Retsch®

Die Kunst des Zerkleinerns

Ein Kompetenzbericht zum analysengerechten Zerkleinern und Homogenisieren im Labor

mit detaillierter Werkstoffübersicht

part of VERDER scientific

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH, Haan.
Alle Rechte, insbesondere das Recht auf Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung, vorbehalten.
Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung der Firma RETSCH GmbH reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Kunst des Zerkleinerns

Seite

1. Warum wird zerkleinert? 4

2. Der Zerkleinerungsprozess 7
2.1. Probenvorbereitung 7
Probenteilung 8
Trocknung 9
Metallabscheiden 10
Verspröden (Flüssigstickstoff oder Trockeneis). 10
2.2. Zerkleinerungsprinzipien 11
Harte und spröde Materialien 12
Weiche, elastische und faserige Materialien. 13
2.3. Mahlwerkzeuge 14
2.4. Mahlhilfen 18

3. Produktpalette von RETSCH 20
3.1. Backenbrecher 21
3.2. Rotormühlen 22
3.3. Schneid- und Messermühlen 25
3.4. Scheibenmühlen. 27
3.5. Mörsermühlen 28
3.6. Kugelmühlen 28

4. Schlussbemerkung 34

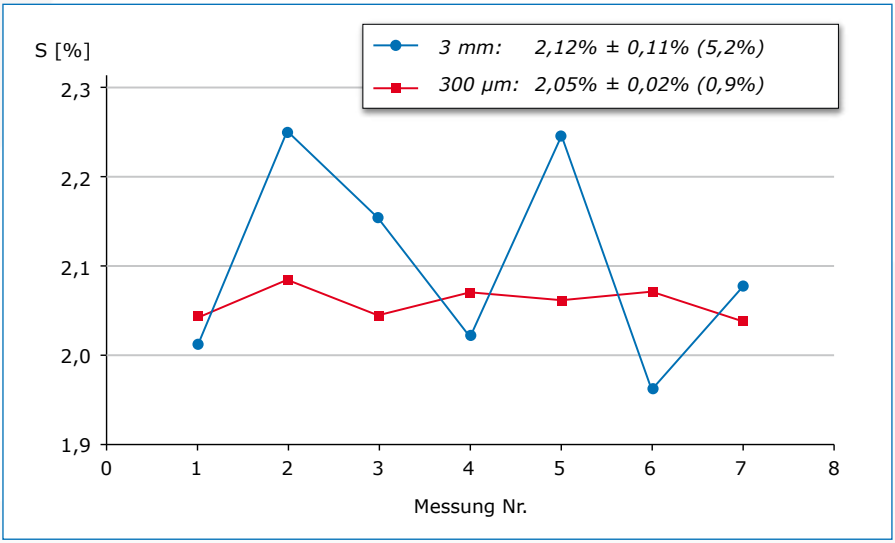
Anhang: Tipps & Tricks Vermahlungen mit Kugelmühlen 36-39
Anhang: Werkstoffübersicht 41-65
Erläuterungen 66-69

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

1. Warum wird zerkleinert?

Zuverlässige und präzise Analyseergebnisse setzen eine reproduzierbare Probenvorbereitung voraus. In der "Kunst des Zerkleinerns" werden die notwendigen Schritte vorgestellt, um eine Laborprobe zu einer repräsentativen Teilprobe mit einer homogenen Analysenfeinheit zu verarbeiten.

Für diese Aufgabe bietet RETSCH ein umfassendes Programm moderner Labormühlen und Brecher für die Grob-, Fein- und Feinstzerkleinerung jeglichen Feststoffmaterials an. Die große Auswahl an Mahlwerkzeugen und Zubehör ermöglicht eine kontaminationsneutrale Probenvorbereitung und eine individuelle Anpassung an die Anforderungen der jeweiligen Anwendungsgebiete, wie z.B. Baustoffe, Metallurgie, Lebensmittel, Pharmazeutika oder Umwelt.
Eine Zerkleinerung von Feststoffen bzw. Schüttgütern ist erforderlich, wenn das Material eine zu grobe Körnung für nachfolgende Prozesse, wie Analytik, Teilung, Mischung oder Weiterverarbeitung, aufweist. Die Standardabweichungen nachfolgender Analysen können durch eine Zerkleinerung und Homogenisierung des Probenmaterials drastisch reduziert werden (siehe Diagramm).



Eine Kunststoffprobe wurde auf verschiedene Partikelgrößen zerkleinert. Je kleiner die Partikelgröße, desto homogener ist die Probe. Die nachfolgende Messung des Schwefelgehaltes (gemessen mit einem ELTRA CS-580 Analysator) zeigt, dass die Standardabweichung sinkt, je homogener die Probe ist (rote Linie) → die Analyseergebnisse sind reproduzierbarer.

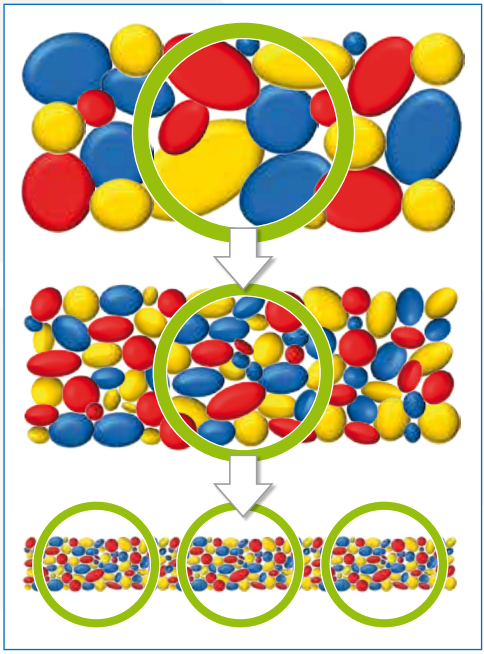
Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Benötigte Analysefeinheit

Ein häufiges Zerkleinerungsziel lautet: "Pulverfein vermahlen". Der Begriff "Pulver" ist jedoch nicht eindeutig. Waschpulver, Kaffeepulver und Backpulver sind Schüttguterzeugnisse, die zwar alle die Bezeichnung "Pulver" für sich beanspruchen, aber sehr unterschiedliche Kornverteilungen aufweisen.
Ebenfalls häufig gefordert wird, eine Laborprobe "so fein wie möglich" zu vermahlen. Dazu sind aber immer hohe Energieeinträge bzw. ein hoher Zeitaufwand nötig. Zeit und Energie bedeuten auch im Laborbetrieb Kosten. Eine effektivere Herangehensweise ist: **Nicht so fein wie möglich, sondern so fein wie nötig.**
Dies wird typischerweise von der nachfolgenden Analyse bestimmt.

Homogenisierung

Für die Durchführung einer Analyse werden i. d. R. nur einige wenige Gramm oder Milligramm Probenmaterial einer Laborprobe benötigt. Ist die Laborprobe inhomogen, ist sie nicht zwangsläufig repräsentiativ für die Gesamtprobe, da einige Inhaltsstoffe vielleicht unter- und andere überrepräsentiert sind. Manche fehlen möglicherweise ganz. Um repräsentative Analysenergebnisse zu gewährleisten, ist es daher unerlässlich, eine homogene Laborprobe zu verwenden.



Ausschließlich eine homogene Probe ist stellvertretend für die Gesamtprobe und gewährleistet zuverlässige und reproduzierbare Analyseergebnisse.

Analysenfeinheit

Die erforderlichen Analysenfeinheiten sind unterschiedlich, abhängig von der Analysemethode bzw. dem Folgeprozess. Bei den meisten Verfahren liegt die Analysenfeinheit im Körnungsbereich 20 µm bis 2 mm.
Da Produkteigenschaften häufig durch die Korngröße beeinflusst werden, (z. B. Extraktions-, Filtrations- oder Absorptionsvermögen), ist auch für die Entwicklung neuer

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Produkte bzw. Produktionsabläufe eine Zerkleinerung im Labormaßstab grundlegend erforderlich.

Aspekte, die die Auswahl einer geeigneten Mühle beeinflussen

Bei der Suche nach einer passenden Labormühle und zugehörigen Mahlwerkzeugen muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die zu analysierenden Eigenschaften der Probe (wie z. B. Feuchte oder Schwermetallanteil) durch den Zerkleinerungsprozess nicht verändert werden.
Die richtige Wahl setzt daher ein tiefgehendes Wissen über die verfügbaren Geräte, aber ebenso umfassende Erfahrung in der Probenvorbereitung verschiedener Materialien voraus.

Um die ideale Mühle für eine spezifische Applikation zu finden, sollten im Vorfeld folgende Aspekte betrachtet werden:

- Qualität/Probeneigenschaften
  (z.B. trocken, zäh, abrasiv, faserig, spröde, hart, weich, temperaturempfindlich, etc.)
- Aufgabegröße
- Benötigte Endfeinheit
- Probenvolumen
- Probendurchsatz
- Nachfolgende Analysemethode
  (welche Art der Kontamination durch Mahlwerkzeugabrieb ist akzeptabel?
- Ist es nötig, die Probe vor der Vermahlung zu trocknen oder zu verspröden?
- Nicht zu vergessen: Ist die Probe repräsentativ?

In Abhängigkeit von den Probeneigenschaften können verschiedene Zerkleinerungsprinzipien angewandt werden, um die benötigte Analysefeinheit zu erreichen. Große Partikel können nicht immer sofort in einem Schritt auf Analysenfeinheit zerkleinert werden. In manchen Fällen ist es daher nötig, eine Grob- und Feinzerkleinerung in einer Mühle durchzuführen. Gegebenenfalls werden hierzu auch zwei verschiedene Mühlen benötigt.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

2. Der Zerkleinerungsprozess

Um eine Zerkleinerungswirkung zu erzielen, muss der Beanspruchungsmechanismus des Zerkleinerungsgerätes auf das Bruchverhalten des Materials abgestimmt sein (s. Kapitel 2.2).

Bei der Auswahl eines Gerätes bzw. vor Beginn der Aufbereitung ist daher eine genaue Begutachtung des Materials erforderlich. Materialeigenschaften wie Dichte, Härtegrad, Konsistenz der Probe sowie evtl. Restfeuchte oder Fettanteile sind zu prüfen. Auch Temperaturempfindlichkeit, Agglomerationsverhalten oder Oberflächenreaktionen können den Mahlerfolg beeinflussen.

Auf jeden Fall muss bei der jeweiligen Aufgabenstellung immer die nachfolgende Analytik berücksichtigt werden.

2.1. Probenvorbereitung

Bevor die eigentliche Zerkleinerung durchgeführt werden kann, ist zu prüfen, ob das Probengut ohne Vorbehandlung aufbereitet werden kann. Feuchtigkeit, Agglomerationen, Entmischungen oder Fremdkörper in der Probe könnten den Arbeitsablauf stören und das Zerkleinerungsergebnis verfälschen.

Auch die Probenmenge muss berücksichtigt werden: Wie viel Probenmenge wird für die nachfolgende Analytik benötigt? Wie groß ist im Vergleich dazu die Ausgangsmenge und deren Körnung? Von diesen Parametern hängt ab, wie groß eine Teilprobe mindestens sein muss, um repräsentativ zu sein. Repräsentativ bedeutet, dass die Teilprobe die gleiche Zusammensetzung aufweist wie die Gesamtprobe.

Verschiedene Probenteiler

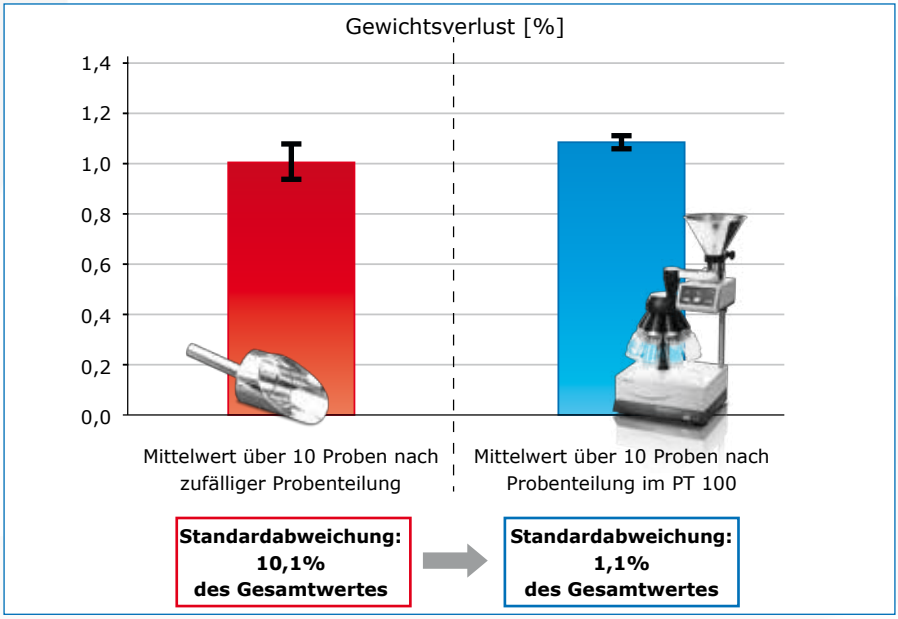
Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Probenteilung

Die meisten Laborproben liegen als inhomogenes Gemisch vor. Transportvorgänge können bei unterschiedlichen Partikelgrößen und Materialdichten des Probenmaterials zu Entmischungen führen. Wird nicht die gesamte Probe vermahlen, muss eine repräsentative Teilprobe entnommen werden.

Falls die Ausgangskörnung zu groß ist, erfolgt die Probenteilung nach einer entsprechenden Vorzerkleinerung der gesamten Laborprobe. Die Auswahl des Teilungsverfahrens und des Gerätes ist material- und mengenabhängig. Rieselfähige, trockene Proben lassen sich über Zuteilrinnen fördern und so in Drehrohrteilern und Probenteilern mit rotierender Teilkrone teilen, während Riffelteiler für schwer fließfähige Materialien zum Einsatz kommen.

Eine manuelle wahllose Probenahme kommt nur dann in Betracht, wenn davon auszugehen ist, dass eine bzgl. Material und Korngröße homogene Probe vorliegt, was ohne entsprechende Voruntersuchungen oft schwer nachzuweisen ist.



Die Standardabweichung in z. B. einer auf ihren Feuchtigkeitsgehalt analysierten Kunststoffprobe kann durch korrekte Probenteilung mit einem Probenteiler drastisch reduziert werden.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Trocknung

Eine Zerkleinerung von feuchtem oder gar nassem Probengut, besonders in Backenbrechern, Rotor- und Schneidmühlen, ist nicht ohne störende Nebeneffekte möglich. Feuchtes Material verschmiert im Mahlraum, setzt Ring- und Bodensiebe zu und führt zum Verstopfen des Gerätes. Materialverlust und ein erhöhter Reinigungsaufwand der Maschine sind die Folge.

Schnelltrockner TG 200

Ausnahmen sind Kolloidvermahlungen, die nur durch Zusatz von Flüssigkeiten in Kugelmühlen durchgeführt werden, oder frisches Obst und Gemüse, das sich in Messermühlen ohne Materialverlust homogenisieren lässt.

In den meisten Fällen müssen feuchte Proben vor der Zerkleinerung jedoch getrocknet werden. Bei der Auswahl des Trocknungsverfahrens und der Temperatur ist darauf zu achten, dass sich die zu bestimmenden Eigenschaften der Probe nicht verändern. Das ist besonders bei leicht flüchtigen Verbindungen wichtig, wie Furanen, chlorierten Kohlenwasserstoffen (z. B. PCBs) und Dioxinen. Oft können solche Proben nur an der Luft bei Raumtemperatur getrocknet werden.

Für eine schonende und schnelle Trocknung eignet sich das TG 200, bei dem, ähnlich wie bei Industrietrocknern, nach dem Wirbelbettverfahren getrocknet wird. Die Trocknungszeit für viele Produkte liegt bei nur 5 bis 20 Minuten.

