

## WHITEPAPER

# SIEBKORRELATION MIT DER FRITSCH A-28

## Von traditioneller zur modernen Partikelanalyse

In der Partikelcharakterisierung sind die Siebanalyse und die dynamische Bildanalyse zwei etablierte Methoden zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung. Während die Siebanalyse ein klassisches, mechanisches Verfahren darstellt, bietet die dynamische Bildanalyse eine moderne Alternative mit erweiterten Möglichkeiten zur Charakterisierung der Partikelmorphologie. Aufgrund ihrer einfachen Handhabung und geringen Kosten wird die Siebanalyse weltweit in vielen Laboren eingesetzt. Allerdings bringt sie einige Einschränkungen mit sich, darunter eine begrenzte Auflösung der Partikelgrößenklassen, eine hohe Fehleranfälligkeit, der hohe Personalaufwand sowie verschiedene technische Nachteile. Diese Faktoren führen dazu, dass sie zunehmend durch moderne Analysemethoden ersetzt wird.

Die Ergebnisse der beiden Verfahren weichen je nach Material und Partikelmorphologie unterschiedlich stark voneinander ab. Während die Siebanalyse die Masse der Partikel als Grundlage nimmt, basiert die dynamische Bildanalyse auf deren Volumen. Ein entscheidender Einflussfaktor für diese Unterschiede ist die Partikelform, da nicht-sphärische Partikel in den beiden Methoden unterschiedlich klassifiziert werden. Um eine zuverlässige Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, ist daher eine Korrelation der Datensätze beider Analysemethoden erforderlich.

### MESSPRINZIP UND NACHTEILE KONVENTIONELLER SIEBANALYTIK

Die Siebanalyse (Abbildung 1) basiert auf der mechanischen Trennung von Partikeln mithilfe von Sieben mit definierten Maschenweiten. Je nach Verfahren werden die Partikel durch Gravitation, Vibration oder einen Luftstrom durch die Sieböffnungen geleitet. Die Masse der auf den einzelnen Sieben zurück-gehaltenen Partikelfraktionen wird gewogen und als kumulative Partikelgrößenverteilung dargestellt. Es existieren verschiedene Siebverfahren, die sich hinsichtlich der Art der Bewegung und des eingesetzten Trennprinzips unterscheiden. Bei der vertikalen Siebbewegung werden die Partikel wiederholt in die Höhe transportiert, wodurch sie optimal durch die Sieböffnungen geleitet werden. Dieses Verfahren eignet sich besonders für trockene, nicht-klebrige Materialien. Zur Erhöhung der Effizienz und zur Vermeidung von Verstopfungen kommen häufig Siebhilfen in Form von Kugeln aus Keramik oder Polymer zum Einsatz. Diese halten die Sieböffnungen frei, indem sie das Material auflockern und einen besseren Durchlass ermöglichen. Dabei dürfen die Kugeln die Partikel nicht aktiv zerkleinern. Im Gegensatz dazu bewegen sich die Partikel bei der horizontalen Siebung parallel zur Sieboberfläche. Diese Methode wird für empfindliche oder brüchige Materialien bevorzugt, da sie eine schonendere Trennung ermöglicht. Ein weiteres Verfahren ist die Luftstrahlsiebung, bei der ein gezielter Luftstrom feine Partikel durch das Sieb transportiert. Dieses Verfahren eignet sich für sehr feine oder haftende Pulver, da es Verstopfungen reduziert und eine präzisere Trennung gewährleistet. Für sehr feine oder kohäsive Partikel kann zudem eine Nasssiebung durchgeführt werden. Dies verbessert die Trennschärfe und verhindert, dass feine Partikel aneinander haften bleiben.



