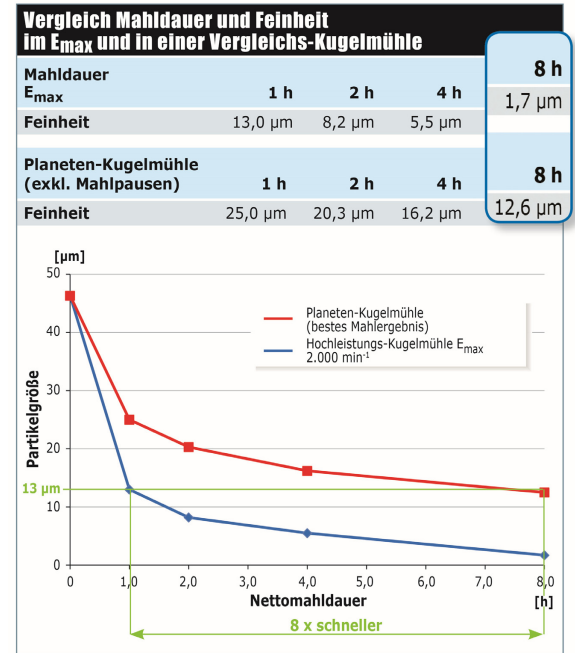


**Bild 1:** Die Hochleistungs-Kugelmühle E<sub>max</sub> verfügt über zwei Mahlstellen und eine maximale Drehzahl von 2000 min<sup>-1</sup>.



**Bild 2:** Bei der Vermahlung von Graphit ist der E<sub>max</sub> der Planeten-Kugelmühle sowohl bei der erzielten Feinheit als auch bei der Mahldauer deutlich überlegen.

# Die Revolution in der Feinstzerkleinerung

## E<sub>max</sub> – schneller, feiner, kühler

Mit dem E<sub>max</sub> hat RETSCH eine völlig neue Kugelmühle speziell für die Hochleistungs-Vermahlung bis in den Nanometerbereich entwickelt. Die in einer Kugelmühle bislang unerreichte Drehzahl von 2000 min<sup>-1</sup> in Verbindung mit der speziellen Form der Mahlbecher erzeugt eine extrem hohe Zerkleinerungsenergie. Die einzigartige Kombination aus Prall und Reibung resultiert in ultrafeinen Partikelgrößen, die schon nach kürzester Zeit erreicht werden.

Dank der neuartigen Wasserkühlung wird überschüssige Wärmeenergie abgeführt, so dass Gerät und Probe auch bei längerer Mahldauer nicht überhitzen. Die nachfolgend aufgeführten Applikationsbeispiele belegen

eindrucksvoll, dass der E<sub>max</sub> die angestrebten Endfeinheiten in einem Bruchteil der Zeit erreicht, die konventionelle Kugelmühlen benötigen.

### Kühlung und Temperaturüberwachung

Die größte Herausforderung bei der Entwicklung einer Hochleistungs-Kugelmühle ist die Temperaturkontrolle, da die sehr hohen Zerkleinerungsenergien zu einer extremen Wärmeentwicklung im Mahlbecher führen. Bei RETSCH wurde diese Problematik mit einem innovativen integrierten Wasserkühl-system gelöst. Mahlpausen zur Abkühlung,

wie sie in konventionellen Kugelmühlen bei Vermahlungen über 30 Minuten bereits bei niedrigen Drehzahlen notwendig sind, lassen sich bei der Hochleistungs-Kugelmühle E<sub>max</sub> weitestgehend vermeiden. An die integrierte Wasserkühlung kann zur weiteren Temperaturreduktion ein Umlaufkühler oder die Kaltwasserleitung angeschlossen werden.

