



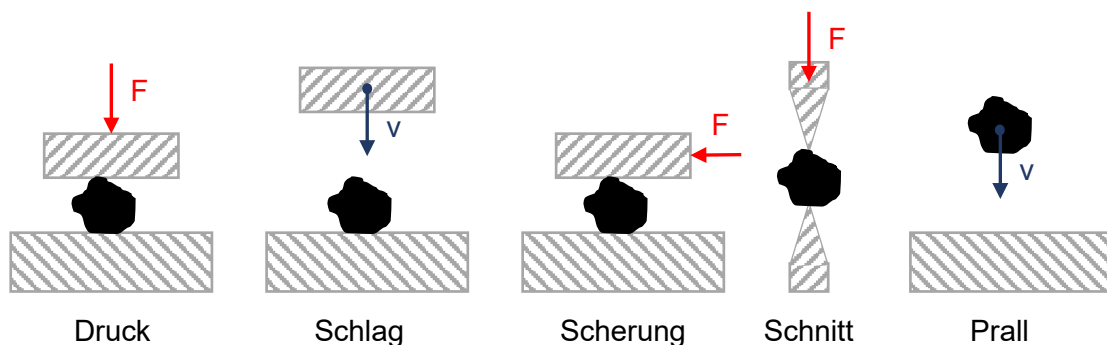
Lisa Tölle, M.Sc.

Optimierung des Zerkleinerungsprozesses beim mechanischen Recyceln von faserverstärkten Thermoplasten zur Reduzierung der entstehenden Staubfraktionen

Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) weisen eine hervorragende spezifische Festigkeit und Steifigkeit auf, wodurch sie zu einem beliebten Werkstoff für den materiellen und konstruktiven Leichtbau geworden sind. Durch die Bestrebungen der Ressourcenschonung erfahren FVK eine stetig steigende Nachfrage. Mit der wachsenden Nachfrage an FVK geht die Problematik des nachhaltigen Umgangs mit anfallendem Produktionsausschuss und der Entsorgung der faserverstärkten Bauteile am Ende ihres Lebenszyklus einher. Allein aus ökonomischer Sicht stellen die faserverstärkten Reststoffe eine wertvolle Ressource dar, die es zu recyceln lohnt. Gemäß dem Kreislaufwirtschaftsgesetz ist dabei das stoffliche Recycling der thermischen Verwertung vorzuziehen. Faserverstärkte Thermoplaste werden dazu mechanisch zerkleinert und der anschließenden Weiterverarbeitung als kurzfaserverstärktes Granulat für beispielsweise Spritzgussbauteile zugeführt.

Für die mechanische Zerkleinerung muss mittels Druck-, Schlag-, Scher-, Prall- oder Schnittbeanspruchung eine äußere Kraft auf den Werkstoff ausgeübt werden, die die inneren Kräfte im Material überwindet und somit einen Bruch initiiert. Verschiedene Zerkleinerungsmaschinen üben dabei konstruktionsbedingt unterschiedliche Beanspruchungen auf das Material aus. Zur Zerkleinerung von elastischen, zähen oder faserigen Werkstoffen werden häufig Zerkleinerungsmaschinen mit vorwiegend schneidender Beanspruchung verwendet. Die punktuell wirkenden Kräfte eines Schnitts führen zu einer definierten Bruchinitiierung, wodurch eine enge Partikelgrößenverteilung mit einem geringen Feinanteil erreicht werden kann.