**Abbildung 1:** FRITSCH Siebtürme A-3 (oben) und A-18 (unten) für verschiedene Anwendungen und Aufgabemengen.

Trotz ihrer einfachen Handhabung weist die Siebanalyse verschiedene Nachteile auf, die die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messergebnisse beeinträchtigen können. Ein wesentliches Problem ist die begrenzte Auflösung und Klassifizierung, da die Methode mit fest definierten Sieböffnungen arbeitet. Dadurch kann die Partikelgrößenverteilung nur diskret erfasst werden, sodass eine exakte Bestimmung der tatsächlichen Partikelgröße zwischen zwei Siebstufen nicht möglich ist. Ein weiterer Nachteil betrifft die Fehlklassifikation nicht-sphärischer Partikel. Da die Siebanalyse auf der Annahme einer äquivalenten Kugelgröße basiert, können längliche, faserige oder plättchenförmige Partikel sich querlegen und dadurch eine größere Partikelgröße „vortäuschen“. Umgekehrt können sie in einer ungünstigen Orientierung durch kleinere Sieböffnungen fallen, was die Messgenauigkeit beeinträchtigt. Zusätzlich können Agglomeration und elektrostatische Effekte die Ergebnisse verfälschen. Besonders feine oder feuchte Partikel neigen dazu, sich zu verklumpen oder an Siebgeweben und anderen Partikeln haften zu bleiben. Elektrostatische Aufladungen verstärken diesen Effekt und können die Trennung der Partikel erschweren. Auch der mechanische Verschleiß und die Alterung der Siebe sind problematisch. Durch wiederholte Belastung können sich die Sieböffnungen verformen oder verstopfen, was zu Messabweichungen führt. Eine regelmäßige Kalibrierung und der rechtzeitige Austausch der Siebe sind daher unerlässlich. Doch selbst bei fabrikneuen Sieben ergeben sich Fehler, die auf die Toleranzen der Maschenweiten nach ISO 3310-1 zurückzuführen sind. So sind beispielsweise Abweichungen von mehr als 3 % der mittleren realen Weite und mehr als 15 % Abweichung einer einzelnen Masche von dem Nominalwert möglich.

Weiterhin erfordert die Siebanalyse einen hohen Messaufwand. Im Vergleich zu modernen Verfahren wie der dynamischen Bildanalyse ist die Siebung zeitintensiv, insbesondere wenn die Fraktionen manuell gewogen und ausgewertet werden müssen. In diesem Zusammenhang muss auch der Faktor Mensch selbst als eine der Hauptfehlerquellen identifiziert werden: Bereits bei der Probenvorbereitung können Ungleichmäßigkeiten auftreten, wenn die Probennahme nicht repräsentativ erfolgt oder das Material unzureichend gemischt wird. Auch bei der Ausführung einer Siebung sind Fehler möglich: Eine Überlastung der Siebe verfälscht das Siebergebnis signifikant, da etwa durch eine zu hohe Partikelschicht einzelne Siebmaschen blockiert werden und die Effizienz der Trennung verringert wird. Eine zu kurze Siebdauer führt zu ungenauen Trennungen, während unterschiedliche Siebbewegungen (vertikale oder horizontale) das Ergebnis beeinflussen. Ein weiterer kritischer Punkt ist die Wägung der Fraktionen. Ungenau tarierte Waagen oder Verluste durch unsauberes Umfüllen verfälschen die Messung zusätzlich. Auch die Interpretation der Ergebnisse spielt eine Rolle: Fehlerhafte Berechnungen der kumulativen Partikelgrößenverteilung oder falsche Annahmen über die Partikelform können zu Fehleinschätzungen führen. Schließlich wirkt sich die Reinigung, Wartung und Kalibrierung der Siebe auf die Messergebnisse aus. Abgenutzte oder verformte Siebgewebe werden oft nicht rechtzeitig ersetzt und verstopfte Siebe können falsche Messwerte liefern. All diese Faktoren beeinflussen die Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Siebanalyse erheblich und machen deutlich, dass die Siebanalyse trotz ihrer etablierten Anwendung Grenzen hat, die durch moderne, standardisierte Analysemethoden überwunden werden können und zu zuverlässigeren Ergebnissen führen.