Weitere Möglichkeiten sind die Vakuum- und die Gefriertrocknen sowie Trocknung im Trockenschrank.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Metallabscheiden

Viele Proben, besonders aus dem Umweltbereich, wie Gewerbeabfall, Restwertstoffe, Sekundärbrennstoffe und Deponiemüll können metallische Anteile enthalten, die mit den dafür einzusetzenden Zerkleinerungsgeräten nicht pulverisiert werden können. Im Gegenteil: metallische Fremdkörper, wie Stahlnägel oder Eisenschrauben, können die Mahlwerkzeuge beschädigen und damit die Leistungsfähigkeit einer Mühle stark herabsetzen. Daher sind Metallanteile vor der Aufbereitung zu separieren, und werden – falls erforderlich – einzeln bewertet.

Verspröden (Flüssigstickstoff oder Trockeneis)

Kühlung in flüssigem Stickstoff

Eine Kühlung des Mahlgutes verbessert oft dessen Brucheigenschaften. Deshalb ist bei der Vor- und Feinzerkleinerung von temperaturempfindlichen Proben, wie z. B. vielen Kunststoffen, eine intensive direkte Kühlung notwendig. Eine Möglichkeit ist, die Vorversprödung des Probenmaterials vor der Vermahlung in flüssigem Stickstoff (N_2, LN). Bei –196 °C wird selbst weiches Gummi so hart und spröde, dass es sich unproblematisch zerkleinern lässt. Eine andere Möglichkeit ist die Mischung des Probenmaterials mit Trockeneis (CO_2). Bei der indirekten Kühlung wird der geschlossene Mahlbecher in flüssigen Stickstoff getaucht.
Kaltmahlungen werden auch dann angewandt, wenn es darum geht, leichtflüchtige Inhaltsstoffe in der Probe zu binden. Materialien, die nicht feucht werden dürfen, sollten nicht mit Kühlmitteln behandelt werden. Der Grund hierfür ist, dass Wasserdampf aus der Luft eingefroren wird, der sich nach dem Auftauen als Wasser abscheidet.
Kühlmittel dürfen nicht in geschlossenen Mahlgarnituren verwendet werden, da durch Verdampfung ein Überdruck im Gefäß entsteht.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

2.2. Zerkleinerungsprinzipien

Bei verschiedenen Mühlentypen kommen unterschiedliche Zerkleinerungsprinzipien zum Einsatz. Welche Mühle in der Praxis für eine Zerkleinerungsaufgabe eingesetzt wird, hängt immer mit dem Bruchverhalten des Mahlgutes zusammen. Hart-spröde Produkte können durch Schlag, Druck und Reibung zerkleinert werden, während weiche und elastische Stoffe oft nur durch Schneid- und Schereffekte erfolgreich zerteilt werden.

Zerkleinerungsmaschinen für den Grobkornbereich, also für Stückgüter größer 40 mm werden als Brecher oder Schredder bezeichnet, während die Körnungsbereiche darunter durch Mühlen bearbeitet werden.

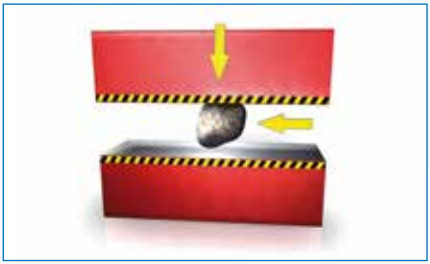
Die folgenden Seiten zeigen die Beanspruchungsmechanismen, die bei der Zerkleinerung von Feststoffen unterschieden werden.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Zerkleinerung von harten / spröden Materialien

Beanspruchung durch Druck
Beanspruchung zwischen zwei Oberflächen: dazu zählen die Oberflächen der Mahlwerkzeuge, wie auch die Oberflächen benachbarter Teilchen. Der Druck wird durch die Mahlwerkzeuge ausgeübt.
Beispiel:
Backenbrecher, Walzenbrecher.

Beanspruchung durch Prallwirkung
Beanspruchung an einer Feststoffoberfläche. Sie kann entweder die eines Mahlwerkzeuges sein, oder durch andere Partikel dargestellt werden. Eine Prallbeanspruchung wird überwiegend durch einseitige und gegenseitige Teilchenbeschleunigung verursacht.
Beispiel:
Schwingmühlen, Planetenmühlen, Prallmühlen, Luftstrahlmühlen, Trommelmühlen.



Beanspruchung durch Reibung
Beanspruchung zwischen zwei Feststoffoberflächen. Hervorgerufen wird Reibung durch vertikalen Druck der einen Fläche und gleichzeitiger Bewegung der anderen Fläche.
Beispiel:
Mörsermühlen, Scheibenmühlen, Handmörser, Reibschalen, Stabmühlen.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Zerkleinerung von weichen, elastischen und faserigen Materialien

Beanspruchung durch Scherung
Beanspruchung zwischen zwei oder mehreren Feststoffoberflächen die sich gegeneinander bewegen und einen Schereffekt auslösen. Mindestens eine bewegliche und eine feststehende Fläche.
Beispiel:
Schlagrotormühlen, Schlagkreuzmühlen, Ultra-Zentrifugalmühlen.

Beanspruchung durch Schneiden
Beanspruchung zwischen zwei oder mehreren scharfkantigen Flächen. Mindestens eine feststehende und eine bewegliche Schneidkante.
Beispiel:
Schredder, Schneidmühlen, Messermühlen.

Meist treten die verschiedenen Zerkleinerungsmechanismen kombiniert auf, z. B. Druck und Reibung in Mörsermühlen, Scherung und Prallwirkung in Rotormühlen.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

2.3. Mahlwerkzeuge

Mahlbecher und Mahlkugeln für Planeten-Kugelmühlen

Für jede Mühle von RETSCH sind die zugehörigen Mahlwerkzeuge bezüglich ihrer Funktionalität und Handhabung optimiert. Zahlreiche verschiedene Anwendungen stellen jedoch unterschiedliche Anforderungen an die Mahlwerkzeuge. Daher gibt es ein umfangreiches Sortiment an Zubehör, um für jede Zerkleinerungsaufgabe eine geeignete Lösung anbieten zu können. So stehen z. B. je nach Probenmenge für Kugel- und Scheiben-Schwingmühlen Mahlgarnituren in verschiedenen Größen zur Verfügung. Durch die Verwendung von Distanzsieben oder –rotoren ist es möglich, temperaturempfindliche Materialien in Rotormühlen aufzubereiten. Des Weiteren stehen für alle Mühlen Mahlwerkzeuge aus unterschiedlichen Werkstoffen zur Auswahl.

Werkstoffe

Die für RETSCH-Mahlwerkzeuge verwendeten Werkstoffe lassen sich in folgende Gruppen unterteilen:

- Metall (Stahl, Gusseisen, Titan)
- Keramik (Wolframcarbid, Zirkonoxid, Sinterkorund, Hartporzellan, Siliziumnitrid)
- Naturstein (Achat)
- Kunststoff (PTFE)

Welcher Werkstoff für welche Mühle angeboten wird, hängt von den unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Werkstoffe ab. Mahlwerkzeuge aus dem „Universal"-Werkstoff Stahl werden für alle Mühlen angeboten.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

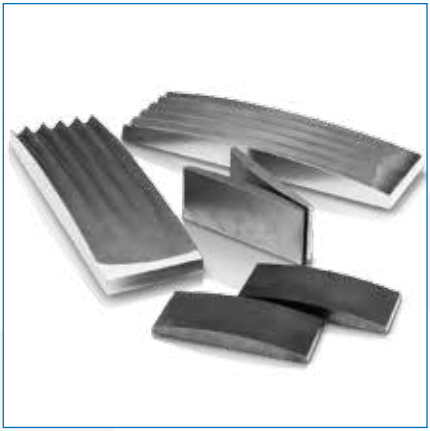
Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Parameter Härte, Energieeintrag, Abriebfestigkeit und mögliche Einträge bei Abrieb:

Übersicht Werkstoffe

	Härte	Dichte	Energie-eintrag*	Abrieb-festigkeit*	Mögliche Einträge bei Abrieb
Rostfreier Stahl	48 - 52 HRC (ca. 550 HV)	7,8 g/cm³	sehr hoch	bedingt gut	Fe, Cr
Gehärteter Stahl	58 - 63 HRC (ca. 750 HV)	7,85 g/cm³	sehr hoch	gut	Fe, Cr, C (geringer als RST)
Wolfram-carbid	ca. 1250 HV	14,8 g/cm³	extrem hoch	sehr gut	W, C, Co (äußerst gering)
Achat	Hart und spröde 6,5 - 7 Mohs (ca. 1000 HV)	2,65 g/cm³	sehr gering	bedingt gut	SiO_2
Sinter-korund	Hart und spröde 8 - 8,5 Mohs (ca. 1750 HV)	3,9 g/cm³	gering	gut	Al_2O_3, SiO_2 (gering), kein Eintrag durch Fe, Cr, Ni oder Co
Zirkonoxid	Hart und spröde, zäher als Achat 7,5 Mohs (ca. 1200 HV)	5,9 g/cm³	hoch	sehr gut	ZrO_2 und Y_2O_3 (sehr gering), i.d.R. unbe-deutend für Analytik
Silizium-nitrid	ca. 1500 HV	3,2 g/cm³	gering	exzellent	Si_3N_4, Y_2O_3, Al_2O_3
PTFE	Elastisch Shore-Härte D 56	2,1 g/cm³	sehr gering	schlecht	Eintrag von F, C

*z. B. in Kugelmühlen

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan



Brechbacken BB (links)
Rotoren ZM (rechts)

Bei der Auswahl einer geeigneten Mahlgarnitur müssen mehrere Punkte berücksichtigt werden. So sind z. B. die **Härte** des Probenmaterials und das Bruchverhalten entscheidend. Der Werkstoff der Mahlgarnitur sollte nach Möglichkeit härter als das Probenmaterial sein, um stärkerem Verschleiß entgegenzuwirken. Das bedeutet z. B., dass für die Zerkleinerung von Quarzsand nicht eine Mahlgarnitur aus Achat, sondern aus dem härteren Zirkonoxid verwendet wird.

Die **Abriebfestigkeit** gibt an, wie resistent der jeweilige Werkstoff gegen Abnutzungserscheinungen ist. Mit dem geringsten Abrieb ist bei Wolframcarbid und Zirkonoxid zu rechnen. Allerdings ist die Menge des Abriebes auch abhängig von den Produkteigenschaften des Mahlgutes und dem jeweiligen Beanspruchungsmechanismus des Zerkleinerungssystems.
Bei Zerkleinerungsvorgängen durch mechanische Kräfte lässt sich Abrieb nicht generell ausschließen. Deshalb sollte bei der Auswahl eines Werkstoffes berücksichtigt werden, dass sich eine mögliche Kontamination nicht negativ auf das Produkt oder die Folgeanalytik auswirkt, wie z. B. ein Eintrag von Chrom und Nickel (aus Stahl) bei nachfolgender Schwermetallanalytik.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Ein zusätzlicher wichtiger Punkt bei Kugel- und Scheiben-Schwingmühlen ist der durch die verschiedenen Werkstoffe der Mahlgarnituren eingebrachte **Energieeintrag**. So liefern z. B. Mahlkugeln aus Wolframcarbid aufgrund ihrer höheren Dichte einen wesentlich höheren Energieeintrag und damit eine bessere Zerkleinerungswirkung als gleichgroße Mahlkugeln der anderen Werkstoffe.

Einige Anwendungsbeispiele:

- Soll in Bodenproben Eisen, Chrom oder Kobalt nachgewiesen werden, so dürfen diese Proben nicht mit Mahlwerkzeugen aus rostfreiem oder gehärtetem Stahl bearbeitet werden, denn diese Stähle enthalten u. a. diese nachzuweisenden Elemente.

- Für den Nachweis von Calcium und Siliziumoxid kann ein Zementklinker hingegen in Mahlgarnituren aus diesen Stählen aufbereitet werden.

- PTFE, Zirkonoxid, Siliziumnitrid und Glas sind Werkstoffe, die sterilisiert werden können, und deshalb z. B. häufig in der Lebensmittelchemie und Mikrobiologie eingesetzt werden.

- Aber auch bei der Weiterverarbeitung einer gemahlenen Probe, ohne nachfolgende Analytik spielt der Abrieb eine Rolle. So dürfen beispielsweise homöopathische Produkte, Wirkstoffe in Lactose sowie Pharmazeutika nur mit Keramikmörsern oder Achatgarnituren aufbereitet werden, um keine unerwünschten Einträge in die Probe zu bringen.

Detaillierte Informationen zu den einzelnen Werkstoffen sind im Anhang zusammengestellt.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

2.4. Mahlhilfen

Viele Zerkleinerungsaufgaben, die aus dem Bereich der mechanischen Verfahrenstechnik bekannt sind, lassen sich mit unterschiedlichen Mühlentypen und deren individuellen Beanspruchungsmechanismen lösen. Es gibt jedoch bestimmte Anwendungen, die mit herkömmlichen Labormühlen trotz umfangreichen Zubehörs nicht ohne weiteres zu lösen sind. Ein aufbereitungstechnisches Problem stellen vor allem Materialien dar, die eine Restfeuchte enthalten, aber nicht getrocknet werden dürfen. Auch bei öl- und fetthaltigen Rohstoffen sowie weichen und elastischen Produkten kann die Zerkleinerung problematisch sein. Feinstvermahlungen, bei denen durch mechanischen Energieeintrag ultrafeine Pulver erzeugt werden sollen, lassen sich oft nur mit Nassvermahlung bewältigen.

Der Einsatz von Mahlhilfen im Zerkleinerungsprozess ist in diesen Fällen zu prüfen. Mahlhilfen sind Additive, die chemische, physikalische Prozesse aktivieren, beschleunigen und auch verbessern sollen. Bevor Mahlhilfsmittel in der Probenvorbereitung von Feststoffen eingesetzt werden, muss sichergestellt sein, dass dieser Zusatz die nachfolgende Analyse oder den weiteren Arbeitsablauf nicht negativ beeinflusst.

Man unterscheidet die Mahlhilfen gemäß der drei Aggregatzustände:

- Fest (Pulver, Granulate, Pellets) zur Bindung von Fett und/oder Feuchtigkeit
- Flüssig (Wasser, Alkohole, Benzine) zur Vermeidung von Agglomeraten
- Gasförmig (inerte Gase, gekühlte Luft)

und außerdem:

- Temperieren (Kühlung mit Flüssigstickstoff oder Trockeneis, Erhitzung)

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Feste Additive

Bei der Probenvorbereitung für Röntgenfluoreszenzanalysen ist es z. B. üblich, während der Zerkleinerung in Planeten-Kugelmühlen oder Scheiben-Schwingmühlen analysenneutrale Pellets, z. B. Spectromelt (auf Cellulose-Basis), dem Probegut beizumengen. Im richtigen Mischungsverhältnis eingesetzt, begünstigen sie die Zerkleinerungswirkung und verhindern Materialanbackungen innerhalb der Mahlgefäße. Zusätzlich dient diese Mahlhilfe in einem anschließenden Pelletiervorgang des Mahlgutes als Bindemittel.

Der Zusatz von Natriumsulfat bei der Verarbeitung von Insekten und marinen Kleintieren sowie feuchten Böden, ist eine gängige Methode, den Fett- und Feuchtegehalt zu binden, der anschließend bestimmt werden soll. Die Verreibung geschieht in Mörsermühlen und garantiert eine vollständige Rückgewinnung des Mahlgutes.

Flüssige Additive

Viele Ölsaaten wie Raps, Sojabohnen oder Senfkörner, die in Kugel- oder Mörsermühlen aufbereitet werden, lassen sich unter Zugabe von Petrolether homogenisieren. Petrolether wird als Extraktionsflüssigkeit für die anschließende Ölgehaltbestimmung eingesetzt.

