

NETZSCH

Proven Excellence.



Dokumentieren und Verarbeiten von Versuchsdaten – Fehlerbetrachtung

DOKUMENTIEREN UND VERARBEITEN VON VERSUCHSDATEN – FEHLERBETRACHTUNG

Dr. Stefan Mende & Ludwig Flessa | NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH, Selb | Deutschland

1. EINLEITUNG

Versuchs- und Labordaten, sowie die Ergebnisse von Analysen sind der Schlüssel für die erfolgreiche Entwicklung neuer Prozesse. Zunächst ist es wünschenswert, dass die Ergebnisse von Versuchen, unabhängig vom Bearbeiter immer nach den gleichen Gesichtspunkten so dokumentiert werden, dass ein repräsentativer sowie reproduzierbarer Report entsteht. Weiterhin sollte der Report so angelegt werden, dass die Ergebnisse, Anmerkungen und Notizen beim späteren Lesen ohne zusätzliche Erklärungen des früheren Bearbeiters eine vollständige und eindeutige Beschreibung des Versuchsablaufs und der Ergebnisse ergibt.

Bei der Vorbereitung und Durchführung von Versuchen, bei der Probenahme, Probenverarbeitung, der Analyse und der Dokumentation können zahlreiche Fehler vermieden werden. Der vorliegende kleine Artikel gibt Vorschläge und Anregungen, wie z.B. die Ergebnisse von Versuchen mit Rührwerkskugelmøhlen dokumentiert und gespeichert werden können und welche Fehler sich bei der Versuchsdurchführung, Probenahme, Charakterisierung und Auswertung einschleichen können.

2. VERSUCHSVORBEREITUNG

Für die erfolgreiche Durchführung von Versuchen ist eine gewissenhafte Versuchsvorbereitung die Grundvoraussetzung. Zu den wesentlichen Vorbereitungsschritten gehört die genaue Definition der Versuchsziele, die Analyse der Ausgangssituation (Rohstoffanalyse) und die Vorbereitung des Protokolls.

Das Versuchsziel kann dabei ganz unterschiedlich sein. Einerseits kann es sich bei den durchzuführenden Untersuchungen um eine Machbarkeitsstudie handeln, dessen Zielstellung eine definierte Partikelgröße, Partikelgrößenverteilung, Farbstärke, Transparenz, Glanz oder eine bestimmte Löslichkeit oder auch ein Geschmack darstellen kann.

Andererseits kann die Zielstellung der Untersuchungen auch eine Prozessoptimierung oder eine Skalierung in einen Produktionsmaßstab sein. In diesem Fall werden zusätzliche Informationen protokolliert oder auch zusätzliche Messungen durchgeführt.

Im Versuchsprotokoll erfolgt schon vor der eigentlichen Versuchsdurchführung die Dokumentation von Zielstellung, Versuchsaufbau, verwendeter Materialien und Rezepturbestandteile, Festlegung des Versuchsablaufs, beteiligte Personen und der Materialvorbehandlung.

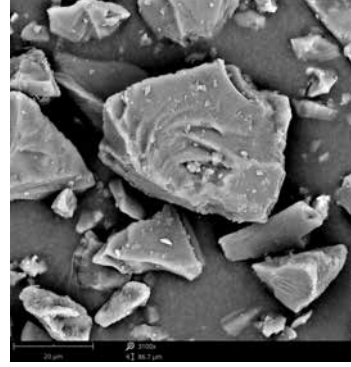
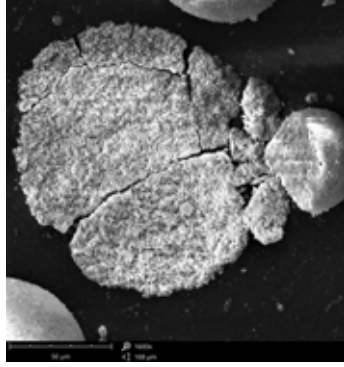
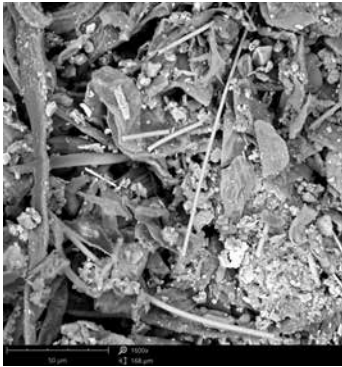
Die genaue Dokumentation des Versuchsaufbaus mit Maschinenbestandteilen, Materialausführung, verwendeter Pumpe und Mahlkörpern ist ebenso wichtig, wie die spätere Dokumentation von Versuchsdaten und Ergebnissen.