Der E<sub>max</sub> erlaubt die Vermahlung innerhalb eines festgelegten Temperaturbereichs, den der Anwender durch Definition einer Minimal- und einer Maximaltemperatur auswählt. Bei Überschreitung der maximalen Temperatur unterbricht die Mühle automatisch den Mahlvorgang und setzt diesen erst

bei Erreichen der Minimaltemperatur fort. Gerade für temperaturempfindliche Proben oder Proben, die z.B. in Isopropanol vermahlen werden, ist die Kühlung von entscheidendem Vorteil. Isopropanol verdampft bei 82 °C, so dass der Druck im Becher stark ansteigt. Bleibt die Temperatur unter diesem Wert, werden der Druck im Mahlbecher und damit auch die Belastung der Dichtungen reduziert. Außerdem kann der Mahlbecher nach dem Mahlprozess schneller wieder geöffnet werden.

Bei konventionellen Kugelmühlen lässt sich nur durch empirische Versuche herausfinden, wie die Zyklen von Vermahlung und Mahlpausen zur Kühlung zu gestalten sind. Ist die Länge der Kühlpausen nicht ausreichend, kann es zu einer übermäßigen Erwärmung der Probe kommen. Beim  $E_{\max}$  werden Mahldauer und Länge der Pausen anhand der Temperaturgrenzen variabel gestaltet, der gesamte Zerkleinerungsprozess bleibt jedoch immer reproduzierbar.

## Schneller und feiner

Neben dem Wegfall der Abkühlpausen verkürzt die effiziente, hochenergetische Zerkleinerung mit 2000  $\text{min}^{-1}$  den Zeitbedarf für eine Vermahlung noch weiter. Sollen sehr kleine Partikel im Submikron-Bereich erzeugt werden, muss über einen längeren Zeitraum mit hohem Energieaufwand vermahlen werden. Hierzu wird vor allem die mechanische Zerkleinerung durch Reibung zwischen vielen kleinen Mahlkugeln ausgenutzt. Bei konventionellen Kugelmühlen wird bei diesem Verfahren viel Wärme erzeugt, die Mahlpausen zwingend erforderlich macht. Im Vergleich lässt sich hier mit dem  $E_{\max}$  eine enorme Zeitersparnis von vielen Stunden erzielen; zudem weist das Ergebnis häufig eine höhere Endfeinheit auf.

## Hoher Energieeintrag

Der hohe Energieeintrag im  $E_{\max}$  erleichtert nicht nur die Vermahlung bis in den Nanometerbereich, sondern ist auch bei Prozessen zur Erzeugung neuer Materialien von Vorteil, z.B. beim mechanischen Legieren. Durch den Zusammenprall großer, schwerer Mahlkugeln mit dem Probenmaterial bei extremer Umdrehungsgeschwindigkeit entsteht kinetische Energie, welche z.B. eine chemische Reaktion der eingesetzten Materialien hervorrufen kann. Beim mechanischen Legieren, z.B. von Germanium mit Silizium, kann diese Energie

sogar dazu genutzt werden, Legierungspartner über die Prallwirkung zusammenschweißen. Die erforderliche Vorzerkleinerung der Ausgangsmaterialien kann direkt im  $E_{\max}$  erfolgen.

Üblicherweise liegen die Prozesszeiten des mechanischen Legierens bei mehreren Stunden, in konventionellen Kugelmühlen müssen zudem Pausen eingelegt werden. Im Legierungsprozess von Silizium mit Germanium konnte die Gesamtdauer im  $E_{\max}$  im Vergleich zur konventionellen Kugelmühle von 14,5 h auf 9 h deutlich verkürzt werden.

Neben der Zeitersparnis bietet die Hochleistungs-Kugelmühle weitere Vorteile für die Erzeugung neuartiger Materialien durch mechanisches Legieren: Im genannten Beispiel war die Legierung weitestgehend frei von unerwünschter Amorphisierung und es kam zu keiner Anbackung im Mahlbecher, was immer wieder ein Problem in konventionellen Kugelmühlen darstellt.