Die Herstellung ultrafeiner Mahlprodukte, z. B. in der Keramikindustrie, Pulvermetallurgie oder Mineralogie, ist oft nur durch Nassmahlung möglich. Als Dispergiermittel werden v. a. Wasser oder Isopropanol eingesetzt. Für Nassmahlungen werden v. a. Kugel- oder Mörsermühlen verwendet.

Gasförmige Additive

Bei ausreichender Belüftung eines Zerkleinerungssystems, durch Zyklonabscheider oder entsprechende Filtersysteme, wird die Reibungswärme kontinuierlich abgeführt. Das Mahlgut wird weniger erwärmt. Zusätzlich erhöht sich die Durchsatzleistung.

Eine Begasung mit inerten Gasen während des Mahlvorganges sorgt dafür, dass oberflächenaktive Teilchen nicht mit dem Sauerstoff der Luft reagieren können und verhindert so z. B. störende Oxidationen.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

3. Produktpalette von RETSCH

Die Produktpalette von RETSCH reicht von Geräten zur Vorzerkleinerung mehrerer Zentimeter großer Partikel bis zur Feinzerkleinerung in den nm-Bereich. Verschiedene Kriterien beeinflussen die Wahl der für eine Applikation geeigneten Mühle(n):

- **Materialeigenschaften (z. B. Bruchverhalten) der Probe**
- **Aufgabekörnung der Probe**
- **Gewünschte Endfeinheit**
- **Aufgabemenge**

Zur Erlangung der Analysefeinheit kann bei grober Ausgangskörnung der Probe auch die Verwendung von zwei Mühlen, je einer zur Vor- und zur Feinzerkleinerung, erforderlich sein. Zur Auswahl der Mühle gehört auch eine geeignete Mahlgarnitur (vgl. Kapitel 2.3), wobei v. a. die Härte, Abriebfestigkeit, mögliche Kontamination und bei Kugelmühlen auch der Energieeintrag zu berücksichtigen sind.

Zusammenhang zwischen Gerät Probenmaterial und Beanspruchungsart

Zerkleinerungsgerät	Materialien: hart, spröde	Materialien: weich, elastisch, faserig	Beanspruchungsart
Backenbrecher	■		Druck
Ultra-Zentrifugalmühle		●	Prall, Scheren
Zyklonmühle		●	Reibung, Scheren
Schlagkreuzmühle	■		Prall, Scheren
Schlagrotormühle	●	● ■	Prall, Scheren
Schneidmühle		■	Scheren, Schneiden
Messermühle		●	Schneiden, Prall
Mörsermühle	●		Druck, Reibung
Scheibenmühle	●		Druck, Reibung
Schwingmühle, CryoMill	●	●	Prall, Reibung
Planeten-Kugelmühle, E_{max}	●	●	Prall, Reibung
Trommelmühle	●	●	Prall, Reibung
Stabmühle	●	●	Reibung

■ Vorzerkleinern
● Feinzerkleinern

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

3.1. Backenbrecher

Backenbrecher BB 50

Backenbrecher werden für die Vorzerkleinerung von hart-spröden, trockenen Produkten, wie z. B. Erzen, Mineralien, Schlacken und Kohle eingesetzt.
Backenbrecher werden in acht verschiedenen Größen angeboten: die Standgeräte BB 100, BB 200, BB 250 XL, BB 300, BB 400 XL, BB 500 XL, BB 600 XL sowie das Tischgerät BB 50. Während mit dem BB 600 XL bis zu 35 cm große Partikel zerkleinert werden können, liegt die maximale Aufgabekörnung des BB 50 bei 4 cm. Dafür lassen sich mit dem BB 50 Endfeinheiten bis ca. 0,5 mm erzielen, mit dem BB 600 XL dagegen nur Endfeinheiten bis ca. 6 mm. Die Endfeinheiten werden durch die vorgegebene (verstellbare) Spaltweite der Brechbacken beeinflusst.

Backenbrecher BB 600 XL

Mit zunehmender Größe des Backenbrechers erhöht sich auch der mögliche Durchsatz an Probengut. Daher lassen sich mit dem BB 200 und v. a. mit dem BB 600 XL in Abhängigkeit vom Material hohe Durchsätze (>3,5 t/h) erzielen. Vier Modelle eignen sich für den Online-Betrieb (kontinuierliche Zerkleinerung): BB 200, BB 300, BB 500 XL and BB 600 XL. Die Modelle der XL-Linie können auch mit einer automatischen Sortiermaschine bestückt werden.

Brechbacken sowie die seitlich den Brechraum begrenzenden Schleißbleche stehen in fünf verschiedenen Werkstoffen zur Verfügung: Manganstahl, rostfreier Stahl, Stahl zur schwermetallfreien Zerkleinerung sowie Wolframcarbid und Zirkonoxid.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

3.2. Rotormühlen

Ultra-Zentrifugalmühle ZM 200

Die **Ultra-Zentrifugalmühle ZM 200** wird v. a. für die Feinzerkleinerung von weichen, mittelharten, spröden und faserigen Materialien, wie z. B. Dünger, Kunststoffen oder Futtermittelpellets, verwendet. Für die Zerkleinerung von elastisch-plastischen Kunststoffen kann eine Vorversprödung des Mahlguts in Flüssigstickstoff erforderlich sein.

Die Zerkleinerungswirkung in der ZM 200 erfolgt durch Prall- und Scherwirkung zwischen Ringsieb und Rotor. Die maximale Aufgabekörnung liegt bei 10 mm. Je nach Material lassen sich Feinheiten <40 µm erreichen. Die Endfeinheiten werden durch die auswechselbaren Ringsiebe vorgegeben. Gewählt werden können Drehzahlen von 6000 bis 18000 min^{-1}. Die entnehmbare Auffangkassette gewährleistet minimalen Probenverlust und einfache Reinigung.

Für eine gleichmäßige, automatische Zugabe größerer Mengen rieselfähigen Materials empfiehlt sich das Zuteilgerät DR 100. Für die Vermahlung größerer Probenmengen eignet sich die Verwendung eines Zyklons mit 3 oder 5 l Auffangbehälter. Bei temperaturempfindlichen Materialien kann ebenfalls der Einsatz eines Zyklons erforderlich sein, da hierdurch die durch den Mahlvorgang entstehende Reibungswärme besser abgeführt wird. Um die Reibungswärme zu verringern, können alternativ zu den Standard-Ringsieben auch Distanzsiebe verwendet werden, bei denen der Abstand zum Rotor größer ist.

Für eine schwermetallfreie Zerkleinerung stehen Ringsiebe und Rotoren aus Titan zur Verfügung. Für härtere, abrasive Materialen dagegen kann ein mit Wolframcarbid beschichteter Rotor erforderlich sein. Für die Vermahlung von sehr kleinen Probenmengen, wie sie z. B. in der Pharmaindustrie anfallen, wird eine Mini-Kassette mit zugehörigem Rotor und verschiedenen Ringsieben angeboten.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Die **Zyklonmühle TWISTER** wird für die Probenvorbereitung zur nachfolgenden NIR Analytik eingesetzt.

Sie zerkleinert faserige und weiche Produkte schnell und schonend auf eine ausreichende Analysenfeinheit.

Die Mühle ist ideal für die Vermahlung von Futtermitteln und Getreide, eignet sich aber auch für viele Lebensmittel.

Zyklonmühle TWISTER

Der TWISTER ist mit einem Rotor sowie einem Mahlring mit Siebeinsatz ausgestattet. Die hohe Geschwindigkeit von bis zu 14000 min^{-1} sowie die optimierte Form des Rotors und des Mahlraums erzeugen einen Luftstrom, der die Probe durch den integrierten Zyklon in das Probengefäß überführt. Der Zyklon sorgt zusätzlich für die Kühlung von Mahlgut und Mahlwerkzeugen. Feuchtigkeitsverluste, bzw. thermische Zersetzung durch Erhitzen werden dadurch vermieden, die zu bestimmenden Eigenschaften der Probe bleiben erhalten. Das zerkleinerte Mahlgut wird im Zyklon abgeschieden und in einem Probenglas vollständig zurückgewonnen.

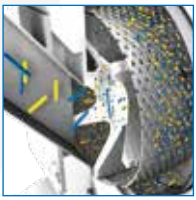
Die im Lieferumfang enthaltenen Siebe garantieren eine optimale Partikelgrößenverteilung, was eine Neukalibrierung des NIR-Spektrometers überflüssig macht.

Die Rotorgeschwindigkeit umfasst 3 Stufen, so dass je nach Anforderung des Probenmaterials die Zerkleinerung schonend oder kraftvoll erfolgt. Da der Luftstrom, insbesondere bei Anschluss eines Staubsaugers, einen vollständigen Austrag des Materials aus dem Mahlraum bewirkt, ist der Reinigungsaufwand in der Regel sehr gering. So wird Kreuz-Kontamination erfolgreich vermieden und ganze Probenserien lassen sich häufig ohne zwischenzeitliche Reinigung zerkleinern.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Schlagrotormühle SR 300 mit Zyklon

Die **Schlagrotormühlen SR 200 und SR 300** werden v. a. für die Vor- bzw. Feinzerkleinerung von weichen und mittelharten, spröden Materialien mit einer maximalen Aufgabekörnung bis 15 mm eingesetzt. Die Endfeinheit wird durch die Lochweiten der auswechselbaren Ringsiebe vorgegeben. Abhängig von den Materialeigenschaften des Probengutes lassen sich Feinheiten <100 µm erreichen. Typische Anwendungen sind z. B. die Vermahlung von Getreide, Kohle, Chemikalien und Böden.



Das Mahlgut wird durch Schlag-, Prall- und Scherwirkung zwischen Rotor und Ringsieb zerkleinert. Am häufigsten werden in den Schlagrotormühlen Ringsiebe verwendet. Um jedoch eine zusätzliche Zerkleinerungswirkung durch Prallwirkung zu erzielen, kann bei mittelharten Materialien ein 180°-Mahleinsatz eingesetzt werden.

Die Schlagrotormühlen SR 200 und SR 300 unterscheiden sich durch ihre Drehzahlen: Die Drehzahl der SR 200 liegt bei 2850 min^{-1}, die der SR 300 bei 8100 min^{-1}. Eine höhere Drehzahl bringt einen höheren Durchsatz, aber auch stärkere Erwärmung des Mahlgutes durch größere Reibungskräfte. Um die Erwärmung des Mahlgutes zu verringern, kann für die Vermahlung wärmeempfindlicher Produkte ein Distanzrotor verwendet werden, bei dem der Mahlspalt größer ist.

Die **Schlagkreuzmühle SK 300** eignet sich für die Vor- und Feinzerkleinerung von mittelhart-sprödem Mahlgut, wie z. B. Erze, Mineralien und Zementklinker, mit Aufgabekörnungen bis 20 mm. Die Endfeinheit wird über auswechselbare Bodensiebe mit unterschiedlichen Lochweiten bestimmt. Die Zerkleinerung des Mahlgutes erfolgt durch Schlag-, Prall- und Scherwirkung zwischen den Prallplatten des Rotors und dem Mahleinsatz. Das Bodensieb lässt Partikel passieren, die die

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

gewünschte Feinheit erreicht haben. Die SK 300 steht in den Ausführungen Gusseisen, rostfreier Stahl, Spezialstahl und Stahl zur schwermetallfreien Zerkleinerung zur Verfügung.
Ein Zyklon ist ebenfalls erhältlich. Die Drehzahl der SK 300 ist zwischen 2 000 und 4 000 min^{-1} einstellbar.

Schlagkreuzmühle SK 300

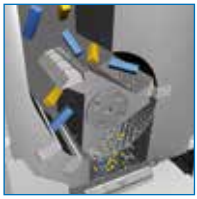
3.3. Schneid- und Messermühlen

Die **Schneidmühlen SM 100, SM 200** und die **Hochleistungs-Schneidmühlen SM 300** und **SM 400 XL** werden für die Vorzerkleinerung von sperrigen, weichen und faserigen Materialen verwendet, wie z. B. Äste, Stroh, Kunststoffe. Die SM 300 verfügt über eine zusätzliche Schwungmasse auf der Motorwelle und hat dadurch eine Durchzugskraft, die sonst nur Motoren mit doppelter Antriebsleistung erzielen. Sie eignet sich daher auch für die Zerkleinerung fester und zäher Materialien, wie festes Leder, dicke Gummistücke und Sekundärbrennstoffe oder Elektronikschrott. Die Drehzahl der SM 300 ist zwischen 700 und 3 000 min^{-1} frei wählbar.

Schneidmühle SM 300

Die erreichbaren Feinheiten sind abhängig von den eingesetzten, auswechselbaren Bodensieben und den Brucheigenschaften des Mahlgutes. Für die Schneidmühlenfamilie ste-

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan



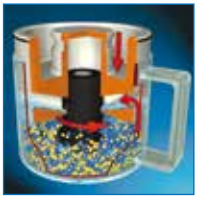
hen verschiedene Rotorentypen zur Auswahl: ein Parallelschnitt-Rotor, der besonders für weiche, elastische und faserige Materialien geeignet ist und ein universell einsetzbarer 6-Scheiben-Rotor mit auswechselbaren Wendeschneidplatten aus Wolframcarbid. Zusätzlich ist für die SM 300 ein V-Rotor erhältlich, der speziell für zähe, weiche und faserige Materialien geeignet ist. Weiteres Zubehör beinhaltet Rotoren und verschiedene Bodensiebe aus Stählen, die zur schwermetallfreien Zerkleinerung eingesetzt werden können.

Messermühlen Grindomix GM 200 und GM 300

Mit den **Messermühlen Grindomix GM 200** und **GM 300** werden in der Regel alle fett-, öl- und wasserhaltigen Proben durch Schneidwirkung zerkleinert und homogenisiert.

Der Einsatz der Geräte ist besonders in der Lebensmittelkontrolle verbreitet und erfüllt z. B. die Forderungen hinsichtlich des Mahlgrades gem. des LMBG §35.

Während die GM 200 Probenmengen von 300 - 700 ml verarbeiten kann, homogenisiert die GM 300 Mengen von bis zu 4500 ml.



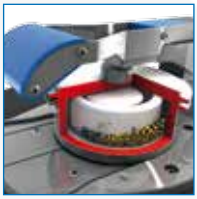
Für die Messermühlen wird verschiedenes Zubehör angeboten. Der Standard-Behälter der GM 200 besteht aus Polypropylen. Zusätzlich sind Behälter aus Edelstahl, Polycarbonat und Borosilikat-Glas erhältlich. Diese sind sterilisier- bzw. autoklavierbar. Die GM 300 verfügt über Mahlbehälter aus Polycarbonat oder Edelstahl, die ebenfalls autoklavierbar sind.
Bei Verwendung eines Schwerkraftdeckels wird das Mahlraumvolumen an die jeweilige Aufgabemenge des Mahlgutes angepasst. Bei wasserhaltigen Produkten kann auch ein Schwerkraftdeckel mit Überstromkanälen verwendet werden, wobei die Flüssigkeit an den Seiten nach oben abgeführt wird. Für eine schwermetallfreie Zerkleinerung und Homogenisierung werden auch analysenneutrale Messer angeboten.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

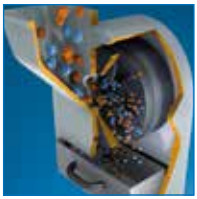
3.4. Scheibenmühlen

Scheibenschwing-mühle RS 200 (links) Scheibenmühle DM 200 (rechts)

Die **Scheibenschwingmühlen RS 200 und RS 300** werden häufig in der Probenvorbereitung für die RFA eingesetzt. Die Mühlen eignet sich für die Feinvermahlung von mittelharten bis harten Materialien, wie Schlacken, Erze, Zementklinker und Mineralien, mit einer maximalen Aufgabekörnung bis 20 mm. Abhängig vom Mahlgut und den gewählten Parametern können Endfeinheiten bis zu 20 µm erzielt werden. Mit kurzer Mahldauer (1 – 2 min) lässt sich meist eine Analysenfeinheit <100 µm erreichen. Es stehen Mahlgarnituren mit den Nutzvolumina 50, 100, 250, 800, 1000 und 2000 ml in bis zu sechs verschiedenen Werkstoffen zur Verfügung (modellabhängig).



