

Partikelsimulation mit ROCKY DEM optimiert Anlagen für die Zementproduktion

Vom Steinbruch bis zum Zementversand

thyssenkrupp ist einer der weltweit führenden Komplettanbieter für die Zementindustrie. Von der Aufbereitung des Rohmaterials über die Klinker- und Zementherstellung bis hin zu Automatisierungslösungen verfügt das Unternehmen über innovative Technologien, Verfahren und Maschinen.

Ziel ist es, den Kunden zuverlässige Anlagen aus einer Hand zu liefern. Dabei werden modernste Produktionsverfahren eingesetzt, um Ressourcen und Umwelt zu schonen und den Betreibern ein Höchstmaß an Produktivität und Wirtschaftlichkeit zu garantieren (Bild 1). Unter anderem wird die Partikelsimulation mit DEM (Discrete Element Modeling) in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt, angefangen beim Brechen und Mahlen, über das Transportieren und Mischen bis zum Lagern und Verladen. Beispielhaft wird hier auf die DEM-Anwendung bei Kugelmöhlen und dem Fördersystem Polytrack eingegangen.

Bei der Zementherstellung wird der gemahlene Rohstoff zu Klinker gebrannt, dann wieder aufgebrochen und zu Zement zermahlen. Das Polytrack-Fördersystem kühlt und transportiert den Zementklinker, der anfangs mit über 1000 Grad Celsius aus dem Brennofen kommt (Bild 2). Der Polytrack besteht aus einer Kombination aus Belüftungsboden und darüber angeordnetem Förderplanken. Er soll durch eine optimale Materialquerverteilung für eine gleichmäßige und wirkungsvolle Kühlung aller Kornfraktionen auf der gesamten

Kühlerbreite sorgen. Durch eine robuste, verschleißarme und wartungsfreundliche Konstruktion, die unter anderem mit strukturmechanischen Simulationen optimiert wurde, konnte schon eine hohe Verfügbarkeit erreicht werden. Eine weitere Optimierung von Beförderung und Kühlung aus verfahrenstechnischer Sicht wird durch den Einsatz der Software ROCKY DEM zur Partikelsimulation erreicht.

Abläufe besser verstehen lernen

Die Klinkerpartikel mit einer Größe von weniger als 200 Millimetern werden durch sogenannte Tracks, die sich in einem bestimmten Muster bewegen, auf dem von unten belüfteten Gitter befördert und gekühlt. Dabei erreicht die Partikelschicht etwa eine Höhe von 600 Millimetern. „Durch die Partikelsimulationen mit ROCKY können wir besser verstehen, wie die Abläufe im Polytrack konkret funktionieren“, berichtet Lisa Schrader, die in der Forschung und Entwicklung für Zementanlagen bei thyssenkrupp für die DEM-Simulationen zuständig ist. „Uns interessiert unter anderem der Förderwirkungsgrad. Deshalb untersuchen wir, ob die

Partikel durch Bewegung der Tracks in einem anderen Muster oder mit anderen Geschwindigkeiten schneller transportiert werden. Wir vermuten noch zusätzliches Potential bezüglich der Förderleistung, das wir mit ROCKY möglichst umfassend ausschöpfen wollen.“

Wachsender Bedarf an DEM-Simulationen

Zur Einführung der ROCKY-Software erklärt sie: „Da wir in den letzten Jahren von unseren Kollegen aus der Forschung und Entwicklung mit immer mehr DEM-Simulationsprojekten beauftragt wurden, war es notwendig, uns nach einer neuen, leistungsfähigeren und einfach zu bedienenden Software umzuschauen. Damit wir auf die Wünsche unserer Kollegen schneller reagieren und effizienter arbeiten konnten, haben wir uns für ROCKY DEM entschieden. Die Software bietet eine umfassende Funktionalität sowie eine ausgereifte und erprobte Benutzeroberfläche“, erläutert Lisa Schrader. Was sie und ihre Kollegen zusätzlich überzeugte, waren die vielfältigen Partikelformen, die gewählt werden können. Aber auch Ansprechpartner beim Lieferanten CADFEM direkt in

Bild 1: Modernste Technologien werden eingesetzt, um Ressourcen und Umwelt zu schonen und den Betreibern ein Höchstmaß an Produktivität und Wirtschaftlichkeit zu garantieren.