Bevor festgelegt wird, welches Mahlsystem und welche Mahlkörper zum Einsatz kommen, ist die Charakterisierung des Versuchsmaterials durch Partikelgrößenanalyse und falls vorhanden durch eine Betrachtung mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) hilfreich.

Zusätzlich ist oft auch eine Siebung des Ausgangsmaterials mit einem Analysensieb sehr aufschlussreich. Mit den Methoden der Partikelgrößenanalyse oder auch mit dem Rasterelektronenmikroskop werden nur sehr geringe

Abbildung 1

REM Aufnahmen von Proben mit unterschiedlicher Zusammensetzung und Struktur



Probenmengen charakterisiert. Bei der Siebung mit einem Analysensieb können größere Probenmengen klassiert werden. Dies ist vor allem dann sehr hilfreich, wenn Aufschluss über eventuell vorhandenes Grobgut notwendig ist.

Mit Hilfe der Partikelgrößenanalyse, z.B. durch Laserbeugungsverfahren, statischer Lichtstreuung oder dynamischer Lichtstreuverfahren werden keine Informationen zur Zusammensetzung, Morphologie, Oberflächenstruktur oder Partikelform ermittelt.

In Abb. 1 sind drei Proben von Versuchsmaterialien mit vollkommen unterschiedlicher Zusammensetzung und Struktur dargestellt. Während bei dem Material auf dem linken Bild mehrere Komponenten mit sehr verschiedener Form und unterschiedlicher

Partikelgröße gemischt sind, zeigt die Abbildung in der Mitte ein großes zerbrochenes Agglomerat aus sehr kleinen Primärpartikeln. Die Abbildung rechts zeigt dagegen große Primärpartikeln.

Informationen über die Zusammensetzung, die Partikelform, die Struktur oder über das Vorhandensein faseriger Bestandteile sind bei der Auswahl des Mahlsystems und der Betriebsparameter sehr wichtig.

Ebenso muss durch das Studium der Sicherheitsdatenblätter (Material safety data sheets (MSDS)) geklärt werden, ob bei einem Versuch besondere Maßnahmen notwendig sind, um die Produktsuspension hinsichtlich Sicherheits- und Umweltaspekten, mit gebotener Sorgfalt zu verarbeiten.

2.1. Aufbau der Versuchsanlage

Vor dem Aufbau der Versuchsanlage müssen verschiedene Aspekte geklärt werden:

- Auswahl einer geeigneten Methode für die Vordispersierung
- Auswahl des Mühlentyps, der Materialausführung und der Fahrweise der Mühle
- Auswahl der Mahlkörpersorte und der Mahlkörpergröße
- Die Leerlaufkennlinie der Versuchsmaschine sollte während des Versuches gemessen werden
- Auswahl der am besten geeigneten Pumpe (Zahnradpumpe, Schlauchpumpe oder Membranpumpe), eventuelle Notwendigkeit eines Pulsationsdämpfers beachten.
- Bei der Kreislauffahrweise – Auswahl eines geeigneten Rührers im Ansatzbehälter

All diese Aspekte sind entscheidend für die erfolgreiche Versuchsdurchführung. Umfangreiche Erklärungen und Hinweise zur Prozessgestaltung und Prozessoptimierung werden im NETZSCH- Kompendium – Zerkleinerung und Charakterisierung von Partikeln gegeben [1].

Beim Aufbau der Versuchsanlage sollte einigen Punkten besondere Beachtung geschenkt werden.