Die Zerkleinerung des Probengutes erfolgt in der RS 200 durch Druck und Reibung zwischen Mahlbecher, Puck und Mahlring, die in horizontale Kreisbewegung versetzt werden. Die Drehzahl lässt sich zwischen 700 und 1 500 min^{-1} stufenlos wählen. Die Vor- und Feinzerkleinerung von hart-sprödem Mahlgut erfolgt in den **Scheibenmühlen DM 200 und DM 400** durch Druck und Reibung zwischen zwei senkrecht stehenden Mahlscheiben, wobei die eine feststeht und die andere rotiert. Die maximale Aufgabekörnung liegt bei 20 mm. Die Endfeinheit wird über die Verstellung der Spaltweite der Mahlscheiben bestimmt. Es lassen sich Feinheiten bis 0,1 mm erreichen. Mahlscheiben aus 4 verschiedenen Werkstoffen stehen zur Verfügung.



Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

3.5. Mörsermühlen

Mörsermühlen werden zum Mahlen, Mischen und Verreiben von weichen bis harten, spröden Materialien verwendet. Da die Mörsermühlen staubdicht geschlossen sind, eignen sie sich auch für Nassvermahlungen bzw. die Verreibung von Pasten.

Die Zerkleinerung in Mörsermühlen erfolgt durch Druck und Reibung zwischen Mörser und Pistill. Der Anpressdruck des Pistills kann manuell eingestellt werden. Die Positionen des Abstreifers und des Pistills lassen sich nachjustieren.

Mörsermühle RM 200

Die **Mörsermühle RM 200** von RETSCH weist ein Nutzvolumen von 10 bis 190 ml auf. Die maximale Aufgabekörnung des Mahlgutes beträgt ca. 8 mm. Abhängig von den Materialeigenschaften des Mahlgutes lassen sich in der RM 200 Endfeinheiten bis 10 µm erreichen. Es stehen Mahlgarnituren aus sieben verschiedenen Werkstoffen zur Auswahl.

3.6. Kugelmühlen

Kugelmühlen werden in erster Linie zur Feinzerkleinerung von hart-sprödem Probengut eingesetzt. Ein entscheidender Vorteil von Kugelmühlen sind ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten: Mahlbecher und -kugeln stehen in verschiedenen Größen und aus unterschiedlichen – auch nichtmetallischen – Werkstoffen zur Verfügung. Dies ist z. B. für die Probenvorbereitung zur Schwermetallanalytik von Bedeutung, wofür häufig Mahlgarnituren aus Zirkonoxid oder Achat eingesetzt werden.

Die Mahlgarnitur einer Kugelmühle besteht immer aus einem Mahlbecher und einer zugehörigen Mahlkugelfüllung aus dem gleichen Werkstoff. Für die Kugelfüllung gilt folgende Faustre-

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

gel: 1/3 des Mahlraumvolumens wird mit Kugeln, 1/3 mit Probenmaterial gefüllt. Bei der Wahl der Kugelgröße sind die Aufgabekörnung des Mahlgutes sowie die gewünschte Endfeinheit zu berücksichtigen. Während z. B. zur Zerkleinerung von bis zu 10 mm großen Partikeln 30 mm Kugeln erforderlich sein können, werden bei Kolloidvermahlungen, bei denen Feinheiten im µm bis nm-Bereich erzielt werden sollen, häufig Mahlkugeln mit einem Durchmesser von 2 oder 3 mm eingesetzt. Da Kugelmühlen staubdicht geschlossene Mahlgefäße besitzen, können sie auch für Nassvermahlungen verwendet werden.

Planetenkugelmühle PM 100

Planeten-Kugelmühlen werden in vier Versionen angeboten: die **PM 100** und **PM 100 CM** mit einer, die **PM 200** mit zwei und die **PM 400** mit vier Mahlstellen. Mahlbecher sind in sechs verschiedenen Werkstoffen mit Volumina von 12 - 500 ml erhältlich. Die maximale Aufgabekörnung liegt bei 10 mm. Bei Trockenvermahlungen lassen sich je nach Materialeigenschaften des Probengutes Feinheiten <100 µm erreichen.

Feinheiten <10 µm bis in den nm-Bereich dagegen lassen sich nur durch Nassvermahlungen erzielen. Hierbei kommen meist Mahlkugeln mit geringem Durchmesser (z. B. 3 mm) zum Einsatz. Bei Nassvermahlungen werden ca. 60 % des Mahlbechervolumens mit Mahlkugeln gefüllt. Neben der Probe wird auch ein Dispergiermittel, z. B. Wasser oder Alkohol zugegeben. Wichtig bei der Wahl des Dispergiermittels ist, dass das Probenmaterial nicht gelöst wird oder sonst chemisch verändert wird. Außerdem muss bei Nassvermahlungen ein Sicherheitsverschluss verwendet werden, da infolge

Planetenkugelmühle PM 400

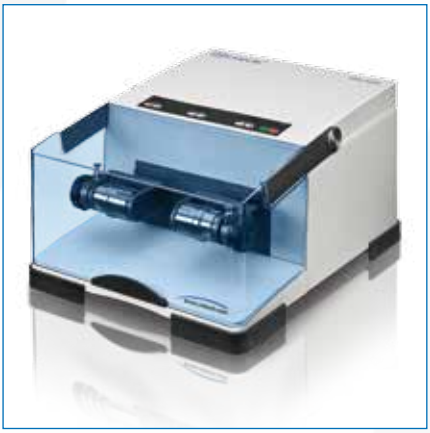
Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Messsystem PM GrindControl

meist langer Mahldauern (bis zu mehreren Stunden) höhere Temperaturen entstehen und sich damit ein Überdruck in den Mahlbechern aufbaut.
Die Mahlbecher der Planeten-Kugelmühlen sind exzentrisch auf dem so genannten Sonnenrad angeordnet.
Die Drehbewegung des Sonnenrades ist gegenläufig zur Mahlbecherdrehung im Verhältnis 1:-2. Die Zerkleinerung des Probenmaterials erfolgt durch Reibung und Prallwirkung.

Die Planeten-Kugelmühle PM 100 CM arbeitet im Fliehkraftmodus, d. h. das Drehzahlverhältnis von Sonnenrad zu Mahlbecher liegt bei 1:-1. Die Zerkleinerung des Probenmaterials erfolgt durch Druck und Reibung, was eine schonendere Zerkleinerung mit geringerem Abrieb bewirkt.
Planeten-Kugelmühlen von RETSCH können auch zum mechanischen Legieren eingesetzt werden. Hierunter ist die Herstellung von neuen Verbindungen aus Gemischen von Metall- oder Metalloxidpulvern durch einen meist mehrstündigen Mahlprozess zu verstehen. Während für duktile Metalle meist das Drehzahlverhältnis 1:-2 von Becher zu Sonnenrad ausreicht, können für hartspröde Werkstoffe, wie z. B. kovalent gebundene Halbleiter, höhere Energieeinträge nötig werden. Hierfür eignet sich die **PM 400 MA** mit Drehzahlverhältnissen von 1:-2,5 bzw. 1:-3.

Um die Prozesse, die während der Vermahlung ablaufen besser überwachen zu können, bietet RETSCH das Messsystem **PM GrindControl** an, mit dem es möglich ist, Druck und Temperatur im Mahlbecher zu dokumentieren.

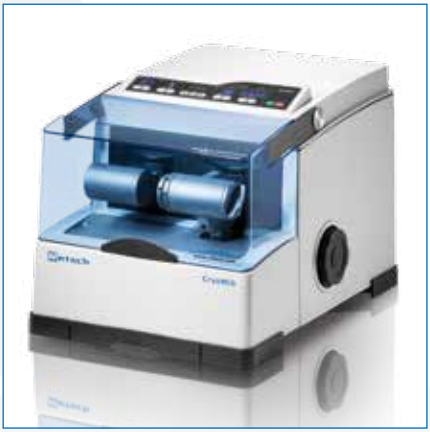


Schwingmühle MM 400

Zum Vermahlen kleiner Probenmengen eignen sich die **Schwingmühlen MM 200 und MM 400**. Die Mahlbecher werden in horizontal-radiale Schwingungen versetzt. Die Zerkleinerung erfolgt v. a. durch Prallwirkung. Die Schwingmühlen sind unter Verwendung vieler kleiner Mahlkugeln (für eine höhere innere Reibung) auch zum Aufschließen biologischer Zellen geeignet.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Zur Probenvorbereitung von Presstabletten für die RFA können bereits zerkleinerte Proben mit Wachs (Bindemittel) unter Verwendung von Polyamid- oder Steatitkugeln gemischt bzw. homogenisiert werden.
Die MM 400 hat im Vergleich zur MM 200 einen größeren Schwingradius und leistet dadurch einen ca. 30% höheren Energieeintrag. Das bedeutet, dass sich in kürzerer Zeit höhere Feinheiten erreichen lassen. Für die MM 400 sind neben Mahlbechern mit Volumina von 1,5 ml bis 25 ml auch 35 ml- bzw. 50 ml-Becher erhältlich. Weiterhin sind die Mahlbecher der MM 400 verschraubbar, was v. a. für Nassvermahlungen wichtig ist.
Die MM 400 eignet sich auch für Kryogenvermahlungen. Hierbei werden die mit Mahlkugel und Probenmaterial gefüllten Mahlbecher aus rostfreiem Stahl für 2 – 3 Minuten in Flüssigstickstoff gekühlt und anschließend in die Halterung der MM 400 eingespannt.



CryoMill

Die **Schwingmühle CryoMill** ist speziell für Kryogenvermahlungen entwickelt worden. Der Mahlbecher wird vor und während der Vermahlung durch das integrierte Kühlsystem mit flüssigem Stickstoff kontinuierlich gekühlt. Dadurch wird die Probe versprödet und leichtflüchtige Bestandteile bleiben erhalten. Der Stickstoff befindet sich in einem offenen Kreislauf und muss nicht per Hand nachgefüllt werden. Dank des Autofill-Systems wird Stickstoff immer genau in der Menge nachdosiert, die zur Temperaturkonstanz bei –196 °C nötig ist – das reduziert den Verbrauch und garantiert reproduzierbare Mahlergebnisse.
Verschiedene Zerkleinerungsparameter können programmiert werden, was Routinevermahlungen vereinfacht.
Das Zerkleinerungsprinzip entspricht dem der MM 400. Mit einer Schwingfrequenz von 30 Hz zerkleinert die CryoMill sehr effektiv innerhalb weniger Minuten. Sie besitzt eine Mahlstelle für Mahlbecher mit Volumina von 25 ml, 35 ml und 50 ml. Alternativ kann auch ein Adapter eingesetzt werden, der bis zu 6 Mahlbecher mit 2 ml Volumen aufnehmen kann.
Die CryoMill kann auch ohne Kühlung betrieben werden, was sie universell einsetzbar macht.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Hochleistungs-Kugelmühle E_{max}

Die **Hochleistungs-Kugelmühle E_{max}** ist eine vollkommen neue Art von Kugelmühle, entwickelt für Vermahlungen bis in den Nanometerbereich mit höchstem Energieeintrag.
Der neuartige Zerkleinerungsmechanismus des E_{max} vereint die Vorteile verschiedener Mühlenarten: hochfrequenter Prall (Schwingmühle), intensive Reibung (Scheiben-Schwingmühle) und eine kontrollierte, kreisende Bewegung der Mahlbecher (Planeten-Kugelmühle) sorgen für eine beispiellose Zerkleinerungsleistung. Diese einzigartige Kombination wird durch die ovale Form und die Bewegung der Mahlbecher erzeugt.
Die Mahlbecherhalterungen sind jeweils auf zwei Scheiben befestigt, die sich gleichsinnig drehen und damit die Mahlbecher (Größen: 50 oder 125 ml) auf einer Kreisbahn bewegen, ohne dass diese ihre Ausrichtung ändern. Durch das Zusammenspiel von Bechergeometrie und Bewegungsmechanik entsteht eine starke Reibung zwischen Kugeln, Probe und Becherwänden sowie eine hohe Beschleunigung, die die Kugeln an den Becherrundungen mit starkem Prall auf die Probe treffen lässt. Daraus resultiert eine deutlich bessere Durchmischung der Partikel mit höheren Endfeinheiten und engeren Partikelgrößenverteilungen als es bisher in Kugelmühlen möglich war.
Endfeinheiten im Nanometerbereich können nur durch eine Nassvermahlung erreicht werden. Für diese Methode werden Mahlkugeln mit einem Durchmesser von 0,1 mm – 3 mm in großer Anzahl verwendet, die sehr viel Reibung erzeugen. Beim E_{max} wird die so entstehende Zerkleinerungsenergie durch die Umdrehungszahl von 2000 min^{-1} noch verstärkt. Dabei nutzt der E_{max} den hohen Energieeintrag voll aus, weil die einzigartige Wasserkühlung die aus der Reibung resultierende Wärme rasch abführt.
Abhängig von Probencharakteristika und Zerkleinerungsmodus wird bei herkömmlichen Planeten-Kugelmühlen eine Einhaltung von ca. 60 % Pausenzeiten im Gesamtmahlprozess empfohlen, damit Probe und Gerätemechanik nicht zu heiß werden. Im Gegensatz dazu kann der E_{max} durch die effiziente Wasserkühlung kontinuierlich betrieben werden.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Die **XRD-Mill McCrone** wurde speziell für die Probenvorbereitung zur Röntgendiffraktometrie entwickelt (XRD).

Was die Mühle so effektiv macht, ist ihr einzigartiges Mahlverfahren, in dem 48 zylindrische Mahlkörper durch Reibwirkung die Proben schonend zerkleinern. Deshalb ist die Mahldauer kurz, der Materialverlust vernachlässigbar und die Partikelgrößenverteilung sehr eng. Die **Kristallgitterstruktur bleibt dabei weitestgehend erhalten**, eine Voraussetzung für aussagekräftige Röntgendiffraktogramme.

XRD-Mill McCrone

Die **Trommelmühle TM 300 XL** ist für die Aufbereitung von Granulaten und Pulvern geeignet und erlaubt sowohl Trocken- als auch Nassvermahlungen.
Der Zerkleinerungsprozess wird mit einer Geschwindigkeit von bis zu 80 min^{-1} durchgeführt. Ein entsprechendes Modul ermöglicht die Verwendung als Kugel- oder als Stabmühle.
Für einen effektiven Einsatz der Maschine ist eine ausreichende Menge von Mahlkugeln oder Mahlstäben notwendig. Die erzielte Endfeinheit liegt üblicherweise unterhalb 20 Mikrometer.