Bild 2: Das Polytrack-Fördersystem kühlt und transportiert den Zementklinker.

und den jeweiligen Liner-Profilen entwickelt, um beispielsweise die Abwurfkurven der Liner-Varianten zu vergleichen (Bild 4). Die spezifischen Tendenzen lassen sich gut erkennen, sodass eine qualitative vergleichende Bewertung der zu erwartenden Belastungen und damit des Verschleißes getroffen werden kann. „Außerdem lässt sich die Mahlung mit den Simulationsmethoden gut veranschaulichen“, erklärt Lisa Schrader. „Bei geringer Drehzahl wälzen sich die Partikel nur unten in einer sogenannten Niere herum. Wird die Drehzahl gesteigert, dann erfolgt die Anhebung und der entsprechende Aufprall mit Zerkleinerung.“ Bei etwa 90 Prozent der kritischen Drehzahl werden die Partikel sehr hoch angehoben und es erfolgt ein entsprechend tiefer Fall. Bei 100 Prozent werden die Partikel durch die Fliehkraft an die Mühlenwand gedrückt.

Die hier beschriebene Mühle arbeitet mit einer Drehzahl von zirka zehn Umdrehungen pro Minute. Der Füllungsgrad beträgt etwa zwölf Prozent Kugeln (bezogen auf den einen Meter langen Abschnitt des Simulationsmodells der Mühle sind das rund 3.500 Kugeln mit einem Durchmesser von 125 Millimetern und einem Gewicht von fast 30.000 Kilogramm) sowie 18 Prozent Erz (mehr als 350.000 Partikel mit einer Größe von zehn bis 250 Millimetern und einem Gewicht von über 15.000 Kilogramm).

Vereinfachung beschleunigt die Berechnung

Da beim Simulationsmodell von periodischen Randbedingungen entlang der Mühlenachse ausgegangen wird, kann abhängig von der Partikelgröße hier nur ein Me-

Deutschland, die einen umfassenden Support bieten und auftauchende Fragen kompetent beantworten, waren ein wichtiges Entscheidungskriterium.

Für die Mahlung und Trocknung unterschiedlichster Materialien bietet thyssenkrupp Industrial Solutions anforderungsspezifische Lösungen basierend auf einem vielfältigen Rohrmühlen-Programm. Schon mehr als 2.200 Rohrmühlen wurden erfolgreich in Betrieb genommen (Bild 3). Welche Rohrmühle sich für den jeweiligen Einsatz am besten eignet, hängt von vielen Faktoren ab, zum Beispiel der Aufgabepartikelgröße, Mahlbarkeit, Feuchte und Trocknungseigenschaften.

Die innere Umfangspanzerung der Mühlen wird als Heber- beziehungsweise Aktivatorpanzerung konzipiert, die mit großen Kugeln (mehr als 100 mm) einen hohen Energieeintrag zur Zerkleinerung verwirklicht. Einige Mühlen arbeiten teilweise auch ohne Stahlkugeln. Dann erfolgt die Zerkleinerung nur durch die Rotation und das eigene Gewicht der Partikel, aber zusätzliche Kugeln beschleunigen die Zerkleinerung erheblich.

Bei einem Projekt aus dem Servicebereich wurde die DEM-Expertin beauftragt, einen Vergleich drei verschiedener Mühlen-

panzerungen (Liner) einer Kugelmühle mit sieben Metern Durchmesser und über fünf Metern Länge mit Partikelsimulationen durchzuführen. Durch das Liner-Profil in der Innenwand der zylindrischen Trommel der Mühle werden die Kugeln und die zu zerkleinernden Partikel nach oben gehoben und folgen dann spezifischen Abwurfkurven. Gleichzeitig dient das Liner-Profil als Verschleißschutz, wobei der Verschleiß abhängig von der Größe der Partikel und der Kugeln sowie der Drehzahl und dem Reibwert der Partikel ist.

Einblicke, die sonst nicht möglich sind

„Für uns und unsere Auftraggeber ist immer interessant zu sehen, wie sich das Material beziehungsweise die Kugeln in der Mühle verhalten“ betont Lisa Schrader. „Somit erhalten wir Einblicke, die wir mit anderen Mitteln wie Kameras und Sensoren nicht erreichen können. Mithilfe der Simulationen sind wir in der Lage, unseren Kunden die beste Variante mit dem geringsten Verschleiß empfehlen zu können.“

Mit der ROCKY-Software lässt sich gut erkennen, wie sich das Bewegungsverhalten bei den unterschiedlichen Drehzahlen



Bild 3: Die Vermahlung des Zements erfolgt mithilfe von Kugeln in Rohrmühlen.