Zunächst sollte kontrolliert werden, dass alle verwendeten Maschinen und Anlagenteile sauber sind. Wird der Versuchsansatz nicht fertig vorgegeben kann der Versuchsaufbau vor Versuchsbeginn mit dem verwendeten Dispersionsmedium gespült werden. Dazu wird bei einem Versuch in Kreisfahrweise eine bestimmte Menge (z.B. 2 kg Flüssigkeit) eingewogen und in den Ansatzbehälter gegeben. Anschließend wird die Flüssigkeit bei eingeschalteter Mühle im Kreislauf durch die komplette Anlage gepumpt. Dabei können sich eventuell vorhandene Rückstände an Maschinenteilen oder Mahlkörpern lösen, die dann mit der Spülflüssigkeit entfernt werden. Gleichzeitig kann mit dieser Methode überprüft werden, ob alle Rohrleitungsübergänge und der Mahlbehälter dicht sind. Nachdem Ablassen der Spülflüssigkeit wird die Masse zurückgewogen. Die Differenz ist in der Mahlanlage zurückgeblieben. Sollte eine stärkere Verunreinigung festgestellt werden, kann der Schritt mehrere Male wiederholt werden. Die im Mahlssystem verbliebene Restmenge ist bei der Herstellung des Versuchsansatzes zu berücksichtigen.

Soll eine Spülung vor einem Versuch in Passagenfahrweise durchgeführt werden, muss die im Mahlraum zurückgebliebene Spülmittelmenge nicht bestimmt werden. Im späteren Versuch ist in jedem Fall eine Probenahme erst sinnvoll, wenn sich ein statischer Zustand eingestellt hat. Dieser ist erfahrungsgemäß erreicht, nachdem der Mahlrauminhalt ca. viermal vollständig ausgetauscht wurde (s. Kap. Probenahme).

Es ist bei Versuchen in Passagenfahrweise dafür zu sorgen, dass genügend Versuchsmaterial vorhanden ist, um den statischen Zustand zu erreichen, da eine Probenahme und Qualitätsanalyse nur nach dem Erreichen des statischen Zustandes zu reproduzierbaren und sinnvollen Ergebnissen führt.

Es ist sinnvoll eine Funktionskontrolle von Pumpe und Maschine sowie den eventuell notwendigen Wechsel von Sperrflüssigkeit durchzuführen, bevor der komplette Aufbau erfolgt.

2.2. Laborrührwerkskugelmühle *LABSTAR*

Ein besonderes Multitalent ist die Laborrührwerkskugelmühle *LABSTAR*. Diese Labormaschine kann sowohl als klassische Scheibenrührwerkskugelmühle mit *DISCUS*®-Mahlsystem als auch mit den Stiftmahlsystemen *ZETA*® oder *NEOS*® betrieben werden. Ebenso können alle möglichen Betriebsweisen, wie die Kreis-, Passagen- oder Mehrpassagenfahrweise mit dieser Maschine im Labormaßstab nachgestellt werden. Die Mühle ist in unterschiedlichen Materialausführungen wie Stahl, Nelast oder verschiedenen Keramiken erhältlich. Zudem zeichnet sie sich auf Grund des schwenkbaren Mahlraums ebenfalls durch eine sehr bedienerfreundliche Handhabung aus. Dank eines Adaptersystems ist es möglich, sowohl das Mahlsystem der *MICRO*- & *MINISERIE* mit einem Mahlraumvolumen von ca. 100 ml oder 200 ml mit dem *LABSTAR* zu kombinieren. Dadurch ist diese Mühle ausgesprochen flexibel für alle Aufgaben im Bereich Forschung und Entwicklung einsetzbar.

Der *LABSTAR* ist die kleinste Rührwerkskugelmühle, mit der für scale-up-Rechnungen in den Produktionsmaßstab anhand von Laborversuchen der spezifische Energiebedarf für jede Anwendung sicher und reproduzierbar ermittelt werden kann.

2.3. Einfüllen von Mahlkörpern

Mahlkörper sollten immer über die Einwaage der Mahlkörpermasse nicht als Volumen einfüllen werden. Grund dafür ist die Tatsache, dass die exakte Bestimmung eines Schüttvolumens sehr schwierig ist und unterschiedliche Personen oft sehr unterschiedliche Massen an Mahlkörpern erhalten, wenn sie das gleiche Volumen abmessen.