Trommelmühle TM 300 XL

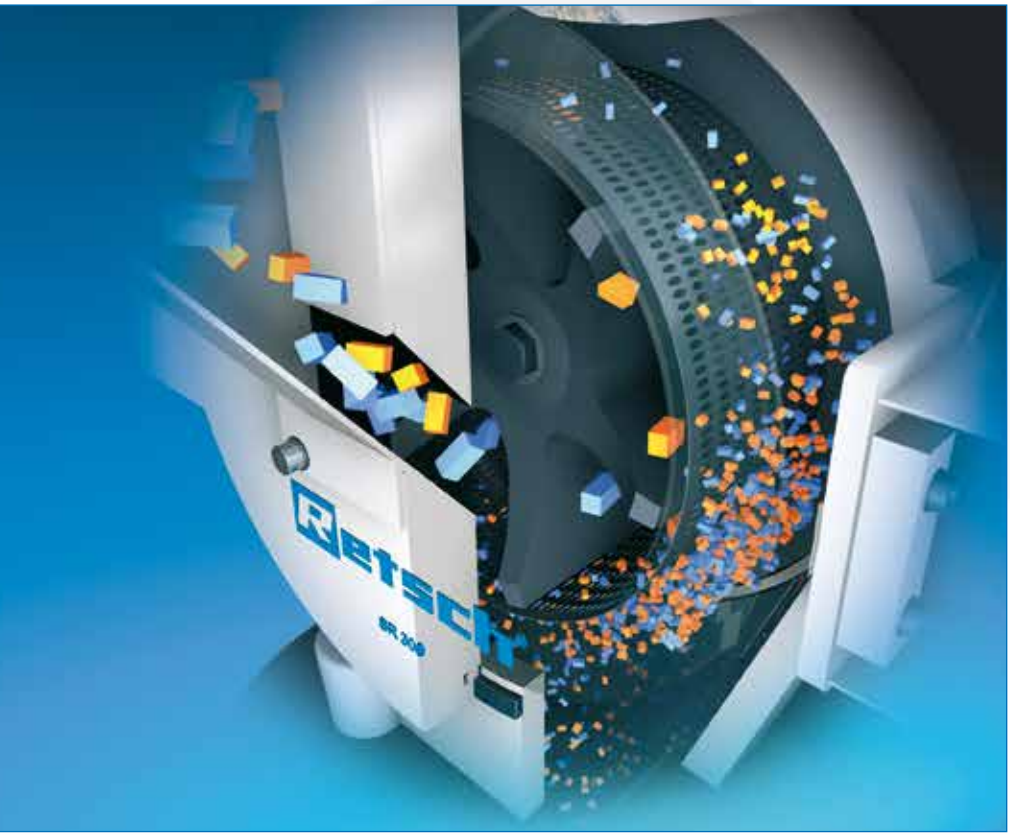
Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

4. Schlussbemerkung

Für viele Anwendungen ist das Zerkleinern ein wichtiger Schritt in der Probenvorbereitung. In diesem Kompetenzbericht wurden die verschiedenen Zerkleinerungstechniken vorgestellt und es wurde erörtert, welche Mühlen sich für welche Proben besonders eignen.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Immer neue Aufgabenstellungen aus Forschung und Anwendungstechnik sowie zunehmende Genauigkeit der instrumentellen Analytik führen zu erhöhten Anforderungen und einer kontinuierlichen Weiterentwicklung von Zerkleinerungsgeräten und Mahlwerkzeugen.



Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Anhang: Tipps & Tricks für Vermahlungen mit Kugelmühlen

Wie wird die richtige Mahlkugelgröße ermittelt?

Bei der Wahl der Mahlkugelgröße müssen sowohl die Aufgabekorngröße als auch die angestrebte Endfeinheit des Probenmaterials berücksichtigt werden. Einige Faustregeln können hier behilflich sein:

- Die Mahlkugeln sollten dreimal größer sein als das größte in der Probe enthaltene Partikel. Hierdurch wird sichergestellt, dass genügend Energie bereitgestellt werden kann, um die Probe zu zerkleinern. Für eine Probe mit einer Aufgabekorngröße von 10 mm würde man demzufolge Kugeln mit einem Durchmesser von 30 mm wählen.

- Hinweis: Bei der Zerkleinerung von sehr hartem Probenmaterial ist es unter Umständen vorteilhaft, größere Kugeln zu wählen, um einen höheren Energieeintrag zu erzeugen. Falls die Probe jedoch dazu neigt anzubacken, wird weniger Zerkleinerungsenergie benötigt, was wiederum bedeutet, dass kleinere Kugeln eingesetzt werden.

- Generell lässt sich festgestellen, dass die Endfeinheit, die mit Mahlkugeln eines definierten Druchmessers erreicht werden kann, ungefähr 1/1000 dieses Durchmessers beträgt. Bei einer Aufgabekorngröße von 10 mm sollten also Mahlkugeln von 30 mm verwendet werden. Die zu erreichende Endfeinheit kann bei 30 µm liegen. Um kleinere Partikelgrößen zu erzielen, ist es u. U. nötig, zwei oder mehr Zerkleinerungsschritte durchzuführen.

Aufgabekorngröße

Mahlkugeln dreimal größer als das größte Partikel der Probe

Angestrebte Partikelgröße

3 mm Kugeln ➡ bis zu 3 µm Partikel

...

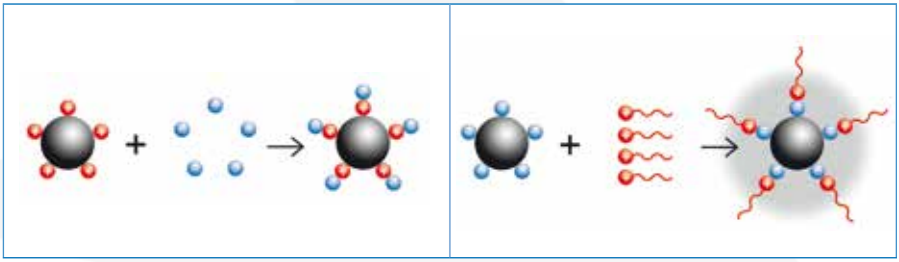
0,1 mm Kugeln ➡ bis zu 0,1 µm Partikel

Möglicherweise sind zwei oder mehr Zerkleinerungsschritte und eine Anpassung der Mahlkugelgröße nötig, um sehr feine Partikel zu erhalten.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Wichtig: Niemals verschiedene Kugelgrößen in einem Zerkleinerungsschritt vermischen! Die größeren Kugeln könnten die kleineren zermahlen, was zu einer Kontamination des Probengutes führen würde. Stets Kugeln und Becher aus dem gleichen Material verwenden (z. B. rostfreier Stahl), um einen vorzeitigen Verschleiß der Mahlwerkzeuge zu verhindern.

Endfeinheiten <10 µm können ausschließlich durch Nassvermahlung erreicht werden. Bei sehr kleinen Partikeln führt die im Verhältnis zu ihrem Volumen deutlich vergrößerte Oberfläche dazu, dass sie sich durch elektrostatische Ladung gegenseitig anziehen. Eine Neutralisierung der Oberflächenladung kann durch Zugabe von Dispergiermitteln, wie z.B. Wasser, Pufferlösung oder Alkohol, erzielt werden.



Neutralisierung von geladenen Partikeln durch Zugabe von Pufferlösung (elektrostatische Stabilisierung, links)
oder durch Zugabe von langkettigen Molekülen (sterische Stabilisierung, rechts)

Empfehlungen für Trocken- und Nassvermahlungen (Kolloidvermahlungen)

Trockenvermahlung: Bei der Befüllung des Mahlbechers sollte folgende Faustregel beachtet werden: 1/3 wird mit Kugeln gefüllt, 1/3 mit Probenmaterial, 1/3 verbleibt leer, um den Bewegungen der Mahlkugeln genügend Raum zu bieten. Meist werden Kugeln >3 mm verwendet. Die Prallkräfte, die zum Aufbrechen größerer Partikel benötigt werden, steigen mit der Größe der Mahlkugeln.

Nassvermahlung: Endfeinheiten < 10 µm können ausschließlich durch Nassvermahlungen erzielt werden, bei denen Mahlkugeln von 0,1 bis 3 mm zum Einsatz kommen (sog. Kolloidvermahlungen). Ungefähr 60% des Mahlraumes werden mit Mahlkugeln befüllt, um die Reibungsoberfläche, die für die Erzeugung sehr feiner Partikel benötigt wird, zu vergrößern. Zu empfehlen sind Mahlkugeln aus einem abriebfesten Material wie z. B. Zirkonoxid, um Abrieb und Verschleiß möglichst gering zu halten. 30 % des Mahlvolumens werden mit Probenmaterial befüllt.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Der Probe wird ein Dispergiermittel wie z. B. Wasser oder Alkohol hinzugefügt, bis die Mischung eine Konsistenz wie Motoröl aufweist. Wichtig hierbei ist, dass das gewählte Dispergiermittel die chemischen Eigenschaften des Probenmaterials nicht verändert. Falls die Probe zum Andicken neigt, muss direkt zu Beginn der Vermahlung mehr Dispergens zugegeben werden oder nach einer Mahldauer von 5 oder 10 Minuten.

Mahlbecherentnahme

Nach der Vermahlung sollte die Entnahme der Mahlbecher aus Planetenkugelmühlen sehr achtsam erfolgen, weil sie sehr heiß werden können (~ 150°C). Außerdem kann während des Mahlprozesses entstehende Hitze zu einem Druckanstieg im Mahlbecher führen. Aus diesem Grund wird die Benutzung der optionalen Sicherheitsverschlussvorrichtung für Mahlbecher der PM-Serie empfohlen. Sie garantieren jederzeit eine sichere Entnahme der Becher. Nach dem Zerkleinerungsprozess sollten die Mahlbecher einige Minuten abkühlen.

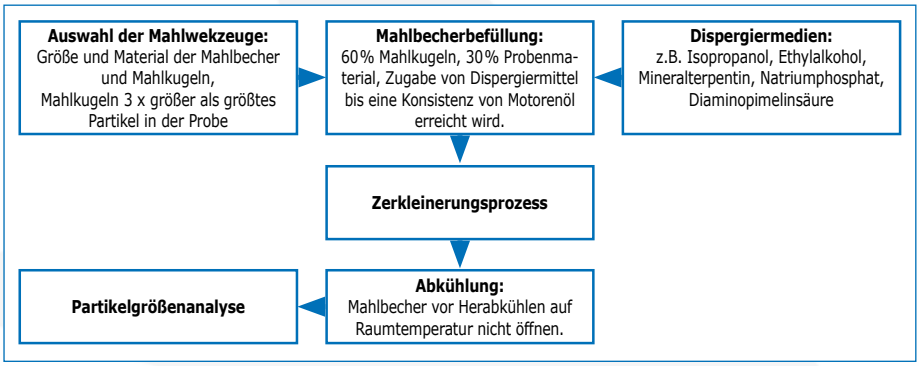
Die Mahlbecher der Hochleistungskugelmühle E_{max} verfügen standardmäßig über einen Sicherheitsverschluss. Darüberhinaus verhindert das effektive Kühlsystem des E_{max} ein zu intensives Aufheizen der Mahlbecher. Die Mahlbecher von Planetenkugelmühlen und E_{max} können mit optionalen Begasungsdeckeln ausgestattet werden, die einen Mahlprozess in inerter Atmosphäre ermöglichen.

Befestigte Sicherheitsverschlussvorrichtung und Begasungsdeckel von PM Mahlbechern (links) und E_{max} Mahlbecher mit integriertem Sicherheitsverschluss (rechts).

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Trennung der Mahlkugeln im Anschluss an eine Nassvermahlung

Mahlbecherinhalt auf ein Sieb mit Auffangboden schütten (Maschenweite 20% bis 50% kleiner als Durchmesser der verwendeten Mahlkugeln). Die Vibrationen der Siebmaschine führen zu einer Trennung von Probenmaterial und Mahlkugeln. Feuchtes Probenmaterial neigt durch Kapillarkräfte dazu, an den Mahlkugeln anzuhaften. Ein Abspülen der Probe mit Dispergierflüssigkeit hilft bei der Probenrückgewinnung.



Zerkleinerungsprozess und -parameter für Nassvermahlungen.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Anhang: Werkstoffübersicht

A-1. Metallische Werkstoffe 40
A-1.1. Stahl 40
A-1.2. Gusseisen / Temperguss 47
A-1.3. Titan 48

A-2. Keramische Werkstoffe 49
A-2.1. Wolframkarbid (Hartmetall) 49
A-2.2. Zirkonoxid 51
A-2.3. Sinterkorund 53
A-2.4. Hartporzellan 55
A-2.5. Siliziumnitrid 56

A-3. Sonstige Werkstoffe 58
A-3.1. Achat (Naturstein) 58
A-3.2. Glas 60
A-3.3. PTFE (Kunststoff) 62
A-3.4. Polypropylen (Kunststoff) 64
A-3.5. Polycarbonat (Kunststoff) 65

A-4. Erläuterungen 66
A-4.1. Härte 66
A-4.2. Chemische Zusammensetzung 67
A-4.3. Härtevergleichstabelle 68

Die Angaben zur chemischen Zusammensetzung der Werkstoffe sind gerundete Werte. Berücksicht werden lediglich die Haupt- bzw. charakteristischen Bestandteile eines jeden Werkstoffs. Deshalb kann eine Aufsummierung der einzelnen prozentualen Werte zu einem von 100% abweichenden Ergebnis führen. Detailliertere Werkstoffanalysen, in denen auch die Nebenbestandteile aufgelistet sind, finden sich in der pdf-Datei „Material Analyses of Grinding Tools“ auf www.retsch.com.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-1. Metallische Werkstoffe

A-1.1. Stahl

Was ist Stahl?

Stähle sind Eisen-Werkstoffe, deren Kohlenstoffgehalt im Allgemeinen kleiner als 2% ist. Chemisch betrachtet handelt es sich bei dem Werkstoff Stahl um eine Legierung aus Eisen und Eisenkarbid.

Um die chemischen und mechanischen Eigenschaften von Stählen zu beeinflussen, werden andere Metalle zugesetzt (z. B. Chrom und Mangan). Es gibt verschiedene Arten Stahl herzustellen, auf die an dieser Stelle aber nicht eingegangen werden soll.

Für RETSCH Geräte und Zubehör werden folgende Stähle verwendet:

- Rostfreier Stahl
- Gehärteter Stahl („Spezialstahl")
- Stahl zur schwermetallfreien Zerkleinerung (z. B. Stahl 1.1750, St 1203)
- Manganstahl („Manganfeinguss")

Rostfreier Stahl

Mit „Rostfreiem Stahl" bezeichnet man einen korrosionsbeständigen Stahl. Die Korrosionsbeständigkeit dieser Stähle beruht auf einer hauchdünnen, nicht sichtbaren oxidischen Schutzschicht, der so genannten Passivschicht. Diese Passivschicht bildet sich bei Chromgehalten >12%. Der Korrosionswiderstand nimmt mit dem Chromgehalt des Stahls zu. Jedoch geht bei Chromgehalten >20% die Härtbarkeit und damit der Verschleißwiderstand des Stahls verloren.

Härte

48 – 52 HRC (Rockwell)

Dichte

7,8 g/cm³

Zusammensetzung

Fe: 62 – 84.5%
Cr: 13 – 19.5%
Ni: <14%

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Ständige mechanische Beanspruchung, wie z. B. bei Mahlwerkzeugen, kann zur Zerstörung der Passivschicht aber auch zur Anrauung der Werkzeugoberfläche führen. Neben Kreuz-Kontaminationen können darüber hinaus Korrosionsstellen auftreten. Diese haben ihre Ursache nicht in mangelnden Werkstoffqualitäten, sondern sind auf Abnutzung zurückzuführen.

Zur Entfernung von Korrosionsansätzen, Verschmutzungen oder Fremdrostbefall an den Mahlwerkzeugen eignen sich handelsübliche Metallreiniger sowie der Einsatz einer Bürste. Nach der Nassreinigung empfiehlt sich, die Teile mit Isopropanol oder Aceton abzuwischen und gut zu trocknen.

Gehärteter Stahl („Spezialstahl")

Gehärteter Stahl gehört wie der rostfreie Stahl zu den Chromstählen, weist allerdings einen niedrigeren Chromgehalt von 12% auf. Dementsprechend zeichnet sich der Spezialstahl nicht durch Korrosionsbeständigkeit sondern durch seine größere Härte aus.

Härte

58 – 63 HRC (Rockwell)

Dichte

7,85 g/cm³

Zusammensetzung

Fe: 84 – 85%
Cr: 12%

Stahl zur schwermetallfreien Zerkleinerung (z. B. Stahl 1.1750, St 1203)

Diese Stähle sind chrom- und nickelfrei und können, soweit ein möglicher Eisenabrieb nicht stört, für die Probenzerkleinerung zur Schwermetall-Analytik eingesetzt werden.

Schwermetallfreie Stähle weisen ausreichend hohe Kohlenstoffgehalte auf, so dass Härten von bis zu 62 HRC möglich sind. Auf Grund des hohen Eisenanteils (97 – 99%) sind sie nicht korrosionsbeständig und bedürfen daher einer angemessenen Pflege und einer trockenen Lagerung.