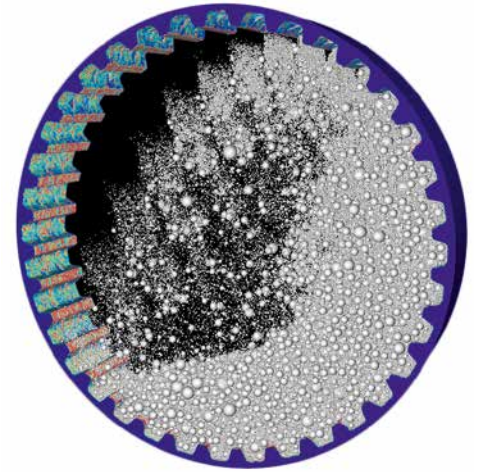


Bild 5: Mit ROCKY lässt sich auch der Verschleiß der Panzerung berechnen, was im linken Teil des Bildes dargestellt wird.

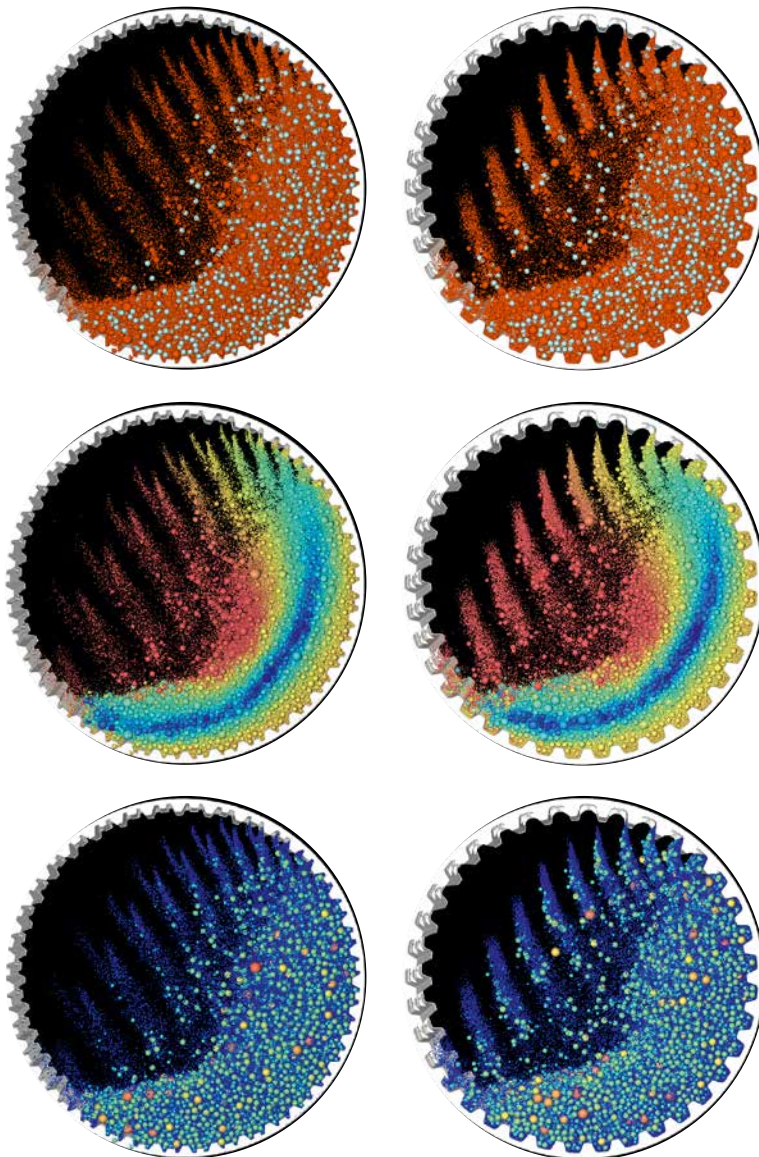


Bild 4: Die Partikelsimulation zeigt die Bewegung von Partikeln und Kugeln (oben), deren Geschwindigkeit (Mitte) sowie die Größe der Partikel (unten) für jeweils zwei unterschiedliche Mühlenpanzerungen (Liner).