Mechanische Beanspruchungsarten bei der Zerkleinerung



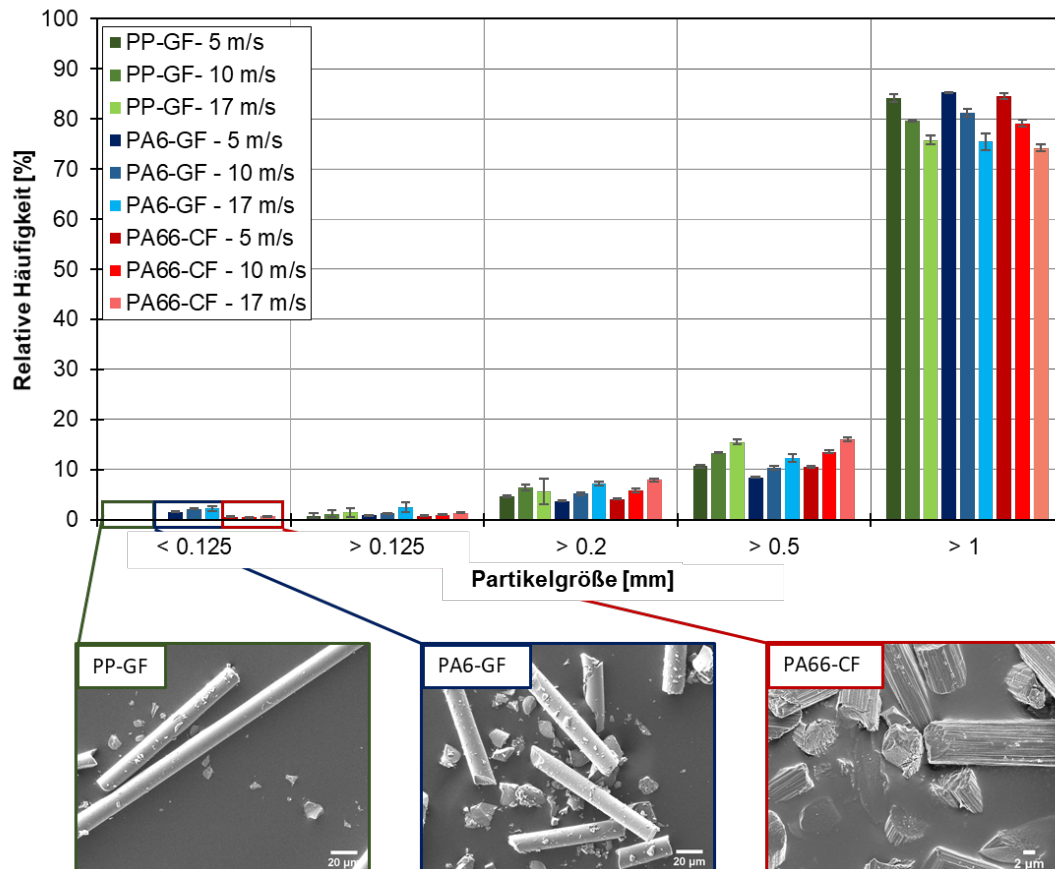
Eine große Herausforderung bei der Zerkleinerung von FVK ist die Entstehung teils großer Mengen an Stäuben, die aus potenziell einatembaren und lungengängigen (alveolengängigen) Faserbruchstücken, Matrixanteilen und auch Bruchstücken mit WHO-Faser-Charakteristik bestehen können. Alveolengängig sind Stäube mit Partikeln $<5 \mu\text{m}$. Eine weitere Problematik

besteht in der möglichen Freisetzung von sogenannten WHO-Fasern, da diese potentiell toxisch und kanzerogen sind. Als WHO-Fasern werden Fasern mit einem Durchmesser $<3 \mu\text{m}$, einer Länge $>5 \mu\text{m}$ und einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von $>3:1$ bezeichnet. Sie können durch ein Zerspleißen von Glas- oder Carbonfasern bei mechanischer Beanspruchung entstehen. Die Staubanteile sind nicht nur für die Weiterverarbeitung störend und müssen bei der Auslegung der Anlagen berücksichtigt werden, sondern auch aus Gründen des Arbeits- und Umweltschutzes gilt es eine Faserstaubfreisetzung zu verhindern. Aktuell liegen keine gesicherten Kenntnisse darüber vor, ob die entstehenden Stäube eine stoffspezifische Toxizität aufweisen oder nicht. Dieses Wissen stellt jedoch die Grundlage für die Einstufung der Stäube in die jeweiligen Gefahrenklassen dar, worauf basierend die Festlegung der arbeitsplatztypischen Staubgrenzwerte stattfindet.