Härte

bis zu 62 HRC (Rockwell)

Dichte

7,85 g/cm³

Zusammensetzung

Fe: 98 – 99%

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Werden feuchte oder nasse Materialien mit diesen Stählen bearbeitet, so sind die anschließende Reinigung und der Trocknungsprozess sorgfältig durchzuführen, ansonsten ist mit Korrosionsstellen zu rechnen. Mahlwerkzeuge die längere Zeit nicht benutzt werden, schützt man mit einem dünnen Öl- oder Fettfilm vor Korrosion.

Härte

bis zu 55 HRC (Rockwell)

Dichte

7,2 g/cm³

Zusammensetzung

Fe: 85%
Mn: 13%

Manganstahl („Manganfeinguss")

Manganstahl wird nach seinem Erfinder auch Hadfieldstahl genannt. Der Mangangehalt liegt zwischen 12% – 14% , der Kohlenstoffgehalt zwischen 1% - 1,2%.

Nach dem Abschrecken aus der 1100 °C heißen Metallschmelze zeigt der Stahl noch ein äußerst duktiles verformbares Gefüge. Erst bei stoßartiger Belastung wandelt sich ein Teil des Gefüges, so dass Härtewerte von über 600 HV (ca. 55 HRC) erreicht werden. Diesen Vorgang bezeichnet man als Kaltverfestigung, im technischen Sprachgebrauch wird Manganstahl daher auch als Kaltverfestiger bezeichnet.

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Mineralogie*
- *Baustoffe*
- *Kunststoffe*
- *Textilien*
- *Sekundärbrennstoffe*

etc.

Materialbeispiele:
- *Mineralien*
- *Erze*
- *Zement*
- *Polymere*
- *Platinen*
- *Papier*
- *Futtermittel*

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Stahl eingesetzt?

Rostfreier Stahl

Rostfreier Stahl wird häufig in der Mineralogie und im Hüttenwesen eingesetzt. Weitere Anwendungsgebiete sind die Feinzerkleinerung von Kohle, Koks und Schlacken und die Zerkleinerung von Rohstoffen und Zwischenprodukten bei der Herstellung von Zement und Kalk.

Da Chrom und Nickel wesentliche Legierungsbestandteile sind, ist er zur Aufbereitung von Materialien zum Schwermetallnachweis nicht geeignet.

Mahlwerkzeuge aus rostfreiem Stahl erfüllen allerdings nicht höchste Ansprüche an die Verschleißfestigkeit bei harten und abrasiven Mahlgütern, besonders dann, wenn sie reibenden Beanspruchungen ausgesetzt sind.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Gehärteter Stahl („Spezialstahl")

Mahlwerkzeuge aus gehärtetem Stahl werden vor allem da eingesetzt, wo rostfreier Stahl zu schnell abgenutzt würde, z. B. bei den Messern von Schneidmühlen oder bei hartem, abrasivem Probenmaterial. Ebenfalls von Vorteil ist der Einsatz von Spezialstahl in Mühlen, in denen die Zerkleinerung vorwiegend durch Reibung erfolgt.

Stahl zur schwermetallfreien Zerkleinerung (z. B. Stahl 1.1750, St 1203)

Ausgestattet mit schwermetallfreien Stählen sind in erster Linie die Schneidmühlen, Backenbrecher sowie Schlagkreuzmühlen, deren Beanspruchungsmechanismen keine keramischen Mahlwerkzeuge zulassen.

Schwermetallfreier Stahl kann zur Probenvorbereitung für die Schwermetallanalytik eingesetzt werden, wenn Kontamination mit Eisen hierbei nicht stört. Beispiele hierfür sind die Zerkleinerung von verschiedenen Arten von Sekundärbrennstoffen in Schneidmühlen oder von Bodenproben in Backenbrechern und Schlagkreuzmühlen.

Manganstahl („Manganfeinguss")

Manganstahl wird für verschleißfeste Teile verwendet, die durch Druck beansprucht werden. Deshalb kommt Manganstahl bei Backenbrechern zum Einsatz.

Vorteile
- Vielfältige Einsatzmöglichkeiten, da Verwendung verschiedener Stähle mit unterschiedlichen chemischen und mechanischen Eigenschaften
- Sehr hoher Energieeintrag
- Preisgünstig

Nachteile
- Abriebfestigkeit z. T. nur bedingt gut (Kontamination mit Fe und anderen Bestandteilen möglich)

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Mahlgarnituren aus Stahl sind erhältlich für:

Rostfreier Stahl
- Backenbrecher BB 50, BB 100, BB 200, BB 300
- Rotormühlen ZM 200, SR 200, SR 300, SK 100
- Schneid- und Messermühlen GM 200, GM 300, SM 100, SM 200, SM 300
- Mörsermühle RM 200
- Planeten-Kugelmühlen PM 100, PM 200, PM 400
- Hochleistungs-Kugelmühle E_{max}
- Schwingmühlen MM 200, MM 400, CryoMill

Gehärteter Stahl („Spezialstahl")
- Schlagkreuzmühle SK 100 (Prallplatten, Mahleinsatz)
- Schneidmühlen SM 100, SM 200, SM 300 (Messer für Parallelschnitt-Rotor)
- Mörsermühle RM 200
- Scheibenmühlen RS 200, RS 300 XL, DM 200, DM 400
- Planeten-Kugelmühlen PM 100, PM 200, PM 400
- Schwingmühlen MM 200, MM 400, CryoMill

Stahl zur schwermetallfreien Zerkleinerung (z. B. Stahl 1.1750, St 1203)
- Backenbrecher BB 50, BB 100, BB 200, BB 250 XL, BB 300, BB 400 XL
- Rotormühle SK 100
- Schneidmühlen SM 100, SM 200, SM 300

Manganstahl („Manganfeinguss")
- Backenbrecher BB 50, BB 100, BB 200, BB 250 XL, BB 300, BB 400 XL, BB 500 XL, BB 600 XL
- Scheibenmühlen DM 200, DM 400

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-1.2. Gusseisen / Temperguss

Was ist Gusseisen / Temperguss?

Gusseisen ist ein Eisen-Werkstoff, mit Kohlenstoffgehalten >2% und Siliziumgehalten >1,5%. Der Kohlenstoff liegt im so genannten Grauguss bzw. Lamellenguss in Form von feinen unregelmäßig verteilten Graphit-Plättchen vor. Der Begriff Gusseisen bezieht sich auf die Herstellung dieses Werkstoffs, das Gießen einer Metallschmelze in Formen.

Im Gegensatz zum Gusseisen wird Temperguss nach dem Erstarren noch getempert. Hierunter versteht man einen mehrtägigen Glühvorgang bei ca. 1000 °C in oxidierender Atmosphäre.

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Gusseisen / Temperguss eingesetzt?

Gusseisen ist eine preiswerte Alternative zum Stahl. Aufgrund seiner geringen Härte wird es jedoch nur vereinzelt eingesetzt. Temperguss ist duktiler als Grauguss und verträgt geringe plastische Verformung ohne zu brechen. Deshalb wird er vor allem für stoßbeanspruchte Teile, wie z. B. das Schlagkreuz der Schlagkreuzmühle SK 100 verwendet. Die am Schlagkreuz befestigten Prallplatten, die die stärkste Belastung und Abnutzung erfahren, sind dagegen aus Stahl gefertigt.

Vorteile
- Unempfindlich gegenüber Stoßeinwirkungen
- Sehr hoher Energieeintrag
- Preisgünstig

Nachteile
- Abriebfestigkeit z. T. nur bedingt gut (Kontamination mit Fe und anderen Bestandteilen möglich)
- Geringere Härte als Stahl

Mahlgarnituren aus Gusseisen / Temperguss sind erhältlich für:

- Schlagrotormühle SR 200 (Gehäuse, Einlass, Auslass)
- Schlagkreuzmühle SK 100 (Mahleinsatz, Schlagkreuz)

Zugfestigkeit

Gusseisen:
200 – 300 N/mm²
Temperguss:
ca. 370 N/mm²

Dichte

Gusseisen:
8,25 g/cm³
Temperguss:
7,2 g/cm³

Zusammensetzung

Gusseisen:
Fe: 94%
C: 4%
Temperguss:
Fe: 95,5%
C: 3%

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Mineralogie*
- *Baustoffe*
- *Agrar*

Materialbeispiele:
- *Mineralien*
- *Erze*
- *Zement*
- *Futtermittel*

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-1.3. Titan

Härte

6 Mohs

Dichte

4,5 g/cm³

Zusammensetzung

Ti: 99,5%

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Pharmazie*
- *Lebensmittel*
- *Schwermetall-analytik*

Materialbeispiele:
- *Gemüse*
- *Obst*
- *Wurst*
- *Medikamente*
- *Kabel etc.*

Was ist Titan?

Titan (Ti) ist ein chemisches Element mit der Ordnungszahl 22. Es gehört zu den Übergangsmetallen und weist bei einer relativ geringen Dichte eine hohe Festigkeit auf. Durch die Ausbildung einer oxidischen Schutzschicht ist Titan korrosionsbeständig. Da hochreines Titan duktil ist, können zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften (Versprödung) geringe Mengen anderer Elemente, wie Sauerstoff und Stickstoff, zugesetzt werden.

Titan kommt in der Erdkruste relativ häufig vor, allerdings meist in geringen Konzentrationen in Form von Oxiden. Gewonnen wird Titan vorrangig aus den Mineralen Rutil (TiO_2) und Ilmenit ($FeTiO_3$).

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Titan eingesetzt?

Titan-Mahlwerkzeuge stehen nur für die Ultra-Zentrifugalmühle ZM 200 und die Messermühle GM 200 zur Verfügung, um schwermetallfreie Vermahlungen durchzuführen. Keramische Werkstoffe sind für diese Mühlen nicht geeignet, da sie leicht brechen könnten.

Vorteile
- Schwermetallfrei

Nachteile
- Teuer
- Geringere Härte als Stahl

Mahlgarnituren aus Titan sind erhältlich für:

- Ultra-Zentrifugalmühle ZM 200
  (Rotor / Siebe / Auffangkassette)
- Messermühle GM 200

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-2. Keramische Werkstoffe

A-2.1. Wolframcarbid (Hartmetall)

Härte

ca. 1250 HV (Vickers)

Dichte

14,8 g/cm³

Zusammensetzung

WC: 90 – 94%
Co: 6 – 10%

Was ist Wolframcarbid?

Wolframcarbid zählt zu den Hartmetallen. Reines Wolframcarbid, ein Mischkristall aus Wolfram und Kohlenstoff, ist sehr spröde. Daher wird dem Werkstoff Wolframcarbid ein Cobaltanteil von 6 – 10% zugesetzt. So wird die Zähigkeit des Werkstoffs erhöhet und der Abrieb minimiert. Die richtige Materialzusammensetzung des Hartmetalls richtet sich nach der Anwendung und den technischen Anforderungen.

Wolframcarbid wird durch Sintern von Wolfram und Kohlenstoff hergestellt. Beim Erhitzen unter hohem Druck lagert sich der Kohlenstoff in die Kristallstruktur des Wolframs ein. Das resultierende Carbid erhöht den Schmelzpunkt und die Härte des Metalls.

Kennzeichnend für Wolframcarbid ist die sehr hohe Härte (auch bei hohen Arbeitstemperaturen) und die Verschleißfestigkeit. So Kann es, je nach Zusammensetzung, eine mit Diamant vergleichbare Härte aufweisen. Wolframcarbid findet daher eine breite Anwendung z. B. in der Bestückung von Werkzeugen für die Zerspanung und die spanlose Formgebung. Darüber hinaus kommt es bei Werkzeugen zur Anwendung, die einem reibendem Verschleiß unterliegen. In diese Gruppe gehören die verschiedenen Mahlwerkzeuge, die in RETSCH-Geräten genutzt werden.

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Bergbau und Hüttenwesen*
- *Chemie*
- *Mineralogie*

Materialbeispiele:
- *Erze*
- *Ferrolegierungen*
- *Metalloxide*
- *Zementklinker*
- *Aktivkohle*
- *Mineralien*

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Wolframcarbid eingesetzt?

Wolframcarbid zeichnet sich durch hohe Verschleißfestigkeit und Härte aus, ist jedoch sprödbrüchig und daher empfindlich gegen Schlag- und Stoßeinwirkung. Auch plötzlicher Temperaturwechsel, wie er bei Kaltvermahlungen auftritt, kann zum Bruch der Teile führen. Das ist der Grund, warum nicht alle unsere Zerkleinerungsgeräte (z. B. Schlagrotormühlen) mit

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Mahlwerkzeugen aus Hartmetall ausgestattet werden können.
Druckfestigkeit, Biegefestigkeit, Zähigkeit, hohe Dichte und Härte sind in erster Linie abhängig von der Zusammensetzung des Hartmetalls. Dementsprechend unterschiedlich ist der Anteil an Cobalt für unsere Mahlwerkzeuge. Er ist jedoch immer optimal auf die jeweilige Beanspruchungsart des Gerätes abgestimmt. Mahlgarnituren z. B. für Planeten-Kugelmühlen müssen Reib- und Schlagbeanspruchungen standhalten und haben deshalb einen höheren Wolframcarbidanteil, während die Brechbacken in Backenbrechern hohen Drücken ausgesetzt sind und daher durch einen höheren Cobaltanteil eine entsprechende Druckfestigkeit aufweisen.

Vorteile
- Hohe Verschleißfestigkeit und Warmhärte
- Exzellente Zerkleinerungsergebnisse bedingt durch die hohe Materialdichte (besonders bei der Zerkleinerung mit frei beweglichen Mahlkörpern in Kugelmühlen)
- Hoher Energieeintrag

Nachteile
- Kann nicht eingesetzt werden, wenn möglicher Abrieb von Wolfram oder Cobalt (Metall) die weitere Analyse stören
- Bei weicheren Probematerialien kann es zu Materialverbackungen während der Vermahlung kommen
- Erwärmung des Probenmaterials

Mahlgarnituren aus Wolframcarbid sind erhältlich für:

- Backenbrecher BB 50, BB 100, BB 200, BB 250 XL, BB 300, BB 400 XL, BB 500 XL, BB 600 XL
- Schneidmühlen SM 100, SM 200, SM 300 (Wendeschneidplatten für 6-Scheiben-Rotor)
- Scheibenmühlen RS 200, DM 200, DM 400
- Mörsermühle RM 200
- Planetenkugelmühlen PM 100, PM 200, PM 400
- Hochleistungs-Kugelmühle E_{max}
- Schwingmühlen MM 200, MM 400

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-2.2. Zirkonoxid

Was ist Zirkonoxid?

Der Hauptrohstoff für die Herstellung von Zirkonoxidkeramik (ZrO_2) ist das Mineral Zirkon ($ZrSiO_4$). Aus ihm wird durch Schmelzen mit Koks und Kalk (Reduktion des SiO_2) großtechnisch ZrO_2 gewonnen. Das so entstandene Ausgangspulver wird mit Zuschlagstoffen vermischt und durch Trockenpressen in die gewünschte Form gebracht. Das Formteil wird durch Sintern in das Rohprodukt überführt und anschließend je nach Anwendungszweck geschliffen und poliert. Der Sinterprozess kann dabei sowohl bei atmosphärischem Druck, als auch unter hohem Druck erfolgen. Erst beim Sinterprozess erhalten die Formteile ihre eigentlichen Eigenschaften.

Zirkondioxid kommt in Abhängigkeit von der Temperatur in unterschiedlichen Kristallmodifikationen vor. Diese nehmen unterschiedliche Volumina ein. Durch die Zugabe von Yttriumoxid wird Zirkonoxid bei der Abkühlung nach dem Sinterprozess daran gehindert, sich in die bei Raumtemperatur stabilere Modifikation umzuwandeln: Es bleibt gezwungenermaßen in der teilstabilisierten Form. Entsteht ein Riss, geht das Zirkonoxid an dieser Stelle spontan unter Volumenausdehnung in die stabilere Modifikation über. Durch diesen Effekt wird der Riss sofort wieder geschlossen.