## Anwendungsbeispiele

Die folgenden Beispiele (Tabelle 1) verdeutlichen die Vorteile – schneller, feiner, kühler – von Vermahlungen in der Hochleistungs-Kugelmühle  $E_{\max}$ .

**Tabelle 1: Anwendungsbeispiele und Resultate bei Vermahlung unterschiedlicher Proben in der Hochleistungs-Kugelmühle  $E_{\max}$**

Probe	Besonderheit	Aufgabemenge	Mahldauer	Endfeinheit
Chitin <sup>(1)</sup>	Erfolgreiche Vermeidung von temperaturbedingter Verfärbung, $E_{\max}$ 40 °C kühler als Kugelmühle	10 g	8 h	< 164 $\mu\text{m}$
Poly-saccharid <sup>(1)</sup>	Temperaturüberwachung, 80 °C wurden im $E_{\max}$ nie überschritten	10 g	2 h	< 8,9 $\mu\text{m}$
Melaminharz <sup>(1,2,3)</sup>	Temperaturgrenze von 50 °C wurde nicht überschritten, während in der Kugelmühle 55 °C trotz langer Mahlpausen erreicht wurden. 2 x feiner und 36 x schneller als in Kugelmühle, drastische Zeitersparnis im $E_{\max}$ : 33 h!	35 g	3 h	< 133 $\mu\text{m}$
Holz <sup>(1)</sup>	Temperaturgrenze von 30 °C nicht überschritten	3 g	10 min	< 64 $\mu\text{m}$
Titandioxid <sup>(3)</sup>	Nanovermahlung < 100 $\mu\text{m}$ nur im $E_{\max}$ erfolgreich (5 x feiner als Kugelmühle)	10 g	30 min	< 80 nm
Bariumtitanat <sup>(2)</sup>	Nanovermahlung < 100 $\mu\text{m}$ , 2 h Zeitersparnis im Vergleich zur Kugelmühle	12 g	2 h	< 95 nm
Graphit <sup>(2,3)</sup>	Extreme Zeitersparnis (24 x schneller als Kugelmühle) und sehr gute Endfeinheit (7 x feiner als Kugelmühle)	5 g	8 h	< 1,7 $\mu\text{m}$
Glasfritte <sup>(2)</sup>	Schnelle Vermahlung, 1 h Zeitersparnis im Vergleich zur Kugelmühle	15 g	10 min	< 1,4 $\mu\text{m}$
Silizium & Germanium <sup>(4)</sup>	Mechanisches Legieren: Gutes Legierungsergebnis bereits 4-5 h eher als bei Kugelmühle, kaum Amorphisierung und keine Anbackungen im $E_{\max}$	3,63 g Si 2,36 g Ge	20 min VZ + 4 h Legierungsprozess	Nicht gemessen

**VZ = Vorzerkleinerung;**  
**1 = Kühlung, 2 = Zeitersparnis, 3= Bessere Endfeinheit, 4 = Mechanisches Legieren durch hohen Energieeintrag**

## Maximale Sicherheit

Bei der Entwicklung des  $E_{\max}$  hat Retsch besonderes Augenmerk auf maximale Betriebssicherheit für den Anwender gelegt. Die Mahlbecherdeckel werden auf die Becher geschraubt, so dass diese auch bei Nassvermahlungen und eventueller Druckentwicklung abgedichtet sind.

Sensoren überwachen die Position des Bechers in der Mühle; ist diese nicht korrekt, kann die Maschine nicht gestartet werden. Mögliche Unwuchten werden kontinuierlich kontrolliert, bei zu starken Abweichungen hält die Mühle automatisch an. Dabei wird die verbleibende Mahldauer angezeigt und der Mahlprozess kann nach Beheben einer möglichen Störung fortgesetzt werden.



**Solutions in Milling & Sieving**

Retsch GmbH

Dr. Tanja Hanke, Produktmanagement

Retsch-Allee 1-5, D-42781 Haan,

Telefon: 0 21 04/23 33-178

E-Mail: t.hanke@retsch.com