Bei einem einfachen Test im Labor wurden 10 unterschiedliche Personen gebeten von den gleichen Mahlkörpern 10mal hintereinander ein Volumen von einem Liter der gleichen Mahlkörper abzumessen. Die Abweichungen der Massen bei einer Person betrugen ca. 6 % zwischen dem maximalen und dem minimalen Gewicht. Beim Vergleich aller 100 Proben aller Probanden ergab sich eine maximale Differenz von ca. 20 %, obwohl alle Proben mit dem gleichen Messbecher abgemessen wurden. Deshalb ist es wesentlich repräsentativer, mit Hilfe der vom Hersteller angegebene Schüttdichte die Mahlkörpermasse abzuwiegen und in den Mahlraum einzufüllen. Hierbei muss nur darauf geachtet werden, dass bei Einwiegen der Mahlkörper die Waage richtig tariert ist.

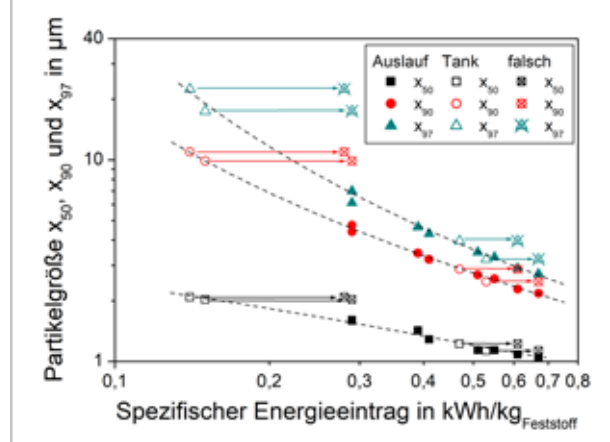
3. PROBENAHEME

3.1. Probenahme im Kreislaufprozess

Bei einem Versuch in Kreisfahrweise muss festgelegt werden, wo die Entnahme der Analyseproben erfolgen soll, da sich für die Probeentnahme am Auslauf der Maschine oder aus dem Ansatzbehälter unterschiedliche spezifische Energieeinträge ergeben (s. Abb. 2).

Abbildung 2

Ergebnisse aus zwei identischen Zerkleinerungsversuchen



Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden. Wird ein Kreislaufprozess gestartet wird aus dem Ansatzbehälter Suspension durch die Mühle gepumpt. Wenn das erste Produkt die Mühle verlässt würde man bei der Probenahme aus dem Tank und am Austrag der Mühle feststellen, dass sich die Produktqualität, bei der Probe, die man aus dem Tank entnommen hat noch nicht verändert hat, da das Produktmaterial die Mühle noch nicht passiert hat, während sich die Qualität der Probe vom Austrag bereits verändert hat. Demnach besteht zwischen der Produktqualität im Tank und am Austrag der Mühle immer ein Qualitätsunterschied der einer Passage durch die Mühle entspricht. Deshalb kann nach dem Erreichen der gewünschten Produktqualität am Austrag der Mühle das Produkt auch über eine Entleerpassage abgefüllt werden ohne dass sich die Produktqualität ändert.

Der spezifische Energieeintrag muss für die Probenahme im Tank (Glg. (1) und (2)) oder am Austrag (Glg. (3) und (4)) unterschiedlich berechnet werden. Dabei ist es sinnvoll bei der Berechnung des spezifischen Energieeintrags den Nettoenergieeintrag auf die Masse der Suspension zu beziehen, wenn das finale Produkt die Produktsuspension ist.

$$E_{m,Spez} = \frac{E_{M,netto}}{m_{Susp}} \quad (1)$$

$$E_{m,Spez} = \frac{E_{M,netto}}{m_{FS}} \quad (2)$$

$$E_{m,Spez} = \frac{E_{M,netto}}{m_{Susp}} + \frac{P_{M,netto}}{\dot{m}_{Susp}} \quad (3)$$

$$E_{m,Spez} = \frac{E_{M,netto}}{m_{FS}} + \frac{P_{M,netto} \cdot \frac{m_{Susp}}{\dot{m}_{Susp}}}{m_{FS}} \quad (4)$$

mit	$E_{m,Spez}$ [Wh/kg]	spezifischer Energieeintrag
	$P_{M,netto}$ [W]	Nettoleistungseintrag
	$E_{M,netto}$ [Wh]	Nettomahlenergie
	m_{Susp} [kg]	Suspensionsmasse
	m_{FS} [kg]	Feststoffmasse
	$\dot{m}_{Susp}$ [kg/h]	Suspensionsmassenstrom

