

NETZSCH

Proven Excellence.



3D-Druckpulver in seiner optimalen Form

Business Unit
GRINDING & DISPERSING

3D-DRUCKPULVER IN SEINER OPTIMALEN FORM

Robert Rosen | NETZSCH Lohnmahltechnik GmbH, Bobingen | Deutschland

1. EINLEITUNG

Der 3D-Druck erlebt seit Jahren ein Wachstum, wie wir es vergleichbar von der Chip-Entwicklung her kennen. Es gibt bereits Anbieter für Online 3D-Druck mit einem Netzwerk von zahlreichen Firmen. CONTEXT berichtet, dass trotz der Pandemie ein stärkeres Wachstum in 2020 zu verzeichnen war. Positiv äußert sich IFI CLAIMS Patent Services mit den neuntmeisten Patentanmeldungen aller Technologien und LearnBonds prognostiziert ein wirtschaftliches Wachstum um 155 % in 2024 - das entspricht einem Volumen von 40,8 Mrd. USD. Waren früher vor allem Prototypen und Neuentwicklungen mit der generativen Fertigung hergestellt worden, so sind es jetzt auch schon Kleinserien. Zu den konkurrierenden Herstellungsmethoden, wie z.B. dem Spritzgussverfahren, entfällt ein nachträgliches Bearbeiten und gegenüber der spanabhebenden Fertigung wird deutlich weniger Material verbraucht.

2. DIE VIER WICHTIGEN SÄULEN DES 3D-DRUCKS

Zu einem erfolgreichen Bauteil für den 3D-Druck gehören vier wichtige Säulen: eine Idee, die Konstruktion in CAD (in einer Kombination mit einer Software für die Konstruktion, die für den 3D-Druck optimiert ist), ein geeigneter Drucker und das passende Material. Wir wollen uns im Folgenden mit Letzterem, dem Material, beschäftigen.

Für das Druckverfahren von Kunststoffen wird, neben dem Filamentverfahren, in den meisten Fällen auf festen Werkstoff in Pulverform zurückgegriffen. Voraussetzung für eine hohe reproduzierbare Endqualität des Bauteils ist ein möglichst gleichmäßiger Schichtauftrag. Dies wiederum impliziert ein möglichst gut fließfähiges Schüttgut mit enger Kornverteilung.

Die Rheologie in Extrudern ist weitestgehend bekannt und kann als Vergleich für die Betrachtung eines Schüttgutes dienen. Dort werden hohe Dehn- und Schergefälle erzeugt. Diese Beanspruchungen führen zum Schmelzen des Kunststoffes. Über gezielte mechanische und thermische Maßnahmen im Extruder lässt sich eine gewünschte Viskosität des geschmolzenen Materials einstellen. Dabei ist ein sehr hohes Maß an Materialkenntnis notwendig, um Oxidationsvorgänge zu vermeiden. Ein anderes Beispiel für die prozesssichere Nutzung der Rheologie sind Kunststoffgranulate (3 mm - 5 mm), die als Aufgabe für Spritzgussmaschinen oder Folienblasextruder dienen.

3. DAS RHEOLOGISCHE VERHALTEN VON SCHÜTTGÜTERN DES 3D-DRUCKS

Für einen verbesserten Schichtaufbau im Materialbett des Druckers ist das gleichmäßige „Nachrieseln“ des Granulats notwendig. Dies wird durch eine engere Kornverteilung erzielt. Im Vergleich zur Schmelzrheologie unterscheidet die Rheologie der Schüttgüter vor allem das „Gedächtnis“. Schüttgüter verhalten sich unter Last bis zur Fließgrenze elastisch. Unterhalb der Belastungsfließgrenze Verhalten sich Schüttgüter reversibel elastisch. Oberhalb der Fließgrenze kommt es zum gewünschten Fließen des Materials. Was hat es mit dem Gedächtnis auf sich? Ein verdichtetes Schüttgut hat eine höhere Fließgrenze – das Material hat die vorherige Belastung in sich gespeichert. Genutzt werden solche Effekte an Bahndämmen oder bei den Fundamenten im Hochbau. Abgelagertes Schüttgut in Säcken oder BigBags zeigt ähnliches Verhalten und stört somit eine gute Prozesssicherheit.