## **MESSPRINZIP DER DYNAMISCHEN BILDANALYSE UND VORTEILE DER FRITSCH A-28**

Die dynamische Bildanalyse nach ISO 13322 ist in zahlreichen Industriezweigen etabliert und nutzt Hochgeschwindigkeitskameras sowie leistungsfähige Bildverarbeitungsalgorithmen zur präzisen Bestimmung von Partikelgröße und -form. Dabei werden die Partikel in einer strömenden Flüssigkeit oder Gasphase transportiert und innerhalb einer Messkammer illuminiert. Die Kamera erfasst die Schattenprojektion, aus der verschiedene Größen- und Formparameter analysiert werden. Neben der Partikelgrößenverteilung lassen sich so auch Formmerkmale wie Aspektverhältnis, Rundheit und Konvexität bestimmen.



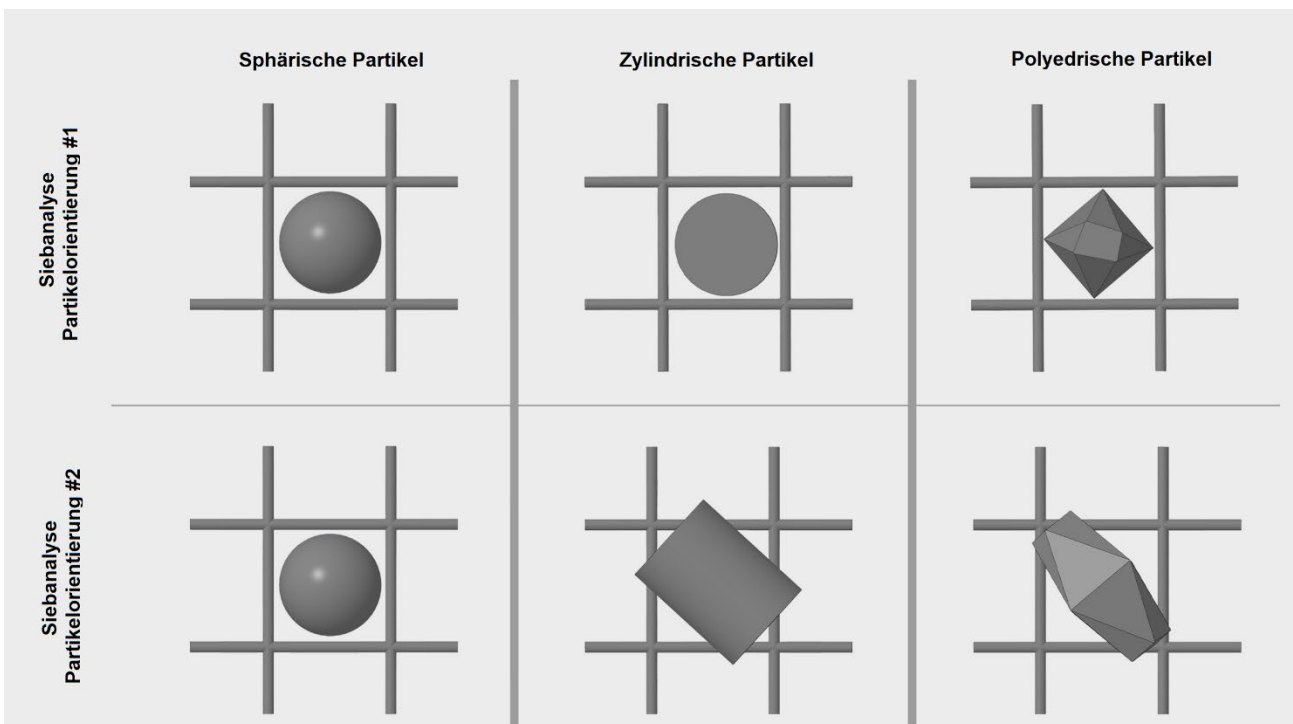
**Abbildung 2:** FRITSCH Partikelanalysator A-28 mit Freifall-Option und Nassdispergierereinheit für vielfältige Anwendungsbereiche.