In Abb. 2 wird verdeutlicht, was bei der Auswertung passiert, wenn die Probenahme ausversehen nicht aus dem Auslauf (wie bei diesem Versuch vorgesehen), sondern aus dem Ansatzbehälter erfolgte, die spezifische Energie aber entsprechend der Probenahme aus dem Mühleauslauf berechnet wurde. Die entsprechenden Ergebnisse wurden im Diagramm durchgestrichen und als „falsch“ gekennzeichnet.

Wird der spezifische Energieeintrag jedoch entsprechend dem Probeentnahmeort berechnet fügen sich die Ergebnisse in den erwarteten Verlauf ein (offene Symbole).

3.2. Probenahme bei Prozessen in Passagenfahrweise

In Rührwerkskugelmöhlen unterliegt die kontinuierlich durchströmende Produktsuspension einem Mischvorgang, der bewirkt, dass Anteile des Produktes unterschiedlich lange im Mahlraum verbleiben. Es ergibt sich eine sogenannte Verweilzeitverteilung der Produktsuspension und somit auch eine unterschiedlich starke und häufige Beanspruchung aller Partikeln.

Bei ähnlichem Transportverhalten von Feststoff und flüssiger Phase, d. h. bei hinreichend kleinen Partikeln kann die Verweilzeitverteilung der Produktsuspension durch die impulsartige Injektion einer Salzlösung am Mahlaumeintritt und Messung der Impulsantwort am Mahlaustritt mittels eines Leitfähigkeits-Messgerätes gemessen werden.

Kurz vor Eintritt in den Mahlraum wurde in die zugeführte Mahlgutsuspension impulsartig eine Kochsalzlösung eingespritzt. Die Impulsantwort wurde im Austragrohr mit einem Leitfähigkeits-Messgerät aufgenommen. Unter Berücksichtigung der Verweilzeit im Eintritts- und Austrittsrohr kann aus der gemessenen Leitfähigkeit durch Normierung direkt die Verweilzeitdichteverteilung $E(\Theta)$ im Mahlraum ermittelt werden.

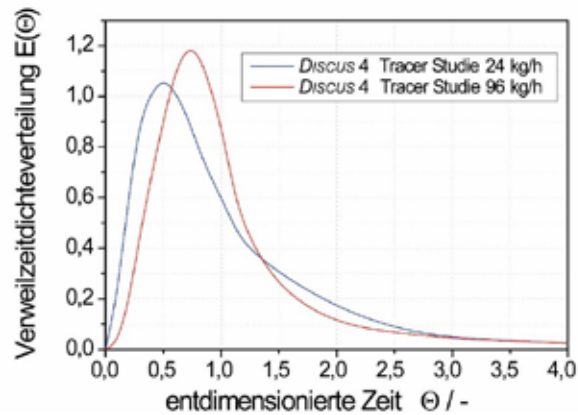
Abb. 3 zeigt eine auf diese Weise gemessene Verweilzeitverteilung für eine typische Betriebseinstellung. Die Dichteverteilung $E(\Theta)$ ist dabei in Abhängigkeit von der dimensionslosen Zeit Θ dargestellt. Zur Berechnung der dimensionslosen Zeit Θ wird die reale Prozessdauer auf die ideale Füllzeit bzw. die theoretische Verweilzeit bezogen. Die theoretische Verweilzeit gibt dabei an, wie lange sich ein Suspensionsbestandteil im Mahlraum aufhalten würde, wenn die Suspension in einer idealen Pfropfenströmung den Mahlraum passieren würde. Die ideale Füllzeit t_F ergibt sich wie folgt:

Würde sich die Suspension wie ein Pfropfen ohne Mischeffekte und ohne Geschwindigkeitsprofil durch Wandreibungseffekte durch den Mahlraum bewegen, würden sich ein Peak exakt bei einer entdimensionierten Zeit von 1 ergeben.