Die Rheologie der Schüttgüter wird von der inneren und äußeren Reibung beeinflusst. Die äußere Reibung ist das Zusammenwirken des Schüttgutes mit der Maschinenwand oder der Innenfläche eines BigBags. Die äußere Reibung ist in den meisten Fällen durch geeignete Werkstoffauswahl beherrschbar. Die innere Reibung hingegen

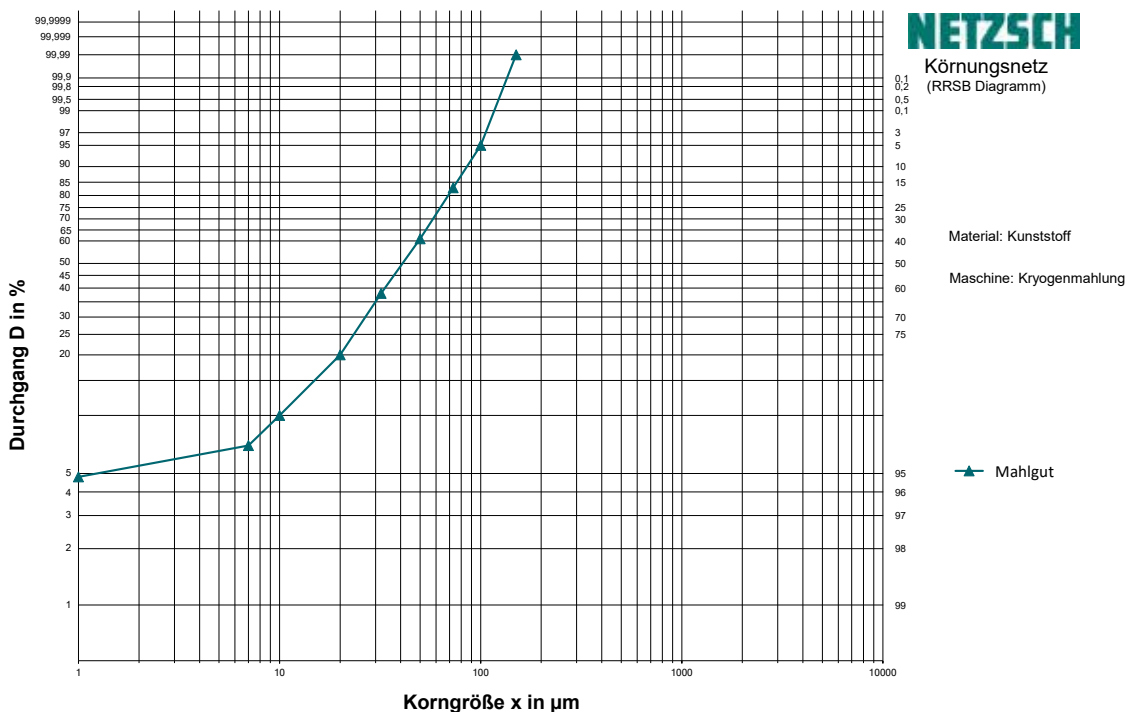
wird von den Materialeigenschaften des Pulvers bestimmt. Es ist einsichtig, dass kugelförmige Körner weniger Reibung verursachen als kubische Partikel. Letztlich entscheidend ist die spezifische Oberfläche eines Pulvers und damit die Anzahl der Kontaktstellen zu den einzelnen Partikeln. Was ist damit gemeint?

Pulver für den 3D-Druck werden oft durch mechanische Zerkleinerung mit Hilfe von Kryogenmühlen in die gewünschte Feinheit gebracht. Die Mühle erzeugt im Normalfall durch die statistischen Effekte der Prallbeanspruchung eine stetige und breite Kornverteilung (siehe Abbildung 1).