Mit dem Partikelanalysator A-28 der Firma Fritsch (Abbildung 2) können in Echtzeit und mit einer Aufnahmegeschwindigkeit von bis zu 75 Bildern pro Sekunde schnell über eine Million Partikel erfasst und klassifiziert werden. Im Vergleich zur klassischen Siebanalyse ermöglicht die optische Partikelanalyse eine deutlich schnellere Messung -typischerweise Analysezeiten von nur rund fünf Minuten bei Probenmengen von 10 bis 50 g. Zudem sorgt die werkzeuglose Reinigung für eine zusätzliche Zeitersparnis. Dank einer Auflösung von bis zu 2,5 µm und der Möglichkeit, die Partikel in bis zu 1000 Größenklassen zu unterteilen, erreicht der A-28 eine außergewöhnlich hohe Messgenauigkeit. Die gewonnenen Daten lassen sich mit 23 verschiedenen Größen- und Formparametern in der Software per Klick visualisieren und miteinander korrelieren, um gezielt Zusammenhänge zwischen Partikelform und -größe zu analysieren. Die Messung erfolgt vollständig automatisiert durch vordefinierte *Standard Operating Procedures* (SOPs), wodurch Bedienungsfehler ausgeschlossen werden. Intelligente Algorithmen übernehmen die anschließende Datenauswertung und verhindern individuelle Berechnungsfehler. Durch die fortschrittliche Konstruktion der A-28 ist das System nahezu wartungsfrei und benötigt keinen Austausch von Verschleißteilen.

## NOTWENDIGKEIT EINER DATENKORRELATION

Beim Vergleich der Daten aus Siebanalyse und dynamischer Bildanalyse treten häufig erhebliche Abweichungen auf. Ein wesentlicher Grund dafür liegt in der mehrdeutigen Definition der Partikelgröße. Während sie bei perfekt sphärischen Partikeln eindeutig bestimmbar ist, müssen bei unregelmäßig geformten Partikeln verschiedene Größenparameter wie Feret-Durchmesser, Äquivalentdurchmesser oder Sehnenlänge klar voneinander abgegrenzt werden. Da unterschiedliche Parameter als Grundlage für die Partikelgrößenverteilung herangezogen werden können, ergeben sich entsprechend abweichende Messergebnisse.

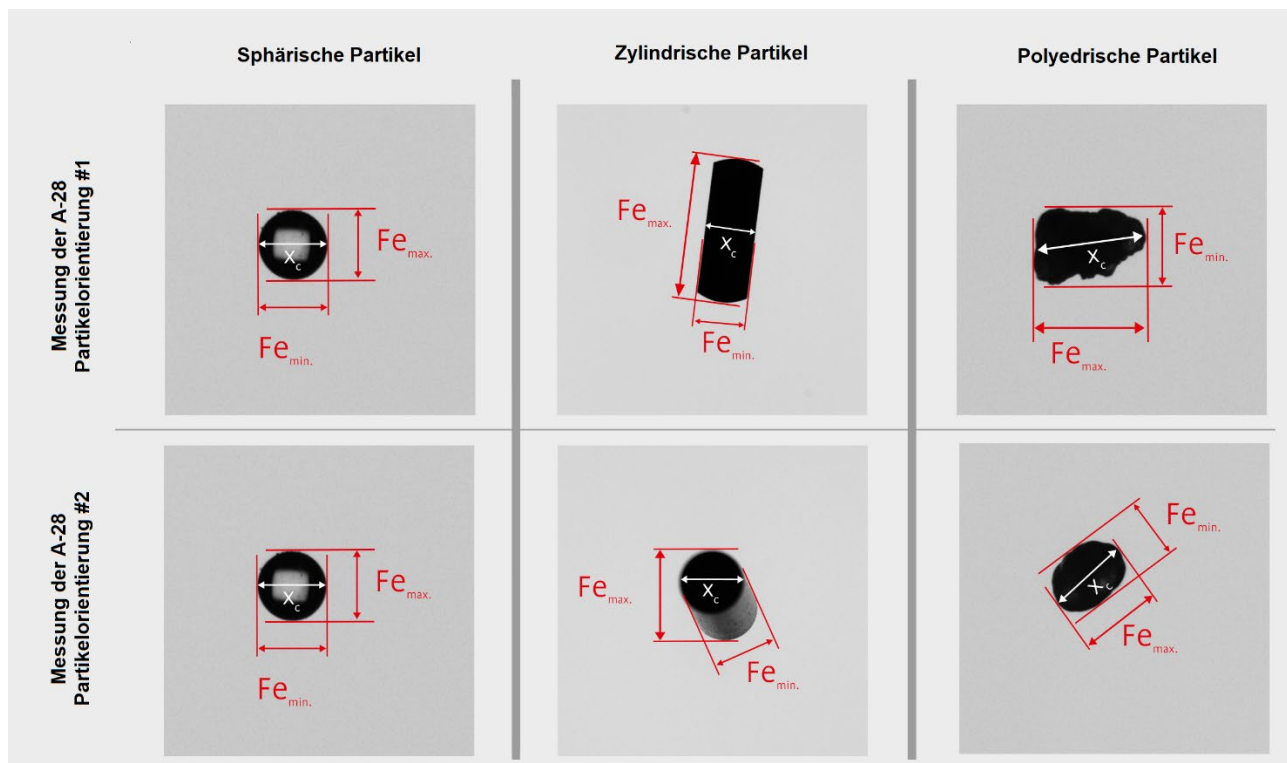
Für einen sinnvollen Vergleich mit Siebdaten muss daher ein geeigneter Parameter gewählt werden. Die minimale Sehnenlänge liefert erfahrungsgemäß die besten Übereinstimmungen mit den Siebergebnissen, da Partikel das Sieb in der Regel mit ihrer kleinsten Projektionsfläche passieren. Sphärische Partikel, wie Glasmikrokugeln, durch Gas- oder Plasmazerstäubung hergestellte Metallpulver oder Latex-Standards, stellen dabei den einfachsten Fall dar, da ihre gemessene Größe unabhängig von der Orientierung bleibt. Dennoch weichen selbst bei perfekt kugelförmigen Partikeln die Ergebnisse der dynamischen Bildanalyse von denen der Siebung ab. Hauptursachen sind die Abweichung der realen Siebmaschenweite von der nominalen Öffnung sowie menschliche Fehler bei der Siebung.



