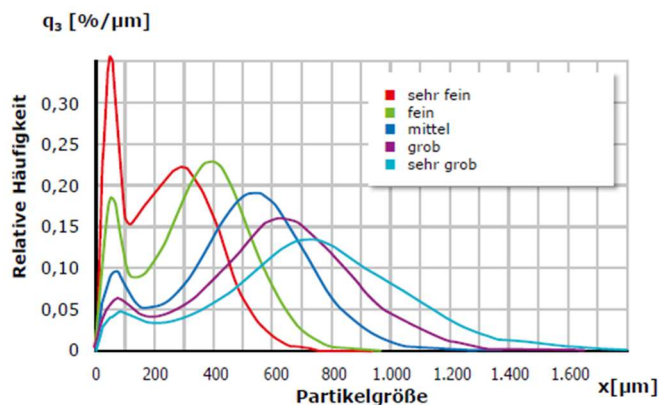


Abb. 4: Messung von fünf verschiedenen Mahlgraden von Kaffeepulver. Charakteristisch ist der stets vorhandene Feinanteil < 100 µm und die breite Größenverteilung bis fast 2 mm. Brühkaffee erfordert generell eine gröbere Mahlung als beispielsweise Espresso.

Der Röstgrad der Kaffeebohnen beeinflusst deren Sprödigkeit. Gemahlener Kaffee aus spröden Bohnen besteht häufig aus kantigen, bzw. spitzigen Körnern, welche beim verdichteten Kaffee zu geringerer Packungsdichte führen. Sowohl die Korngrößenverteilung als auch die Partikelform beeinflussen die Schüttdichte, die Filter- und Extraktionseigenschaften des Pulvers und damit auch die Qualität des zubereiteten Kaffees. Die Abbildungen 5a und 5b zeigen, dass der CAMSIZER X2 mit der Bildanalyse sowohl Breite, Länge als auch den kreisäquivalenten Durchmesser simultan bestimmt und jeweils als eigene Verteilungskurven ausgeben kann. Aus einer Messung entstehen also mehrere Ergebnisse, basierend auf den drei unterschiedlichen Definitionen von

Partikelgröße. Die Ergebnisse in Bezug auf diese Parameter unterscheiden sich deutlich, was zugleich die unregelmäßige Kornform beschreibt: bei kugelförmigen Partikeln wären die Verteilungen für alle drei Größendefinitionen identisch. Im Vergleich liefert das Ergebnis der Laserbeugung, welche die Partikel als kugelförmig voraussetzt, nur einen Querschnitt über Breite und Länge der Partikel. Dadurch entspricht die Verteilung, welche mittels Laserbeugung erhalten wird, am meisten der Definition „kreisäquivalenter Durchmesser“ der Bildanalyse. In den beiden Beispielen in Abb. 5 sind die Medianwerte (d_{50}) gut vergleichbar, gleiches gilt für die Menge an Feinanteil $< 200 \mu\text{m}$. Laserbeugung ist also durchaus in der Lage, Kaffeepulver einigermaßen zuverlässig zu charakterisieren. Schwierig ist allerdings die korrekte Erfassung von Grobanteil. Da mit zunehmender Partikelgröße die Beugungswinkel immer kleiner werden, ist dies messtechnisch schwieriger zu erfassen. Die Auflösung der Geräte wird also für große Partikel zwangsläufig schlechter. Außerdem erzeugen geringe Mengen Überkorn möglicherweise nicht genug Signal, um im Ergebnis repräsentiert zu werden. Dies wird im Beispiel in Abb. 5b besonders deutlich: die Bildanalyse findet Partikel von bis zu 2 mm Länge, das Laser-Ergebnis zeigt keine Partikel $> 1200 \mu\text{m}$ an!

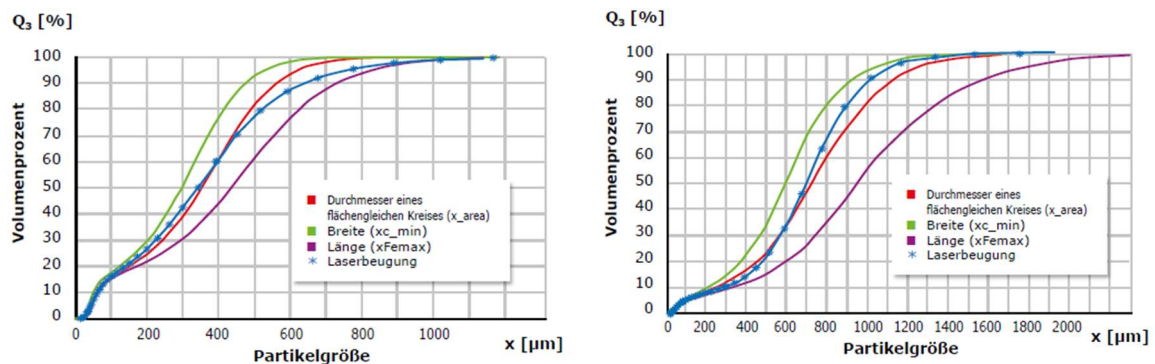


Abb. 5a (links): Messergebnisse einer Kaffeeprobe, ca. $10 \mu\text{m} - 1000 \mu\text{m}$. CAMSIZER X2 und Laserbeugung.