Zirkonoxid wird traditionell als feuerfeste Keramik eingesetzt. Aufgrund der Materialeigenschaften und der guten Biokompatibilität wird Zirkonoxid in jüngster Zeit mehr und mehr als Keramik im Bereich Prothesen und Zahnersatz verwendet. Außerdem findet teilstabilisiertes Zirkonoxid viele technische Anwendungen. Es ist sehr stabil gegen thermische, chemische und mechanische Einflüsse, so dass der Werkstoff sehr gut für Mahlwerkzeuge geeignet ist.

Härte

ca. 7,5 Mohs
(ca. 1200 HV)

Dichte

5,9 g/cm³

Zusammensetzung

ZrO_2: 94,5%
Y_2O_3: 5%

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Biotechnologie, Medizin,*
- *Schwermtall-analytik*
- *Spurenanlytik*

Materialbeispiele:
- *Böden*
- *Klärschlamm*
- *Kompost*
- *Pflanzen*
- *Knochen*
- *Zähne*
- *Gewebe*

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Zirkonoxid eingesetzt?

Zirkonoxid weist einen hohen mechanischen Verschleißwiderstand und eine für Keramik hohe Dichte auf. Der Werkstoff ist frei von Schwermetallen und kann daher hervorragend zur Probenvorbereitung für die Schwermetallanalytik eingesetzt werden. Auch in der Medizin und Biologie, bei der Aufbereitung von pflanzlichen und tierischen Geweben oder in der Humanmedizin, wo jeglicher Abrieb gesundheitliche Folgen haben kann, besitzt Zirkonoxid entscheidende Vorteile. Es kommt höchstens (wenn überhaupt) zu einer für diese Bereiche neutralen Kontamination.

Verwendet wird Zirkonoxid in Retsch Kugel- und Scheibenmühlen. Durch seine hohe Dichte ist ein hoher Energieeintrag möglich. Da Zirkonoxid im Grunde eine spröde Keramik ist, muss allerdings darauf geachtet werden, die Mahlbecher nur gemäß den Empfehlungen bzgl. Probenmenge und maximaler Aufgabekorngröße zu verwenden. Ansonsten sind Schäden an den Mahlwerkzeugen möglich. Auch im Backenbrecher BB 50 wird Zirkonoxid zur schwermetallfreien Zerkleinerung genutzt. Die Sprödigkeit und geringe Schlagfestigkeit verhindern jedoch den Einsatz in größeren Backenbrechern bzw. Rotormühlen.

Vorteile
- Schwermetallfrei
- Hohe Dichte
- Sehr gute Abriebfestigkeit

Nachteile
- Teurer als Stahl
- Nur eingeschränkt verwendbar bei Stoß- und Schlagwirkung

Mahlgarnituren aus Zirkonoxid sind erhältlich für:

- Backenbrecher BB 50
- Scheibenmühlen RS 200, DM 200, DM 400
- Mörsermühle RM 200
- Planetenkugelmühlen PM 100, PM 200, PM 400
- Schwingmühlen MM 200, MM 400, CryoMill

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-2.3. Sinterkorund

Was ist Sinterkorund?

Korund ist ein reines Aluminiumoxid (Al_2O_3). Es kommt in der Natur relativ häufig vor und gilt nach dem Diamant als zweithärtestes Mineral. Zur Gruppe der Korunde gehören z. B. auch die Edelsteine Rubin (rot) und Saphir (blau).

Synthetische Korunde fanden etwa um 1900 erstmals Anwendung in der Feuerfestindustrie. Aufgrund ihrer größeren chemischen und physikalischen Homogenität werden diese für die industrielle Weiterverarbeitung häufig den natürlichen vorgezogen. Bei der Herstellung des synthetischen Sinterkorunds wird in Form gepresstes Aluminiumoxid-Pulver auf 1.300 °C erhitzt. Das Aluminiumoxid-Pulver ist ein Zwischenprodukt im Prozess der Aluminiumgewinnung aus Bauxit. Für den Einsatz von Sinterkorund in Mahlwerkzeugen spricht vor allem die hohe Härte und Reinheit, aber auch der günstige Preis. Aufgrund der relativ geringen Dichte des Sinterkorunds und dem daraus resultierenden geringen Energieeintrag, ist die thermische Belastung des Mahlgutes während der Vermahlung gering. Das ist häufig ein Vorteil bei empfindlichem Mahlgut (z. B. Pflanzen).

Härte

ca. 8 - 8,5 Mohs
1750 HV (Vickers)

Dichte

3,9 g/cm³

Zusammensetzung

Al_2O_3: 99,7%

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Sinterkorund eingesetzt?

Keramik

Auf Grund der „Neutralität" des zu erwartenden Abriebes (reinstes Al_2O_3) ist das Haupt-Einsatzgebiet der Mahlgarnituren aus Sinterkorund die Aufbereitung von keramischen Massen und Glasuren in Bereichen der Haushalts-, Sanitär- und Gebrauchskeramik. Auch bei der Aufbereitung von Feuerfestkeramiken wird dieser Werkstoff eingesetzt.

Homöopathische Substanzen

Zum Teil ersetzen diese Mahlgarnituren aufgrund ihrer höheren Abriebfestigkeit die in Mörsermühlen bisher üblichen Hartporzellangarnituren, die zur Aufbereitung von Wirkstoffen in der Homöopathie eingesetzt werden.

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Biologie*
- *Mikrobiologie*
- *Keramik-technologie*
- *Homöopathische Wirkstoffe*

Materialbeispiele:
- *Keramik*
- *Böden*
- *Gras*
- *Koniferen*
- *Kompost*

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Schwermetallanalyse
In den relevanten Normen für die Schwermetallanalyse von Bodenproben sind Kugelmühlen mit Mahlgarnituren aus Zirkonoxid beschrieben. Aus Kostengründen werden aber auch Sinterkorund-Mahlgarnituren eingesetzt und von analytischer Seite vielfach akzeptiert. Das Al_2O_3 hat eine Mohs'sche Härte von 9 bis 9,5 aber einen geringeren abrasiven Verschleißwiderstand als Zirkonoxid. Daher ist der Einsatz in Planeten-Kugelmühlen bei hohen Drehzahlen nicht zu empfehlen.

Vorteile
- Schwermetallfrei
- Preiswert
- gute Abriebfestigkeit
- Kaum thermische Belastung des Mahlgutes / kein Verbacken der Proben

Nachteile
- Schlag- und stoßempfindlich
- Thermisch schockempfindlich
- Geringer Energieeintrag

Mahlgarnituren aus Sinterkorund sind erhältlich für:

- Mörsermühle RM 200
- Planeten-Kugelmühlen PM 100, PM 200, PM 400
- Schwingmühlen MM 200, MM 400

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-2.4. Hartporzellan

Was ist Hartporzellan?

Hartporzellan ist ein silikatkeramischer Werkstoff aus den Rohstoffen Kaolin (eisenfreie Tonerde), Kalifeldspat und Quarz. Er besteht zu 25 - 70% aus Al_2O_3 und zu 30 – 75% aus SiO_2. Es wird bei Temperaturen um 1400 °C gebrannt.
Mitte des 19. Jahrhunderts begann man, Porzellan als technische Keramik einzusetzen, v.a. in der Elektroindustrie, wo es noch heute ein wichtiger Werkstoff ist.

Härte

ca. 6 – 7 Mohs
(ca. 1200 HV)

Dichte

2,4 g/cm³

Zusammensetzung

SiO_2: 68,5 %
Al_2O_3: 26 %

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Hartporzellan eingesetzt?

Mahlwerkzeuge aus Hartporzellan werden in der Homöopathie und Medizin für Verreibungen im Mörser verwendet. Hartporzellan findet daher bei Retsch ausschließlich für Mahlgarnituren der Mörsermühle RM 200 Anwendung.

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Pharmazie*
- *Medizin*
- *Biologie*

Materialbeispiele:
- *Pflanzen*
- *Pharmazeutika*
- *Ölsaaten*
- *Pasten*

Vorteile
- Preisgünstig
- Schwermetallfrei

Nachteile
- Geringe Abriebfestigkeit bei abrasivem Material -> raue Oberfläche

Mahlgarnituren aus Hartporzellan sind erhältlich für:

- Mörsermühle RM 200

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-2.5. Siliziumnitrid

Härte

1500 HV

Dichte

3,2 - 3,4 g/cm³

Zusammensetzung

Si_3N_4 92,5%
Al_2O_3 4,5%
Y_2O_3 2,5%

Was ist Siliziumnitrid?

Siliziumnitrid ist eine nicht-oxidische Keramik, die sich durch extreme Bruchzähigkeit und Verschleißbeständigkeit auszeichnet. Die Keramik kommt in der Natur nicht vor und wird auf unterschiedliche Weise hergestellt. Eines der bekanntesten Herstellungsverfahren ist das Reaktionsbinden, bei dem das reine Silizium unter Stickstoffatmosphäre das Nitrid bildet. Die Reaktion beginnt bei 1200 °C. Da sich Siliziumnitrid unter Normaldruck bei Temperaturen oberhalb von 1700 °C zersetzt, muss das Pulver bei sehr hohen Stickstoffdrücken gesintert werden. Siliziumnitride kennzeichnen sich durch eine homogene graue Färbung.
Durch Zusatz von Sinteradditiven (AL_2O_3 und Y_2O_3) wird die Härte bei gleichbleibender Zugfestigkeit noch erhöht, man spricht dann auch von Sialonen (SiAlON).
Die hohe Verschleißbeständigkeit von Siliziumnitrid prädestiniert es für den Einsatz in der Wälzlagertechnik und als Schneidwerkzeug.

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Biotechnologie, Medizin*
- *Schwermetall-analytik*
- *Spurenanalytik*

Materialbeispiele:
- *Böden*
- *Klärschlamm*
- *Keramik-technologie*
- *Kompost*
- *Pflanzen*
- *Knochen*
- *Zähne*
- *Gewebe*

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Siliziumnitrid eingesetzt?

Aufgrund des sehr guten Verschleißwiderstandes ist Sliziumnitrid bestens geeignet für die schwermetallfreie Feinstvermahlung.Daher kann Siliziumnitrid sehr gut in Retsch Kugelmühlen verwendet werden.
Trotz der hohen Stabilität des Werkstoffes sollten die Mahlbecher gemäß den Empfehlungen befüllt und gehandhabt werden, um unnötigen Verschleiß oder übermäßigen Abrieb zu vermeiden.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Vorteile
- Schwermetallfrei
- Sehr gute Abriebfestigkeit
- Sehr gute Prall- und Stoßfestigkeit
- Äußerst widerstandsfähig gegenüber Temperaturänderungen

Nachteile
- geringe Dichte
- teurer als Stahl

Mahlgarnituren aus Siliziumnitrid sind erhältlich für:

- Planetenkugelmühlen PM 100, PM 200, PM 400

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-3. Sonstige Werkstoffe

A-3.1. Achat (Naturstein)

Härte

6,5 – 7 Mohs (ca. 1000 HV)

Dichte

2,65 g/cm³

Zusammensetzung

SiO_2: 99,9 %

Was ist Achat?

Achat ist ein Quarz-Mineral (Siliziumdioxid, SiO_2) und zählt zu den so genannten Halbedelsteinen. Es entsteht in Hohlräumen vulkanischer Gesteine durch Ausfällung von SiO_2 aus Kieselsäure-Lösungen. Der Name Achat ist auf seinen ersten Fundort zurück zuführen, der sich angeblich am Fluss Achates auf Sizilien befand. Heutige Fundorte für Achat sind z. B. Böhmen, Brasilien, Sizilien oder Uruguay.

Erst Anfang des 20. Jahrhunderts fand der Achat seine Anwendung als technischer Werkstoff. Apotheker und Homöopathen erkannten schnell, dass Handmörser aus Achat durch die reine SiO_2-Zusammensetzung und ihre Abriebfestigkeit wesentliche Vorteile bei der Verreibung von Pulvern und Pasten boten. Kein störender Abrieb, einfache Reinigung durch glatte Oberflächen und dadurch Vermeidung von Kreuz-Kontamination zeichneten den Achat gegenüber den bis dahin üblichen Messing- und Porzellanmörsern aus.

Nachdem im Laufe der Zeit die Verfahren zur Bearbeitung von Achat durch Diamantwerkzeuge verbessert wurden, konnten nun auch die unterschiedlichsten Mühlentypen mit Mahlgarnituren aus Achat ausgerüstet werden. Porzellan verliert dadurch zunehmend seinen Stellenwert in der mechanischen Aufbereitungstechnik.

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Achat eingesetzt?

Wie bereits erwähnt, besteht Achat im wesentlichen aus Siliziumdioxid. Daher eignen sich Zerkleinerungswerkzeuge aus diesem Material für die analysenneutrale Probenaufbereitung wie sie z. B. in den Bereichen Lebensmittel, Biologie, Medizin und Pharmazie gefordert wird. Auch bei Anwendungen in der Probenvorbereitung für die Schwermetallanalytik, der Verrei-

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

bung von Farbpigmenten (bei der metallischer Abrieb die Farbqualität verändert), oder bei der Verreibung pastöser Komponenten und pharmazeutischer Salben sind Achat-Mahlwerkzeuge unverzichtbar.

Achat hält Druck- und Reibbeanspruchungen stand, ist aber schlag- und stoßempfindlich. Dementsprechend wird Achat v. a. für Mahlgarnituren von Mörsermühlen verwendet. Allerdings kann er auch in Kugelmühlen und Scheibenschwingmühlen eingesetzt werden. Aufgrund seiner relativ geringen Dichte hält Achat der Prallwirkung in Kugelmühlen stand. In Scheibenschwingmühlen limitiert ein Achatsensor die Drehzahl der Mühle auf 700 min^{-1}, damit Reibbeanspruchung und Schlagwirkung nicht zu frühzeitigem Bruch der Mahlkörper führen.

Achat ist ein Naturprodukt und seine Qualität daher „wie gewachsen". D.h. vor der Bearbeitung zu einem Mahlwerkzeug wird der Achat-Rohling zwar auf Hohlräume und Einschlüsse geprüft, es kann jedoch keine einheitliche Struktur und Homogenität, so wie sie bei synthetisch hergestellten Werkstoffen vorhanden ist, garantiert werden. Ständige und hohe mechanische und thermische Beanspruchung kann deshalb auch zu frühzeitiger Materialermüdung und zum Bruch der Achat-Garnitur führen. Deshalb sollte man besonders beim Einsatz in den Planeten-Kugelmühlen darauf achten, dass nur maximal 2/3 der vollen Drehzahl genutzt wird.

Auch thermische Schockbeanspruchungen wie sie bei Kaltvermahlungen unter flüssigem Stickstoff in Mörser- und Schwingmühlen auftreten, sollte man vermeiden, denn sie führen zu Spannungsrissen im Achat.

Vorteile
- Schwermetallfrei
- Traditionelles Naturprodukt (hohe Akzeptanz)
- Kaum thermische Belastung des Mahlgutes, kein Verbacken der Proben

Nachteile
- Schlag- und stoßempfindlich
- Inhomogenitäten möglich
- Thermisch schockempfindlich
- Sehr geringer Energieeintrag

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Pharmazie*
- *Lebensmittel*
- *Medizin*
- *Biologie*

Materialbeispiele:
- *Pflanzen*
- *Gewürze*
- *Kakao*
- *Schokolade*
- *Medikamente*
- *Pasten*
- *Ölsaaten*
- *Biogewebe und Sporen*

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Mahlgarnituren aus Achat sind erhältlich für:

- Planeten-Kugelmühlen PM 100, PM 200, PM 400
- Schwingmühlen MM 200, MM 400
- Scheibenschwingmühle RS 200
- Mörsermühle RM 200 und Handmörser

A-3.2. Glas

Härte

ca. 6 Mohs

Dichte

2,2 g/cm³

Zusammensetzung

SiO_2 : 80 %
B_2O_3 : 13 %

Was ist Glas?