**Abbildung 3:** Darstellung von sphärischen (links), zylindrischen (mittig) und polyedrischen (rechts) Partikeln, die unterschiedliche Orientierungen in Bezug auf das zugrunde liegende Siebgewebe zeigen. Je nach Orientierung können dieselben Partikel das Sieb entweder passieren oder blockieren.

Noch deutlicher werden die Unterschiede bei unregelmäßig geformten Partikeln, bei denen systematische Abweichungen zwischen beiden Methoden auftreten. Diese Unterschiede resultieren vor allem aus der zugrundeliegenden Partikelform. Typische Partikelformen sind zylindrische, polyedrische oder plättchenförmige Partikel, die je nach Orientierung verschiedene Wege durch die quadratischen Siebmaschen finden oder von der Kamera der dynamischen Bildanalyse unterschiedlich orientiert erfasst werden (Abbildungen 3 und 4). Zylindrische Partikel – wie extrudierte Kunststoffgranulate, Futter- und Düngemittel oder pharmazeutische Pellets – können das Sieb entweder entlang ihres Durchmessers oder ihrer Länge passieren, was zu variierenden Messergebnissen führt. Dasselbe gilt für die optische Analyse. Plättchenförmige Partikel – wie Graphitpartikel, Aluminiumflakes (z. B. für Effektlacke), Glimmerfragmente oder Zelluloseflakes (z.B. in Verbundwerkstoffen) – zeigen ein ähnliches Verhalten und neigen dazu, sich diagonal zu orientieren. Dadurch kann ihre gemessene Größe sowohl in Richtung der Dicke als auch ihres Durchmessers variieren. In der dynamischen Bildanalyse kann der minimale Sehrendurchmesser je nach Partikelausrichtung größer oder kleiner als das Siebergebnis sein. Erfahrungsgemäß ist die gemessene Partikelgrößenverteilung bei der Bildanalyse jedoch breiter als bei der Siebung. Polyedrische (kantige) Partikel – typischerweise zu finden in Baustoffen und der Metallurgie, etwa in Quarz-, Keramik- oder Metallpulvern (z.B. Aluminiumoxid, Siliziumkarbid oder Kupfer) sowie in Salz- und Zuckergranulaten – können die Siebmaschen ebenfalls in vielfältiger Art und Weise passieren. Eine Siebung kann im Idealfall höchstens die reale Kantenlänge des Polyeders erfassen. Ein Würfel beispielsweise kann entweder exakt durch die Siebmasche passen oder sie blockieren. In der dynamischen Bildanalyse dagegen können Messwerte zwischen der tatsächlichen Kantenlänge und der maximalen Raumdiagonale liegen. Bei einem Würfel können die Abweichungen dabei bis zu  $\sqrt{2}$ -fache der Kantenlänge betragen.