ter langer Ausschnitt der realen Kugelmühle abgebildet werden. Eine weitere Beschleunigung wird durch die Wahl der geometrischen Form des Erzes erreicht, denn je komplexer die Partikelform ist, umso länger dauert die Berechnung. Wird auch das Erz in Kugelform dargestellt, verkürzt dies die Rechenzeit erheblich. Zur Kontrolle wurde die Mahlung auch mit facettenförmigen Erzpartikeln berechnet. Die Simulation ergibt zwar ein etwas anderes Bild, da die Kugeln beim Hochheben schneller wegrollen, aber für die vergleichenden Betrachtungen waren keine gravierenden Unterschiede feststellbar.

ROCKY-Entwickler reagieren auf Anwenderwünsche

Anhand der berechneten Stoßenergien lassen sich Rückschlüsse auf die Effektivität der Zementmahlung und auf den zu erwartenden Verschleiß der Mühlenpanzerung ziehen (Bild 5). „Bezüglich der Darstellung der Simulationsergebnisse, die noch nicht unseren Vorstellungen entsprachen, hatten wir einen intensiven Erfahrungsaustausch mit den Experten von CADFEM und auch den Entwicklern aus Amerika“, weiß Lisa Schrader zu berichten. „Jetzt mit der kürzlich erschienenen Version 4.0 von ROCKY wurden unsere Vorschläge berücksichtigt, sodass wir die gewünschten Partikelenergiespektren als Diagramme ausgeben können.“ Im Rahmen der Untersuchung von Kugelmühlen wurde die Anzahl der Kontakte pro Sekunde in Abhängigkeit der Kontaktenergie jeweils für die Partikel-Partikel- und die Partikel-Wand-Kontakte in Normal- und Tangentialrichtung betrachtet. Grundsätz-

lich wurde festgestellt, dass die höchste Kontaktanzahl bei Partikel-Partikel-Stößen in Normalrichtung auftritt, wobei die Kontaktanzahl und deren Energie mit zunehmender Baugröße steigen.

Eine weitere Neuerung der Version 4.0 von ROCKY ist die Nutzung von GPUs (Graphics Processing Units) für die Berechnung, zusätzlich zu den CPUs (Central Processing Units) der jeweiligen Hardwareplattform. Dazu erklärt Lisa Schrader: „Wir haben vor rund einem Jahr mit acht CPUs begonnen und dann relativ schnell auf 16 CPUs erweitert. Mit der neuen ROCKY-Version haben wir in einen neuen Rechner mit 36 CPUs und einer GPU investiert, was zu erheblichen Zeitvorteilen führte. Dadurch können wir mehr Berechnungen schneller durchführen.“

Einen besonderen Nutzen sehen Lisa Schrader und ihre Kollegen auch in der eleganten CFD- und FEM-Schnittstelle von ROCKY zur ANSYS Software. Diese ist bei thyssenkrupp schon seit vielen Jahren für strukturmechanische Berechnungen im Einsatz, vor allem für Festigkeitsnachweise. Die mit ROCKY berechneten Ergebnisse lassen sich in strukturmechanische Simulationen oder Strömungsanalysen integrieren, um dort weitere Berechnungen durchzuführen. Beispielsweise wurde für eine Rührwerkskugelmühle (Towermill), bestehend aus einem aufrecht stehenden Zylinder mit einer sich drehenden Schnecke, der Mahlprozess mit Ku-

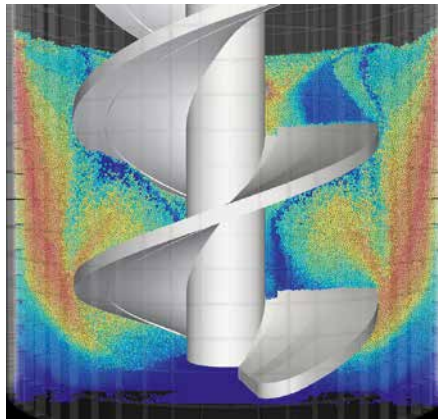


Bild 6: Die mit ROCKY berechneten Ergebnisse wurden unter anderem in strukturmechanische Simulationen einer Towermill integriert.

geln untersucht. Dazu wurden die auf die Schnecke einwirkenden Kräfte, die bisher nicht ermittelt werden konnten, aus der DEM-Simulation in die strukturmechanische Berechnung integriert (Bild 6).