Durch optimierte Prozessparameter kann die Kornverteilung etwas eingeschränkt und damit „enger“ gemacht werden. Allerdings kommen kleinere Partikel in der Anzahlverteilungskurve deutlich häufiger vor als Größere. Dies führt zu deutlich häufigeren Kontaktstellen zu anderen Körnern und erklärt somit vereinfacht das rheologische Verhalten von Schüttgütern. Das „Entfernen“ der kleineren Partikel hat somit deutlich mehr Einfluss auf die Kontaktanzahl.

Abbildung 1

Kornverteilung eines Mahlgutes



4. VERBESSERUNG DES FLIESSVERHALTENS VON PULVERN

Gemahlene Partikel liegen in kubischer oder irregulärer Form vor. Diese Formabweichung von der Kugelform erhöht die Kontaktanzahl und damit die innere Reibung.

Um nun das Fließverhalten von Pulvern zu verbessern, können zwei Wege eingeschlagen werden:

- Verrundung der kubischen Partikel
- Weitere Einengung der Kornverteilung

Bei der Verrundung werden durch mechanische Beanspruchung Kanten abgebrochen oder Partikel so verformt, dass eine kugelige Form angestrebt wird. Mit dieser Möglichkeit wollen wir uns hier aber nicht weiter beschäftigen.

Für den 3D-Druck werden Pulver $< 150 \mu\text{m}$ und feiner eingesetzt. Beispielhaft ist in Abbildung 2 eine Kornverteilung einer Prallmühle als Ausgangsprodukt dargestellt. Für die Darstellung einer Kornverteilung hat sich das RRSB-Diagramm durchgesetzt. Es wird der Durchgang (in Anlehnung an den Siebdurchgang bei der Siebanalyse) über die Korngröße aufgetragen. Bei dieser Kornverteilung kann der Feinanteil nur durch Sichtung entfernt werden. Klassische Siebmaschinen stoßen

bei der Abtrennung von feinem Material $< 300 \mu\text{m}$ an technische Grenzen. Nachteilig an den Siebmaschinen ist, dass sich während der Materialbewegung auf dem Siebdeck elektrostatische Aufladungen bilden können.

Bei der Trennung mit Abweiserad-Sichtern wirken zwei einstellbare Kräfte auf die Partikel: die Zentrifugalkraft und die Schleppkraft der Sichtluft. Der Luftstrom wird üblicherweise von einem Ventilator erzeugt und durchströmt das Sichtergehäuse von außen nach innen. In den meisten Fällen werden die Partikel durch den Luftstrom dispergiert. Zusätzlich kann durch konstruktive Maßnahmen im Sichter die Dispergierwirkung verbessert werden. Der gesamte Luftstrom wird durch das rotierende Sichtrad hindurchgesaugt. Die Zentripetalkraft auf die Partikel durch das rotierende Sichtrad verhindert, dass zu grobes Material mit dem Luftstrom in das Innere des Sichtrades gelangen kann. Das feine Material verlässt das Sichtergehäuse mit dem Luftstrom und wird an einem Produktfilter vom Luftstrom getrennt.