Glas ist eine amorphe, d. h. nicht kristalline Substanz. Hergestellt wird es meist aus einer Schmelze. Diese wird relativ schnell abgekühlt, so dass die Zeit nicht zur Bildung von Kristallen reicht. Glas besteht größtenteils aus SiO_2. Durch verschiedene Zuschlagsstoffe lassen sich die Eigenschaften des Glases verändern.

Im Laborbereich wird meistens Borosilikatglas, z. B. Borosilikatglas 3.3, verwendet, da es eine gute chemische Beständigkeit aufweist und relativ temperaturstabil ist. Die chemische Beständigkeit wird v. a. durch den Gehalt an Boroxid bestimmt, der bei ca. 13% liegt. Borosilikatglas ist auch unter den Bezeichnungen *Jenaer Glas* und *Duran* bekannt.

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Lebensmittel*
- *Pharmazie*
- *Medizin*
- *Biologie*

Materialbeispiele:
- *Gemüse*
- *Obst*
- *Fisch*
- *Pharmazeutika*
- *Biogewebe*
- *Zellaufschluss*

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Glas eingesetzt?

Alternativ zu den Standardbehältern aus Polypropylen können für die Messermühle Grindomix GM 200 auch Behälter aus Borosilikatglas verwendet werden. Sie eignen sich für weiche sowie wasser- und ölhaltige Produkte. Ein deutlicher Vorteil ist, dass sich Glasbehälter gut reinigen und auch sterilisieren bzw. autoklavieren lassen, wodurch sie v. a. in der Lebensmittelanalytik häufig Verwendung finden. Außerdem kann der Mahlfortschritt durch die Glasbehälter beobachtet werden.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Ein weiterer Anwendungsbereich für Glas sind Mahlperlen für Zellaufschlüsse in den Schwingmühlen MM 200 oder 400. Da die Mahlperlen relativ preisgünstig sind, können sie hierbei zusammen mit den Reaktionsgefäßen aus Polypropylen als Einwegartikel betrachtet werden und nach Entnahme des Probenmaterials entsorgt werden. Hierdurch entfällt eine aufwändige Reinigung der Mahlwerkzeuge.

Vorteile
- Sterilisier- / autoklavierbar
- Relativ chemikalienbeständig
- Transparent

Nachteile
- Bruchgefahr bei Schlageinwirkung

Mahlgarnituren aus Glas sind erhältlich für:

- Messermühle Grindomix GM 200 (Becher)
- Mahlperlen für Kugelmühlen

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-3.3. PTFE (Kunststoff)

Härte

D 56 (Shore)

Dichte

2,1 g/cm³

Zusammensetzung

PTFE: 100 %

Was ist PTFE?

PTFE oder *Teflon* ist ein thermoplastischer Kunststoff (Polymer). Die Abkürzung PTFE steht für Polytetrafluorethylen, eine Fluor-Kohlenstoffverbindung. Bei dem Begriff Teflon handelt es sich um einen Handelsnamen der Firma DuPont.

Bei PTFE handelt es sich um ein praktisch inertes Material, d. h. es ist beständig gegenüber vielen Chemikalien, wie z. B. Säuren, Basen, Alkoholen und Benzinen. Dementsprechend dient eine Beschichtung aus PTFE häufig als Korrosionsschutz gegen aggressive Substanzen. Ebenfalls eingesetzt wird PTFE als Antihaft-Beschichtung (z. B. von Töpfen oder Pfannen), in Funktionstextilien (Gore-Tex), als Dichtungsmaterial sowie im Chemieanlagenbau und in der Medizintechnik (Implantate).

PTFE wurde in den 30er Jahren des letzen Jahrhunderts auf der Suche nach einem neuen Kältemittel für Kühlschränke entwickelt.

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Pharmazie*
- *Medizin*
- *Biologie*

Materialbeispiele:
- *Pflanzen*
- *Medikamente*
- *Biogewebe*
- *Zellaufschluss*

Wo werden Mahlwerkzeuge aus PTFE eingesetzt?

PTFE hat im Vergleich zu anderen Werkstoffen eine geringere Härte und eignet sich deswegen nur für Anwendungen mit weichem Mahlgut,wie z. B. Zellgewebe. Um einen höheren Energieeintrag zu erzielen, sind die PTFE-Mahlkugeln mit einem Eisenkern versehen. PTFE-Gefäße werden vielfach auch für biologische und medizinische Proben eingesetzt. Zum einen ist das Material inert, zum anderen erleichtern die Antihaft-Eigenschaften von PTFE die Reinigung. Da PTFE temperaturstabil ist und die PTFE-Mahlbecher nicht mit Eisen ummantelt sind, eignen sie sich auch für Kryogenvermahlungen.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Vorteile
- Inert (stabil gegenüber vielen, auch aggressiven Chemikalien)
- Temperaturstabil von –200 °C bis +260 °C, geeignet für Kryogenvermahlungen
- Schwermetallfrei
- Antihaftend

Nachteile
- Geringe Härte
- Niedriger Energieeintrag
- Eintrag von F und C möglich
- Geringe Abriebfestigkeit

Mahlgarnituren aus PTFE sind erhältlich für:

- Schwingmühlen MM 200, MM 400

A-3.4. Polypropylen (Kunststoff)

Dichte

0,89 - 0,92 g/cm³

Zusammensetzung

PP: 100 %

Was ist Polypropylen?

Polypropylen (PP) ist ein thermoplastischer Kunststoff (Polymer), der durch Polymerisation aus der Kohlenwasserstoff-Verbindung Propen hergestellt wird.

Polypropylen wird häufig im Laborbereich eingesetzt. Es ist beständig gegenüber fast allen organischen Lösungsmitteln und Fetten, sowie den meisten Säuren und Laugen.

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Lebensmittel*
- *Biologie*
- *Medizin*

Materialbeispiele:
- *Obst*
- *Gemüse*
- *Käse*
- *Wurst*
- *Gewebe*
- *Zellaufschluss*

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Polypropylen eingesetzt?

Der Standard-Behälter sowie die verschiedenen Deckel für die Messermühle Grindomix GM 200 bestehen aus Polypropylen. Es eignet sich für weiche, weich-zähe aber auch wasser- und ölhaltige Produkte. Der Polypropylen-Becher ist eine preisgünstige und bruchfeste Alternative zum Glasbehälter. Ebenfalls aus Polypropylen sind Reaktionsgefäße für Zellaufschlüsse. Diese werden mit Volumina von 0,2 ml, 1,5 ml und

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

2 ml angeboten und ermöglichen die Bearbeitung kleinster Probenmengen. Die Reaktionsgefäße sind für eine einmalige Benutzung gedacht, wodurch der Reinigungsaufwand entfällt.

Vorteile
- Inert (stabil gegenüber vielen, auch aggressiven Chemikalien)
- Preisgünstig

Nachteile
- Geringe Härte

Mahlgarnituren aus Polypropylen sind erhältlich für:

- Messermühle Grindomix (GM 200)
- Schwingmühle MM 200, MM 400 (Safe-Lock Reaktionsgefäße)

A-3.5. Polycarbonat (Kunststoff)

Was ist Polycarbonat?

Polycarbonat ist ein thermoplastischer Kunststoff (Polymer), der durch Veresterung von Kohlensäuren mit Diolen hergestellt wird.

Polycarbonat wird zum Beispiel als Schutz der Datenschichten in CDs und DVDs eingesetzt, da es sehr kratz- und stoßfest ist. Es ist beständig gegen mineralische Säuren und die meisten unpolaren Lösemittel, allerdings z.B. nicht gegen Aceton.

Wo werden Mahlwerkzeuge aus Polycarbonat eingesetzt?

Der Standard-Behälter für die Messermühle Grindomix GM 300 besteht aus Polycarbonat. Für die GM 200 ist der Mahlbecher optional aus Polycarbonat erhältlich. Gegenüber

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Polypropylen hat Polycarbonat den Vorteil, dass es durchsichtig ist und so die Zerkleinerung in der Messermühle optisch verfolgt werden kann. Außerdem ist Polycarbonat autoklavierbar.

Vorteile
- Transparent
- Autoklavierbar
- Preiswert

Nachteile
- Instabil gegenüber bestimmten Lösemitteln wie Aceton

Einsatzgebiete:
z. B.
- *Lebensmittel*
- *Futtermittel*

Materialbeispiele:
- *Obst*
- *Gemüse*
- *Käse*
- *Fleisch*
- *Wurst*
- *Getreide*

Mahlgarnituren aus Polycarbonat sind erhältlich für:

- Messermühlen Grindomix GM 200, GM 300

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-4. Erläuterungen

A-4.1. Härte

Die Härten von Werkstoffen werden oft mit unterschiedlichen Bezeichnungen und Werten angegeben, z. B. Mohs-Härte oder Brinell-Härte. Diese verschiedenen Härteskalen haben unterschiedliche Ursprünge. So klassifiziert die Mohs´sche Härteskala die Ritzhärte von Mineralien anhand einer 10-teiligen Skala. Brinell- (HB), Rockwell- (HRA / HRB / HRC) und Vickers-Härte (HV) dagegen stammen aus der Metallurgie. Die Shore-Härte ist eine in der Kunststoffindustrie gebräuchliche Größe.
Unter Härte versteht man den mechanischen Widerstand, den ein Werkstoff dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt. Im Rahmen der Werkstoffprüfung wird deshalb durch Ermittlung der Eindringtiefe eines definierten Körpers unter festgelegtem Druck die Härte des jeweiligen Werkstoffs ermittelt.

Eine Umrechnung der verschiedenen Härten ineinander ist nicht immer generell möglich. Um einen Vergleich zu ermöglichen, sind in der Tabelle auf Seite 54/55 die Härteskalen nach Mohs, Vickers, Rockwell (HRC / HRB / HRA) und Brinell dargestellt.

Eine weitere Größe zur Charakterisierung von Werkstoffen ist die Zugfestigkeit, die z. T. statt der Härte angegeben wird. Sie wird meist in N/mm^2 angegeben. Zur Ermittlung der Zugfestigkeit wird eine Zugkraft auf einen Werkstoff aufgebracht, bis zum Bruch der Probe. Bei elastisch-plastischen Materialien kann es vorher zu einer Verformung (Verlängerung) der Probe kommen.

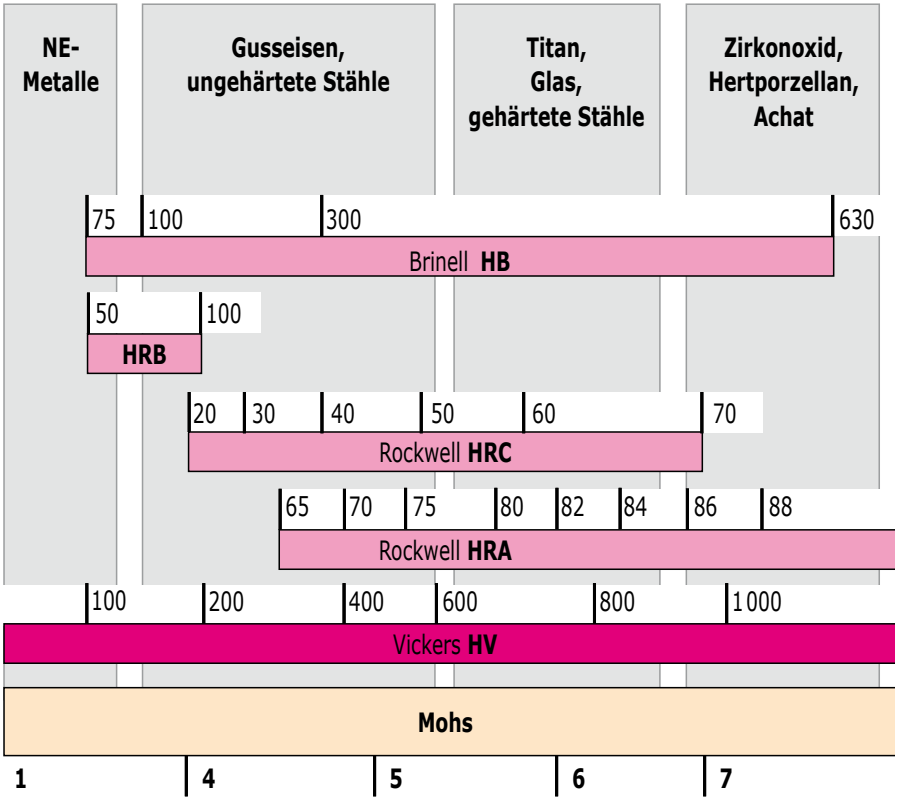
Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-4.2. Chemische Zusammensetzung

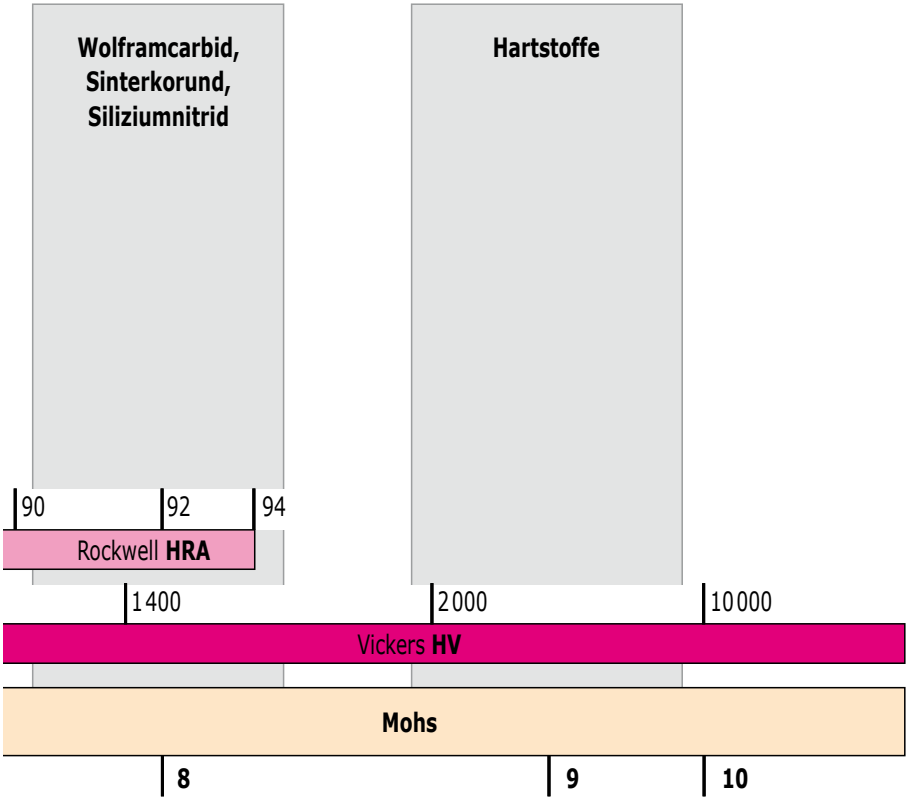
Die Angaben zur chemischen Zusammensetzung der Werkstoffe sind gerundete Werte. Berücksicht werden lediglich die Haupt- bzw. charakteristischen Bestandteile eines jeden Werkstoffs. Deshalb kann eine Aufsummierung der einzelnen prozentualen Werte zu einem von 100% abweichenden Ergebnis führen. Detailliertere Werkstoffanalysen, in denen auch die Nebenbestandteile aufgelistet sind, finden sich in der pdf-Datei „**Material Analyses of Equipment & Accessories**" auf www.retsch.com.

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

A-4.3. Härtevergleichstabelle (Näherungswerte)



Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan



Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Notizen

Copyright © 2017 by RETSCH GmbH Haan

Zentrale:

RETSCH GmbH
Retsch-Allee 1-5
42781 Haan · Germany

Fon +49 (0) 21 04 / 23 33-100
Fax +49 (0) 21 04 / 23 33-199
E-Mail info@retsch.com
Web www.retsch.com

Eine komplette Liste aller Händler und Vertretungen finden Sie unter **www.retsch.de**.

part of VERDER scientific

Technische Änderungen und Irrtümer vorbehalten
99.100.1051/D-2017