Es zeigt sich aber, dass sich durch Mischeffekte in der Mühle ein großer Teil der Suspensionsbestandteile wesentlich schneller durch den Mahlraum bewegt, während andere Bestandteile mindestens 4mal so lange brauchen, wie die ideale Füllzeit.

Abbildung 3

Tracerstudie zur Verweilzeitverteilung bei Passagenfahrweise



Deshalb wird allgemein definiert, dass sich der statische Zustand bei der Mahlung in Rührwerkskugelmöhlen nach einer Wartezeit statt von mindestens 4mal der idealen Füllzeit einstellt. Erst nach dieser Wartezeit ist das komplette Volumen des Mahlraums mindestens einmal komplett ausgetauscht und erst danach führt die Charakterisierung von Proben zu einem repräsentativen Ergebnis.

$$t_F = \frac{V_{MR} - V_{MK}}{\dot{V}_{Susp}}$$

$$V_{MK} \approx V_{MR} \cdot \varphi_{MK} \cdot (1 - \varepsilon_{MK}) \quad (5)$$

$$t_{stat} = 4 \cdot t_F$$

mit	V_{MR}	$[m^3]$	Mahlraumvolumen
	V_{MK}	$[m^3]$	Feststoffvolumen der Mahlkörper
	ε_{MK}	$[-]$	Porosität der Mahlkörperschüttung
	φ_{MK}	$[\%]$	Mahlkörperfüllgrad
	$\dot{V}_{Susp}$	$[m^3/h]$	Volumenstrom der Produktsuspension

Beispiel:

Ein vordispersierter Ansatz eines Produktes wird in vollkontinuierlicher Fahrweise mit einer Scheibenrührwerkskugelmühle *Discus*® 60 vermahlen. Der Mahlkörperfüllgrad der Mühle beträgt 80%. Der Produktdurchsatz beträgt $500 \text{ l}_{\text{Suspension}}/\text{h}$. Nach der Einstellung einer neuen Rührwellengeschwindigkeit soll ermittelt werden, wie lange gewartet werden muss, bis sich erneut der statische Zustand einstellt:

$$t_F = \frac{V_{MR} - V_{MK}}{\dot{V}_{\text{Suspension}}} = \frac{(55 \text{ l} - 55 \text{ l} \cdot 0,80 \cdot 0,6) \text{ l} \cdot 60 \text{ min}}{500 \text{ l} \cdot \cancel{\text{h}}} = 3,43 \text{ min}$$

$$t_{\text{stat}} = 4 \cdot t_F = \underline{\underline{13,73 \text{ min}}}$$

Der statische Zustand stellt sich also erst nach ca. 14 Minuten wieder ein.

Dieser Aspekt ist vor allem bei der Planung der Versuche zu berücksichtigen, damit ausreichend Material zur Verfügung steht um die geplanten Parametereinstellungen durchführen zu können. Im hier beschriebenen Beispiel würden ca. 125 Liter des Produktes durch die Mühle gepumpt werden, bis sich wieder ein statischer Zustand der Mahlung eingestellt hat.

4. PROBENVORBEREITUNG UND CHARAKTERISIERUNG

4.1. Entwicklung einer Proben-vorbereitungs- und Analysevorschrift

Vor Beginn der ersten Tests sollte man eine genaue Vorstellung über die Partikelgrößenverteilung, die Feststoffkonzentration, die Formulierung sowie über Grenzwerte für Kontamination und Temperatur oder die Zulässigkeit von restlichen Grobgutanteilen sowie entstehenden Feingutanteilen haben. Es lohnt sich oft auch den Kunden zu fragen, ob er einen Standard zur Verfügung stellen kann. Nicht selten hat der Kunde eine Produktprobe, die genau seinen Vorstellungen hinsichtlich der Partikelgrößenverteilung, der Farbe, des Glanzes oder der rheologischen Eigenschaften entspricht.

Da die Ergebnisse von unterschiedlichen Partikelgrößenanalysegeräten, auch bei vergleichbaren Technologien und identischen verwendeten Parametern wie Brechungsindex, Viskosität oder Temperatur signifikant abweichen können, sind vergleichende Messungen sinnvoll.