Abbildung 2

Kornverteilung eines Mahlgutes für 3D-Druck

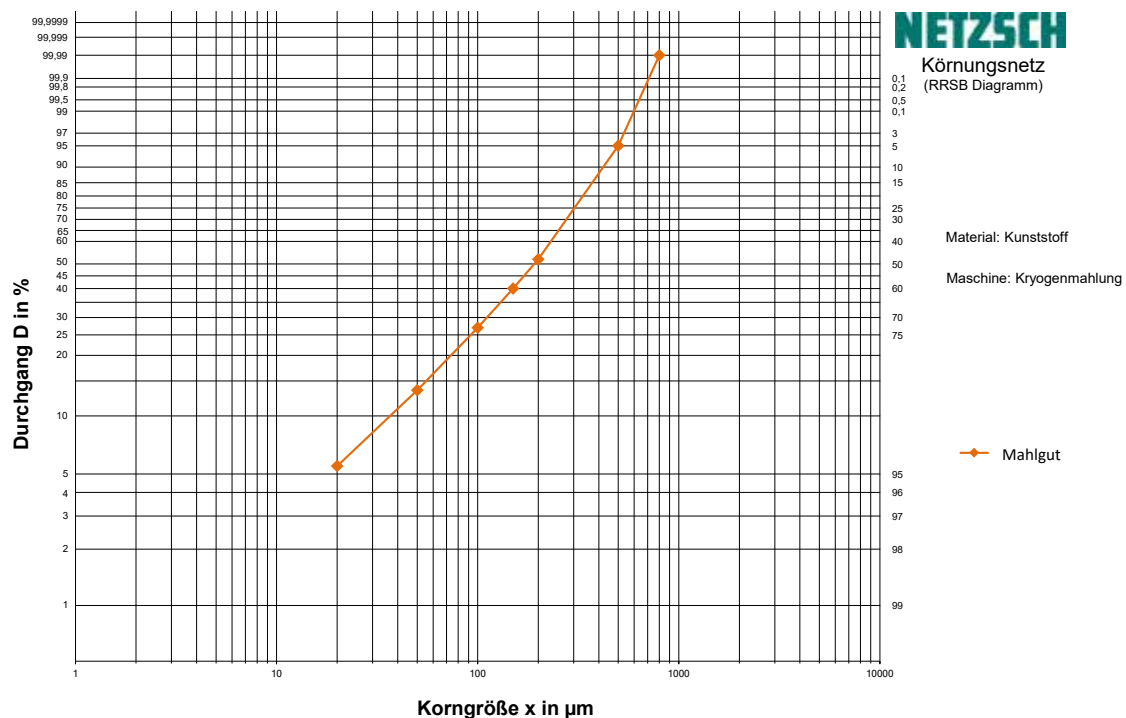
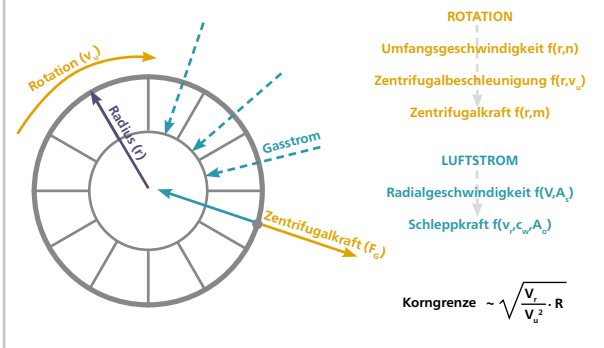


Abbildung 3

vereinfachte Darstellung der physikalischen Gesetze bei der Sichtung



In diesem Prozess ist das vom Feinanteil abgetrennte Material das Endprodukt – auch Grobgut genannt.

Der im Endprodukt verbliebene Feinanteil lässt sich je nach Anforderung im Druckprozess bzw. nach wirtschaftlichen und physikalischen Gesichtspunkten einstellen. Da der Feinanteil nicht für den Druck verwendet werden kann, muss dieser dem Extruder zurückgeführt werden.

Der Messwert für den Grobgutausfall ist das Grobgutausbringen.

$$g = 1 - \frac{q_f(x)}{q_a(x)}$$

Dabei sind:

g: Grobgutausbringen

$q_f(x)$: Kornverteilungssumme des Feingutes

$q_a(x)$: Kornverteilungssumme des Aufgabegutes

Dieser Wert beschreibt, wie viel vom Aufgabegut als Grobgut anfällt.

Um die Sichteffizienz zu messen, wird der Trenngrad (separation efficiency), oder auch Tromp-Kurve genannt, verwendet:

$$T_g(x) = \frac{g \cdot q_g(x)}{q_a(x)}$$

Die Tromp-Kurve beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Partikel einer bestimmten Korngröße (x) in die Grobgutfraktion verwiesen wird.