Abb. 5b (rechts): Messergebnisse einer Kaffeeprobe, ca. $10 \mu\text{m} - 2000 \mu\text{m}$. CAMSIZER X2 und Laserbeugung.

Das Problem bei der Siebanalyse von Kaffeepulver liegt in der schlechten Siebbarkeit des Produktes. Der Ölgehalt führt unweigerlich zu Verklumpungen, Anhaftungen am Siebrahmen und Verstopfung der Siebmaschen. Unterhalb von $200 \mu\text{m}$ sollte auf jeden Fall Luftstrahlsiebung verwendet werden. All dies stellt einen hohen zeitlichen Aufwand dar, um eine Größenverteilung zu ermitteln, die letztendlich nicht mehr als acht Datenpunkte (= Anzahl der verwendeten Siebe) umfasst. Beim Vergleich mit der Dynamischen Bildanalyse zeigt sich, dass die Siebdaten sehr gut vergleichbar sind mit der Größendefinition „Partikelbreite“ (Abb. 6). Dies liegt daran, dass die Körner sich während des Siebvorgangs so orientieren, dass sie mit ihrer kleinstmöglichen Projektionsfläche durch ein Sieb treten. Siebanalyse ermittelt daher tendenziell die Partikelbreite. Aus diesen Beobachtungen ergibt sich weiterhin, dass ein Vergleich zwischen Siebanalyse und Laserbeugung für unregelmäßig geformte Partikel wie Kaffeepulver kaum sinnvoll und zuverlässig erreicht werden kann.

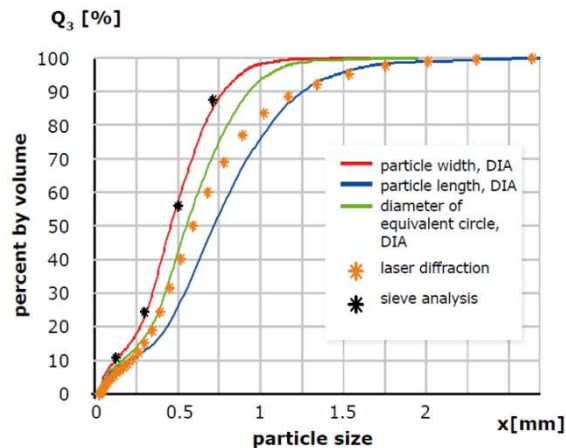


Abb. 6: Analyse einer Probe Kaffeepulver mit Laserbeugung (orange), Siebanalyse (schwarz) und dynamischer Bildanalyse CAMSIZER X2: Partikelbreite (rot), Partikellänge (blau), kreisäquivalenter Durchmesser (grün). Man beachte den großen Unterschied zwischen Laserbeugung und Siebanalyse.

Zusammenfassung

Bei der Analyse von Kaffeepulver mit dynamischer Bildanalyse kommen die Vorteile der Methode voll zur Geltung. Allerdings ist zu beachten, dass nur mit einem Zwei-Kamera-System wie dem CAMSIZER X2 ein Messbereich realisiert wird, der die breite Größenverteilung von Kaffeepulver in einer Analyse erfassen kann. Durch die simultane Verwendung von zwei Kameras (CCD-Zoom und CCD-Basic) mit unterschiedlichen Abbildungsmaßstäben werden Fein- und Grobanteil in korrekt erfasst. Eine Voreinstellung des Messbereiches durch Auswahl geeigneter Linsen oder Objektive, wie es bei vielen anderen Bildanalysatoren und zum Teil sogar bei Laserbeugungsgeräten erforderlich ist, entfällt dadurch vollkommen. Beide Kameras tragen zum Messergebnis bei, die Berechnung der Größenverteilung geschieht automatisch. Bei Kaffeepulver ist es wichtig, die gesamte Verteilung möglichst genau zu erfassen, um das Extraktionsverhalten, Menge an gelösten Substanzen und somit letztlich den Geschmack zuverlässig vorhersagen zu können.

So werden CAMSIZER-Daten beispielsweise benutzt, um Mahlwerke von Kaffeefullautomaten werkseitig korrekt einzustellen, damit die für den Brühprozess optimale Partikelgrößenverteilung erzielt wird.

For further information please contact us at:

www.microtrac.com