Generell gilt, dass Proben mit einer breiten Partikelgrößenverteilung geringere Abweichungen zwischen Siebung und Bildanalyse als Proben mit einer schmalen Verteilung zeigen. Bei nicht geführten Proben sind die Partikel zufällig orientiert, sodass einige Partikel je nach Ausrichtung größer oder kleiner erscheinen. Bei breiten Verteilungen gleichen sich diese Unterschiede weitgehend aus, während sie bei schmalen Verteilungen stärker ins Gewicht fallen. Dies macht für verschiedene Proben unterschiedliche Korrekturen erforderlich. Dieses Wissen ist entscheidend, um verlässliche und vergleichbare Partikelgrößenanalysen zu gewährleisten. Wichtig ist, dass beide Messverfahren individuelle Messfehler aufweisen, jedoch nur der FRITSCH Partikelanalysator A-28 eine nachträgliche Datenverarbeitung durchführen kann. Durch den Einsatz geeigneter Filter in der Software können falsch orientierte Partikel erkannt und aus dem Datensatz entfernt werden, was die Qualität der Ergebnisse erheblich verbessert.



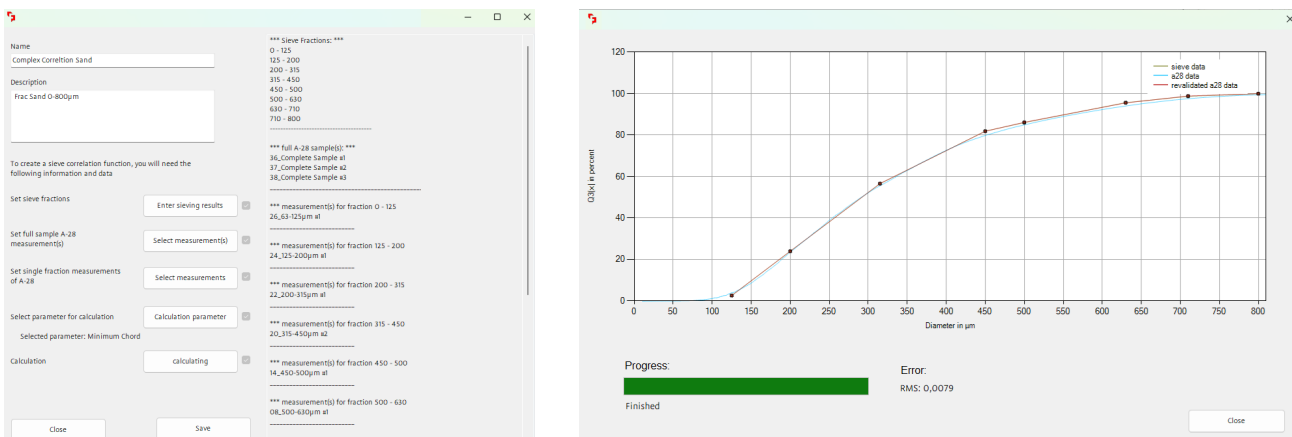
**Abbildung 4:** Bilder der A-28 von sphärischen (links), zylindrischen (Mitte) und polyedrischen (rechts) Partikeln, die unterschiedliche Ausrichtungen zur Kamera zeigen. Im Gegensatz zur Siebmethode können mehrere Parameter wie der minimale Feret-Durchmesser ( $Fe_{min.}$ ), der maximale Feret-Durchmesser ( $Fe_{max.}$ ) oder die minimale Sehnenlänge ( $X_c$ ) für die Berechnung verwendet werden.