Backen- und Kreiselbrecher mit Simulation optimieren

Auch im Bereich der Brecher zur Rohmaterialaufbereitung wurden erste Schritte zum Einsatz von ROCKY unternommen. Bei einem Kreiselbrecher für Erze sorgt ein kegelförmiges Innenteil, das exzentrisch angetrieben wird, für die Zerkleinerung des Gesteins.

Die DEM-Simulation gibt unter anderem mehr Aufschluss über den Durchsatz und die Größenverteilung der Partikel. Zusätzlich verdeutlicht die Simulation, welche Parameter den größten Einfluss auf die Zerkleinerung des Erzes haben.

Ein weiteres Projekt zur Simulation von Backenbrechern wurde zusammen mit CADFEM gestartet. Dabei wird gemeinsam ein leistungsfähiges Bruchmodell definiert, mit dem Ziel, eine praxisnahe Berechnung zu gewährleisten. „Uns wird die Arbeit nicht ausfallen, denn auch bei Silos und Bunkern besteht Berechnungsbedarf, um das Schüttgutverhalten der verschiedenen Partikelformen mit ihren unterschiedlichen Reibparametern besser zu verstehen und unsere Lösungen weiterzuentwickeln“, formuliert Lisa Schrader abschließend.

InfoUnternehmen

thyssenkrupp Industrial Solutions AG
www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com

InfoAnsprechpartner | thyssenkrupp

Lisa Schrader
lisa.schrader2@thyssenkrupp.com

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Lucas De Andrade Kostetzer
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-948
lkostetzer@cadfem.de

InfoSoftware

www.cadfem.de/rocky

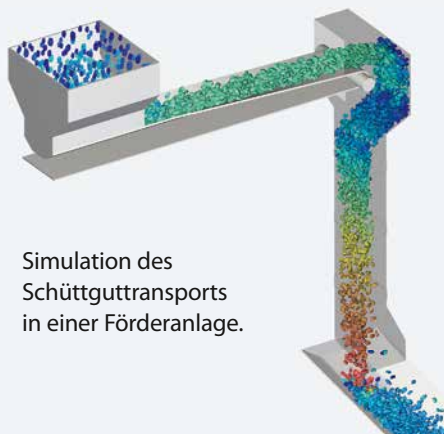
Webinare, Open House und Seminare bei CADFEM

ROCKY-Webinar

Wie Sie ROCKY und ANSYS einsetzen und wo die Vorteile liegen, zeigen wir Ihnen in diesem einstündigen Webinar. Das Programm wird nach einer Einführung live anhand einer Beispielrechnung vorgestellt. So können Sie sich ein Bild von der Leistungsfähigkeit des Programms und seiner Anwendung machen. Die nächsten Termine sind am 21. September und am 8. November jeweils um 10 Uhr.

ROCKY-Open-House

Sie haben noch nicht mit ROCKY simuliert? Wir zeigen Ihnen, wie es geht – und zwar 1:1. Denn im kleinen Kreis mit wenigen Teilnehmern steht jedem ein eigener CADFEM Experte als persönlicher Tutor zur Seite. Als Beispiel dient die Partikelsimulation für den optimalen Mengendurchsatz beim Schüttguttransport in einer Förderanlage. Dabei werden die Partikelgeschwindigkeit, der Materialverlust sowie die



Simulation des Schüttguttransports in einer Förderanlage.

wirkenden Kräfte zwischen Partikeln und auf den Kanal ausgewertet. Zusätzlich wird der durchgängige Arbeitsprozess mit ROCKY DEM und ANSYS Workbench veranschaulicht.

ROCKY-Seminar

Das zweitägige Individualtraining richtet sich an alle Ingenieure, die Maschinen und Strömungen gestalten, bei denen Partikel eine wichtige Rolle spielen. Mit der Diskrete-Elemente-Methode (DEM) können Partikeln als Kugeln oder mit ihren realen Formen dargestellt werden. Ihre Wirkung auf Strukturen lässt sich direkt als Verschleiß bewerten oder mit ANSYS Mechanical genauer untersuchen. Schließlich kann die Wechselwirkung von Fluidströmung und Partikelströmung mittels Ein- bzw. Zwei-Wege-Kopplung analysiert werden.

www.cadfem.de/rocky