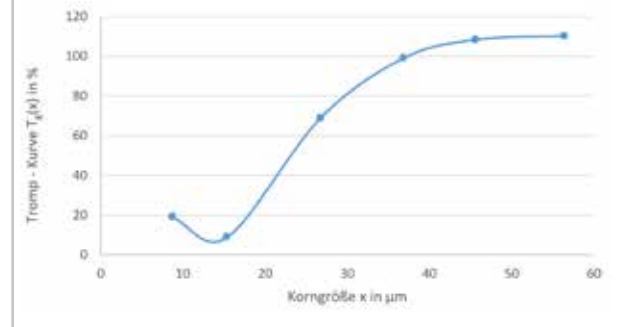
Dabei ist:

$T_g(x)$: Trenngrad

Abbildung 4 zeigt eine Tromp-Kurve bei der Abtrennung von Feinanteil einer Korngröße von 50 µm.

Abbildung 4

gemessene Tromp-Kurve



5. ABTRENNUNG VON KUNSTSTOFF

Die Qualität einer Sichtung wird mit der Steigung der Tromp-Kurve in den Punkten 25 und 75 % ermittelt. Bei einem Wert von 1 spricht man von idealer Trennung.

$$\kappa = \frac{x_{25}}{x_{75}} = \frac{18,45 \mu\text{m}}{28,79 \mu\text{m}} = 0,64$$

Technisch gute Sichtungen weisen einen κ -Wert von 0,6 - 0,9 auf. Der beispielhafte κ -Wert bei einer Abtrennung von 50 μm ist für Kunststoff als sehr gut zu bewerten.

Wirtschaftlich von Bedeutung ist noch die spezifische Sichtenergie.

$$E_{\text{spez}} = \frac{E_{\text{Sichter}} + E_{\text{Ventilator}}}{m_g}$$

Dabei sind:

- $E_{\text{spez.}}$: spezifische Energie
- E_{Sichter} : Energieverbrauch für die Sichtung
- $E_{\text{Ventilator}}$: Energieverbrauch für den Ventilator
- m_g : Massenstrom des Grobgutes

Hier kommt es darauf an, die Antriebe gut auszu-legen. Entscheidend dabei ist, dass die Anlagen- und Ventilator Kennlinie im optimalen Punkt betrieben wird. Weiteres Potential liegt im Ausreizen der frequenzgesteuerten Antriebe.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Neben der mechanischen Verfahrenstechnik der Sichtung ist natürlich die Anlagentechnik in Bezug zu den Materialeigenschaften zu beurteilen. Die meisten Kunststoffpulver sind in der Staubexplosionsklasse St 1 bzw. St 2 eingeordnet, andere wiederum dürfen nicht mit Luftfeuchtigkeit in Kontakt kommen.

Eine für unsere Mitarbeiter sichere Verarbeitung ist nur auf einer ATEX-konformen druckstoßfesten Sichtanlage und der Zulassung für die jeweiligen Staubklassen möglich.

NETZSCH Lohnmahltechnik ist ein Spezialist, der Ihnen mit seinem Know-how und den verschiedenen installierten Zerkleinerungs- und Sichttechnologien zur Seite steht, um verschiedene Spezifikationen kurzfristig zu realisieren.

Eine Verbesserung der Fließigenschaften von Kunststoffpulvern für den 3D-Druck kann einerseits durch Abtrennen des Feinanteils mittels Sichtung vorgenommen und andererseits durch Einsatz verschiedener Mahltechnik in der Kornform erreicht werden. NETZSCH Lohnmahltechnik hat die verfahrenstechnischen und technischen Voraussetzungen, um Ihr Produkt zu optimieren.

GESCHÄFTSFÜHRER

ROBERT ROSEN

NETZSCH
Lohnmahltechnik GmbH
Max-Fischer-Str. 20b
86399 Bobingen | Deutschland

Tel.: +49 8234 966 150
robert.rosen@netzsch.com
grinding.netzsch.com





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 Lohnmahltechnik GmbH
Max-Fischer-Str. 20b
86399 Bobingen
Deutschland
Tel.: +49 8234 966 150
Fax: +49 8234 966 1570
info.nlt@netzsch.com

NETZSCH®

www.netzsch.com