Ebenso sollte der Kunde, wenn vorhanden existierende SOPs (Standard Operating Procedure) zur Verfügung stellen. Unter dem Begriff SOP ist eine Standardvorgehensweise bzw. ein standardisiertes Vorgehen zu verstehen, bei dem Abläufe von Vorgängen hinsichtlich der Prüfung der Ergebnisse und deren Dokumentation insbesondere in kritischen Segmenten mit potenziellen Einflüssen auf die Umwelt, Gesundheit und Sicherheit beschrieben werden.

Oft können die aus dem Prozess entnommenen Proben nicht direkt in der Originalkonzentration analysiert werden. Müssen Proben verdünnt werden, ist es wichtig den Einfluss der Konzentrationsänderung eines z.B. vorhandenen Additives auf eventuelle Reagglomeration von Partikeln zu validieren. Dazu sollten verschiedene Analysen mit unterschiedlichen Konzentrationen des Additives und einer Probennachbehandlung mit Ultraschall durchgeführt werden.

Allerdings ist hierbei zu beachten, dass die Nachbehandlung einer Probe mit einem intensiven Ultraschalldesintegrator das Ergebnis der Untersuchungen verfälschen kann, wenn die Zielstellung des Zerkleinerungsprozesses in der Mühle eine Desagglomeration darstellt.

In jedem Fall sollte die genaue Vorgehensweise bei der Probenvorbereitung und bei der Charakterisierung vor Versuchsbeginn definiert werden. Dieser SOP ist dann zu folgen, um subjektive Einflüsse weitestgehend auszuschließen.

4.2. Auftreten von Ergebnisabweichungen

Nicht selten kommt es bei der Analyse von Proben zu einer Feststellung von Ergebnissen, die nicht den Erwartungen entsprechen. So kann es vorkommen, dass bei einer Analyse Grobgutanteile ermittelt werden, die nach den bisherigen Erfahrungen nicht vorhanden sein dürften. Hierbei ist zu beachten, dass ein elektronisches Messgerät das Messergebnis immer unabhängig von Gefühlen, Erfahrungen und Erwartungen in Abhängigkeit von der analysierten Probe ausgibt.

Treten unerwartete Ergebnisse auf, sollte zunächst immer davon ausgegangen werden, dass diese eine reale Begründung als Ursache haben. Wird z.B. ein Grobgutanteil analysiert kann dies verschiedene Ursachen haben. In jedem Fall sollte durch weiterführende Untersuchungen geklärt werden, ob es sich dabei um reale Produktpartikeln, Agglomerate, Verunreinigungen oder um Luftblasen handelt.

Treten Abweichungen von den erwarteten Versuchsergebnissen auf sollten diese immer vollumfänglich dokumentiert werden, falls nicht einwandfrei geklärt werden kann, dass es sich dabei um eine Fehlmessung handelt, die z.B. durch Luftblasen oder Bedienungsfehler verursacht wurden.

5. VERSUCHSPROTOKOLL

Auf der folgenden Seite ist ein Vorschlag für ein Standardprotokoll abgebildet, wie er in NETZSCH Technika weltweit in ähnlicher Form verwendet wird. In einem solchen Protokoll werden alle wesentlichen Parameter, wie Drehzahlen, Durchsätze, Drücke, Temperaturen, Leistungseinträge usw. in übersichtlicher Form erfasst. Gleichzeitig werden Informationen über die Maschine, die Maschinenausführung, die Fahrweise, das Sperrmedium, die verwendeten Mahlkörper sowie auch Versuchsergebnisse in übersichtlicher Form dokumentiert.

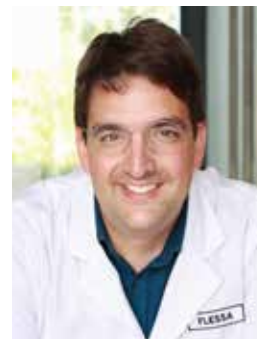
Werden Versuchsvorbereitung, -ausführung und Versuchsergebnisse immer in gleicher Form dokumentiert, wird dadurch die Auswertung, der Vergleich mit anderen Versuchen sowie die Diskussion wesentlich erleichtert.