Das Ziel des Forschungsprojektes ist es daher, die Entstehung von WHO-Fasern oder alveolengängiger Staubfraktionen bei dem mechanischen Recyceln thermoplastisch faserverstärkter Kunststoffe zu untersuchen sowie deren Toxizität vergleichend und systematisch zu analysieren. Es soll ein Grundlagenwissen über den Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Zerkleinern von faserverstärkten Thermoplasten generiert werden, welches die Basis für Richtlinien im Umgang mit Faserstäuben darstellen soll. Weiterhin soll durch eine gezielte Optimierung der Parameter beim Zerkleinerungsprozess die Entstehung alveolengängiger Stäube verringert werden.

Im Rahmen dieses Projektes werden Zerkleinerungsversuche mit unterschiedlichen Faser-Matrix-Kombinationen an unterschiedlichen Zerkleinerungsmaschinen wie beispielsweise einer Schneidmühle oder Ein-/ Mehrwellenzerkleinerern durchgeführt. Der Fokus liegt dabei auf Carbonfasern und Glasfasern als Kurzfaserverstärkung oder als Endlosfasern in Form von Organoblechen in einer Polyamid-, Polypropylen- oder Polycarbonatmatrix. Dabei werden die Drehzahl, die Durchsatzmenge, die Siebmaschenweite, die Aufgabegröße und deren Einfluss auf die Entstehung des Feinanteils im Mahlgut bestimmt werden. Zusätzlich zu der im Mahlgut enthaltenen alveolengängigen Staubfraktion soll der Anteil luftgetragener Stäube untersucht werden. Dazu werden von dem Projektpartner, dem Institut für Prävention und Arbeitsmedizin (IPA) der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung, Staubprobensammler für offline Messungen zur Verfügung gestellt, ebenso wie Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) oder Aerodynamic Particle Sizer (APS) für online Luftmessungen. Die gesammelten Faserstäube werden zunächst durch Sieben fraktioniert, größere Bruchstücke können mittels eines Faserscanners analysiert werden, wohingegen kleinere Fraktionen über rasterelektronenmikroskopische (REM) Aufnahmen charakterisiert werden müssen. Die Toxizität der entstehenden Faserstäube wird im Particle-Induced Cell Migration Assay (PICMA) am IPA untersucht.

Untersuchungen an der Schneidmühle bei variierender Drehzahl haben gezeigt, dass eine steigende Drehzahl den Anteil an kleinen Partikeln ($< 0,125 \text{ mm}$) sowie die Fasermasse im Feinstaub erhöht. Die relative Häufigkeit kurzer Fasern ($< 150 \mu\text{m}$) bleibt jedoch unverändert. Des Weiteren kann über die Auswahl der Siebmaschenweite in der Schneidmühle der Feinanteil im Mahlgut maßgeblich beeinflusst werden. Diese Beobachtungen gelten unabhängig vom Material und haben sich ebenfalls für die Untersuchungen am Einwellenzerkleinerer und der Analyse der luftgetragenen Stäube bestätigt.



Darstellung der Partikelgrößenverteilung, welche bei der Zerkleinerung unterschiedlicher Organobleche mit unterschiedlicher Drehzahl entstanden ist. Darüber hinaus ist eine Aufnahme der Faserbruchstücke jeder Probe dargestellt.

Auch bei den Untersuchungen konnte eine Zunahme kleiner Partikel mit zunehmender Drehzahl oder bei geringerer Siebmaschenweite beobachtet werden. Darüber hinaus zeigen die REM-Analysen alveolengängige Faserbruchstücke in jeder untersuchten Faserstaubprobe. Bei der Zerkleinerung der PC-CF Organobleche konnte zudem eine teils grenzwertüberschreitende Konzentration an alveolengängigem Staub gemessen und WHO-Fasern gezählt werden. Die toxikologischen Analysen mittels PICMA-Test zeigen jedoch keine erhöhte Zellmigration an. Es wird davon ausgegangen, dass die meisten Faserbruchstücke zu große Abmessungen aufweisen, um akute Toxizität hervorzurufen.

Danksagung

Wir danken der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens, welche aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) erfolgt. Zudem bedanken wir uns für die gute Zusammenarbeit mit den Unternehmen aus dem projektbegleitenden Ausschuss sowie dem Projektpartner, dem Institut für Prävention und Arbeitsmedizin (IPA).