## SIEBKORRELATION DER A-28

Aufgrund der unterschiedlichen Effekte der Partikelform bietet die Software der A-28 zwei Ansätze zur Siebkorrelation: die einfache und die komplexe Siebkorrelation. Beide Methoden lassen sich unkompliziert erstellen und anwenden: Zunächst wird eine Korrelationsfunktion auf Basis von Siebdaten und A-28-Analysedaten derselben Probe erstellt (Abbildung 5). Diese Funktion kann anschließend auf zukünftige Analysedaten der A-28 für vergleichbare Proben angewendet werden, um Siebwerte zu simulieren. Dies ermöglicht beispielsweise einen Vergleich mit zuvor durchgeführten Siebanalysen anderer Chargen.

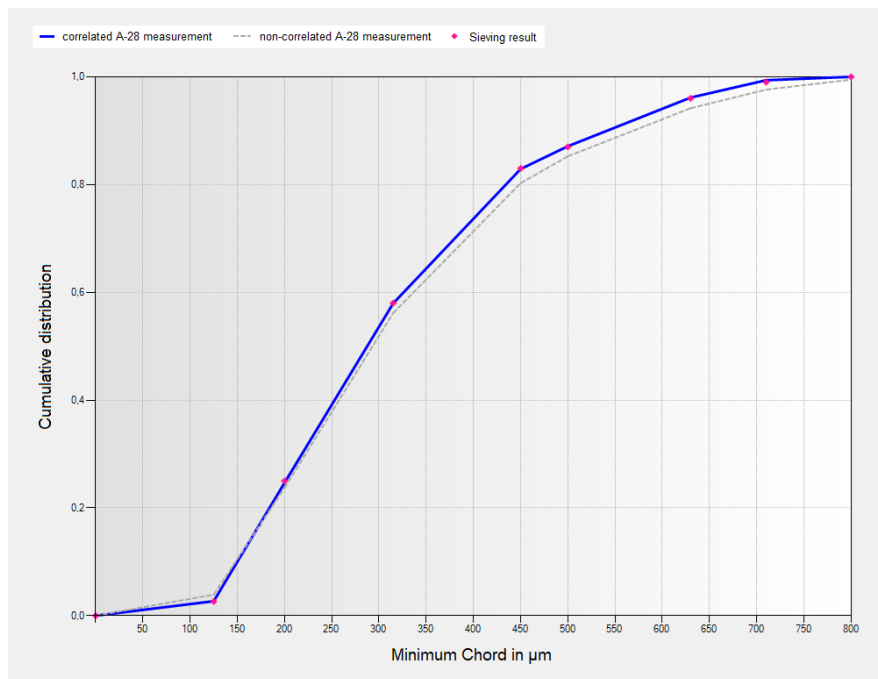
Die einfache Siebkorrelation ist insbesondere für sphärische Partikel geeignet. Sie basiert auf einer einfachen Parallelverschiebung der Partikelgrößenverteilung – wahlweise entlang der Ordinate oder der Abszisse. Um eine einfache Siebkorrelation zu erstellen, werden lediglich die Siebdaten sowie die A-28-Analysedaten der gesamten Probe benötigt. Neben der minimalen Sehnenlänge können auch andere Größenparameter als Berechnungsgrundlage verwendet werden, um eine die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Anhand einer grafischen Darstellung kann die Qualität der Übereinstimmung überprüft und der Berechnungsparameter gegebenenfalls angepasst werden.

Für nicht-sphärische Partikel reicht eine einfache Verschiebung nicht aus, da die Unterschiede zwischen dynamischer Bildanalyse und Siebung stark von der Partikelform abhängen. In diesem Fall kommt die komplexe Siebkorrelation zum Einsatz (Abbildung 5). Diese beruht auf individuell berechneten Korrekturfaktoren, die für jede Partikelklasse der Siebanalyse angepasst werden. Zur Erstellung werden neben den Siebdaten und den A-28-Analysedaten der gesamten Probe zusätzlich die A-28-Analysedaten der einzelnen Siebfractionen benötigt. Auch hier kann der Berechnungsparameter variiert und die Qualität der Korrelation überprüft werden. Da die Korrelation jede Siebfraction berücksichtigt, bietet der zugrunde liegende Algorithmus eine wesentlich höhere Genauigkeit und Robustheit als Methoden, die lediglich eine einzelne Fraction zur Anpassung heranziehen (Abbildung 6).