LABORLEITER SELB

LUDWIG FLESSA

NETZSCH
Feinmahltechnik GmbH
Sedanstraße 70
95100 Selb | Deutschland

Tel.: +49 9287 797 295
Fax: +49 9287 797 149
Mobil: +49 1773 430 2422
ludwig.flessa@netzsch.com
www.netzsch.com



QUELLENANGABEN

[1] Mende, S., et al.
NETZSCH Kompendium, Zerkleinerung & Charakterisierung von Partikeln, September 2016

Versuchverantwortlicher:

Maschine:

Versuchsnummer:

	Motorleistung			kW		Datum		
Maschinenausrüstung								
Pumpe								
Trennvorrichtung		mm	∅	mm	Sperrflüssigkeit			
Mahlkörperart		mm			Masse		kg	%
Produkt					max. Temperatur		°C	
Feststoff		kg			Feststoffgehalt		%	
Dispergiermittel		kg			Gesamtmasse		kg	
Lösungsmittel		kg			Dichte		kg/l	
Materialvorbereitung						Dauer		min
Qualitätsanforderung								
Zielfeinheit		d ₅₀	µm	d ₉₀	µm	d ₉₅	µm	

Betriebsweise											
Versuchsvariante		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Laufzeit	t in min										
Drehzahl Rührwerk	n in 1/min										
Durchsatz	m in kg _{Susp} /h										
Pumpendrehzahl	n in 1/min										
Druck	p _M in bar										
Mahlguttemperatur	T _{in} in °C										
Mahlguttemperatur	T _{out} in °C										
Bruttoleistung	P _{total} in kW										
Nettoleistung	P _{net} in kW										
Mahlenergieeintrag	E _{net} in kWh										
Spez. Energieeintrag	E in kWh/kg _{Susp}										
Probe aus:	Partikelgröße	d ₅₀ in µm									
Auslauf		d ₉₀ in µm									
Tank		d ₉₅ in µm									
Sonstige Messungen											
Theoret. Kreiszahl	n _{circ}										
Produktionsleistung	m _c in kg _{Susp} /h										

Kühlung	Mahlbehälter	GRD	Tank	Kühler	Gesamt
Temperatur Einlauf	T _{in} in °C				
Temperatur Auslauf	T _{out} in °C				
Kühlwassermenge	m _{KW} in l/h				

Bemerkungen und Notizen



Die NETZSCH-Gruppe ist ein inhabergeführtes, international tätiges Technologieunternehmen mit Hauptsitz in Deutschland. Die Geschäftsbereiche Analysieren & Prüfen, Mahlen & Dispergieren sowie Pumpen & Systeme stehen für individuelle Lösungen auf höchstem Niveau. Mehr als 4000 Mitarbeiter in 36 Ländern und ein weltweites Vertriebs- und Servicenetz gewährleisten Kundennähe und kompetenten Service.

Dabei ist unser Leistungsanspruch hoch. Wir versprechen unseren Kunden Proven Excellence – herausragende Leistungen in allen Bereichen. Dass wir das können, beweisen wir immer wieder seit 1873.

Proven Excellence. ■

Geschäftsbereich Mahlen & Dispergieren – weltweit führende Mahltechnologie

NETZSCH-Feinmahltechnik | Deutschland
NETZSCH Trockenmahltechnik | Deutschland
NETZSCH Vakumix | Deutschland
NETZSCH Lohnmahltechnik | Deutschland
NETZSCH Mastermix | Großbritannien
NETZSCH FRÈRES | Frankreich
NETZSCH España | Spanien
ECUTEC | Spanien

NETZSCH Machinery and Instruments | China
NETZSCH India Grinding & Dispersing | Indien
NETZSCH Tula | Russland
NETZSCH Makine Sanayi ve Ticaret | Türkei
NETZSCH Korea | Korea
NETZSCH Premier Technologies | USA
NETZSCH Equipamentos de Moagem | Brasilien

NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH
Sedanstraße 70
95100 Selb
Deutschland
Tel.: +49 9287 797 0
Fax: +49 9287 797 149
info.nft@netzsch.com

NETZSCH®

www.netzsch.com