**Abbildung 5:** Grafische Benutzeroberfläche, die den Anwender durch den Prozess einer komplexen Siebkorrelation führt (links). Qualitätsprüfung der Korrelation durch Vergleich der Siebdaten mit den korrelierten Ergebnissen, einschließlich der Ausgabe des quadratischen Mittelwertfehlers (rechts). Dargestellt ist die englische Version der Software.

Bei der Anwendung der Korrelationsfunktion auf nachfolgende Proben ist darauf zu achten, dass sie nur bei vergleichbarer Partikelform und Verteilungsbreite gültig bleibt. Falls sich einer dieser Parameter signifikant ändert, verliert die Korrelation ihre Gültigkeit. Die Grundvoraussetzung für eine präzise und konsistente Siebkorrelation ist eine hohe Genauigkeit der Siebanalyse. Fehlerhafte Siebdaten oder eine ungenaue Trennung der Fractionen können die Qualität der Korrelation erheblich beeinträchtigen. Es sei nochmals betont, dass die Siebanalyse in vielerlei Hinsicht gegenüber der dynamischen Bildanalyse qualitativ unterlegen ist. Eine Korrelation dient daher lediglich dazu, das präzisere Messergebnis auf das weniger genaue Siebergebnis zu transferieren. Dieses Vorgehen mag zur Datenvergleichbarkeit nachvollziehbar sein, sollte jedoch insbesondere in der Qualitätssicherung nur als kurzfristige Übergangslösung betrachtet werden. Der sinnvollere Ansatz besteht darin, die Produkte mit der überlegenen Messtechnik neu zu qualifizieren und auf dieser Basis aktualisierte Produktspezifikationen zu definieren.



**Abbildung 6:** Grafische Darstellung der kumulativen Verteilung unter Verwendung der komplexen Siebkorrelation der A-28. Vergleich der Ergebnisse vor der Korrelation (gestrichelte graue Linie) sowie nach der Korrelation (durchgezogene blaue Linie) auf Grundlage der minimalen Sehnenlänge. Die rosa Punkte stellen die ursprünglichen Siebergebnisse dar. Zur besseren Übersicht wurden die Balkendiagramme, die normalerweise die Dichteverteilung der Messungen darstellen, in dieser Grafik entfernt. Dargestellt ist die englische Version der Software.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die dynamische Bildanalyse spielt eine zentrale Rolle bei der umfassenden Charakterisierung unterschiedlichster Partikel und schafft eine zuverlässige Datenbasis für wissenschaftliche und industrielle Anwendungen. Obwohl die Siebanalyse als bewährte Methode weiterhin relevant ist, bietet die dynamische Bildanalyse entscheidende Vorteile, insbesondere bei der detaillierten Erfassung der Partikelform. Moderne Systeme wie die A-28 von Fritsch ermöglichen eine schnellere und präzisere Analyse, wodurch die Limitierungen der klassischen Siebtechnik überwunden werden. Allerdings führen verschiedene Einflussfaktoren zu systematischen Abweichungen zwischen beiden Methoden, weshalb eine Datenkorrelation erforderlich ist. Die Siebkorrelation der A-28 stellt hierfür eine praxisnahe und robuste Lösung bereit – sowohl für sphärische als auch für nicht-sphärische Partikel. Sie ermöglicht eine vergleichbare Auswertung der Messdaten und erleichtert so den schrittweisen Übergang von der traditionellen Siebanalyse zur modernen Bildanalyse.

### Autor:

Dr.-Ing. Dominique Decker  
Bereichsleiter Sizing

FRITSCH GmbH

E-Mail: [decker@fritsch.de](mailto:decker@fritsch.de)

Besuche unsere Website und erfahre mehr über die A-28:

