

ein zunächst konstanter Filtratanfall erkennen. Durch Anlegen einer positiven Spannung wird der Filtratmassenstrom durch die Elektrosmose erhöht und durch Anlegen einer negativen Spannung erniedrigt.

Bei Nano-Haufwerken hat dieser Effekt eine wesentlich stärkere Wirkung. Somit scheint die Entwicklung von schaltbaren Haufwerken und auch von schaltbaren gesinterten Membranen möglich.

- [1] K. Weber, Untersuchungen zum Einfluss eines elektrischen Feldes auf die kuchenbildende Filtration, *Dissertation*, Universität Karlsruhe 2002.

## I-22

### Zerkleinerungsmechanismen bei der Prallbeanspruchung von Partikelkollektiven

A. Weber\*<sup>1)</sup>

E-Mail: andreas.weber@mvm.uka.de

Prof. Dr.-Ing. H. Nirschl<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Universität Karlsruhe (TH), Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik, D-76128 Karlsruhe.

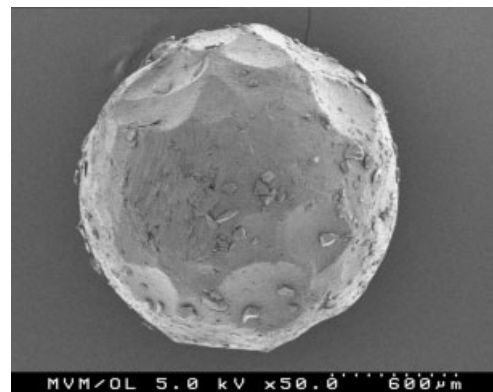
In einem neuartigen Zerkleinerungsapparat wurde eine Kombination von Prallzerkleinerung und Zerkleinerung aufgrund interpartikulärer Wechselwirkungen bei großen Beanspruchungsgeschwindigkeiten nach folgendem Prinzip realisiert. Ein Partikelkollektiv wird in einem Rohr pneumatisch beschleunigt und an einer Prallplatte abrupt verzögert. Die als erste an der Prallplatte ankommenden Partikeln werden durch den Aufprall zerstört. Dieser Effekt wird durch die Masse des nachfolgenden Materials verstärkt. Der Produktpfropfen wird während des Verzögerungsvorgangs gestaucht, was eine Zerkleinerung von Partikeln aufgrund interpartikulärer Wechselwirkungen hervorruft. Material, das noch nicht die gewünschte Feinheit erreicht hat, wird über einen inneren oder äußeren Kreislauf zurückgeführt und erneut beansprucht.

Neben der Veranschaulichung des Apparatekonzepts werden Untersuchungen zur Analyse der während des Verzögerungsvorgangs im Pfropfen auftretenden Beanspruchungsmechanismen thematisiert. Dabei wurden Bleikugeln an verschiedene Positionen in einem Haufwerk aus monodispersen Glaskugeln eingebracht und im vorgestellten Apparat belastet. Abhängig von der Art der Beanspruchungen, der die Bleikugeln während des Prall- und Stauchungsvorgangs ausgesetzt sind, ergaben sich typische Verformungen der Bleikugeloberfläche. Während Bleikugeln in der obersten Haufwerksschicht durch den Aufprall auf einer Seite abgeplattet wurden, zeigten Bleikugeln aus der Mitte des Pfropfens Eindellungen, die durch teilweise aufeinander folgende Stöße mit intakten Glaskugeln hervorgerufen werden (s. Abb.).

Von entscheidender Bedeutung ist die für die Zerkleinerung zur Verfügung stehende, massenbezogene Energie. Sie wird im vorgestellten Apparat durch die Ge-

schwindigkeit des Partikelpfropfens bestimmt, die mittels zweier Lichtschranken am oberen Ende des Schussrohrs bestimmt wurde. Die Rohraustrittsgeschwindigkeit hängt außer von den Apparate- und Materialeigenschaften von den Betriebsparametern Vordruck der Treibluft, Öffnungszeit des Druckluftventils sowie Masse des zu beschleunigenden Haufwerks ab. Erwartungsgemäß ergab eine Erhöhung des Vordrucks eine verbesserte Zerkleinerungswirkung, also einen größeren Feingutanteil. Auch die Reduktion der zu beschleunigenden Masse wirkte sich positiv auf das Zerkleinerungsergebnis aus. Größere Ventilöffnungszeiten hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Rohraustrittsgeschwindigkeit, begünstigten jedoch die Zerkleinerung.

Abbildung.  
REM-Aufnahme einer in einem Haufwerk aus Glaskugeln belasteten Bleikugel.



## I-23

### Dispergierung nanoskaliger Agglomerate mittels Hochdruckverfahren

Dipl.-Wi.-Ing. R. Wengeler\*<sup>1)</sup>

E-Mail: Robert.Wengeler@mvm.uka.de

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Nirschl<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik, Universität Karlsruhe (TH), D-76128 Karlsruhe.

Bei der Entwicklung neuartiger Werkstoffe auf Basis nanoskaliger Partikeln wird in den nächsten Jahren ein Innovationsschub erwartet, wobei für den Erfolg von Nanomaterialien die Entwicklung spezifischer Verarbeitungsverfahren unabdingbar ist. Wirtschaftlich und technisch relevant sind insbesondere Partikeln, die in Flammensynthese-Verfahren hergestellt werden. Derzeit produzieren Industrieanlagen SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> und weitere Metalloxide mit solchen Verfahren im Jahrestonnen-Maßstab.

In pyrogenen Produktionsverfahren agglomerieren die Nanopartikeln aufgrund interpartikulärer Wechselwirkungskräfte und versintern zu Agglomeraten mit Durchmesser bis zu einigen Mikrometern. Um in Werkstoffen die spezifisch nanoskaligen Eigenschaften der Primärpartikeln zu erhalten, ist die Dispergierung dieser Agglomerate

notwendig. In den vorliegenden Untersuchungen wurde dazu ein Hochdruckverfahren eingesetzt, bei dem die Suspension über Dispergierwerkzeuge mit Ausdehnungen im Bereich von 100 nm entspannt wird.

Bei den Untersuchungen wird zum einen ein keramischer Strömungskanal mit einem Innendurchmesser von 125 µm und zum anderen ein Mikromischer mit 60 konvergenten Kanälen mit einem Endquerschnitt von 50 × 200 µm eingesetzt. Die Partikelgrößen der dispergierten Agglomerate werden mit einem Photonenkorrelationsspektrometer bestimmt. Die Ergebnisse ergeben eine im Vergleich zu absatzweisen Verfahren (Rotor-Stator-Verfahren und Ultraschall) erheblich höhere Energieeffizienz der untersuchten Hochdruckverfahren. Die gleiche Agglomeratgröße wird bereits mit einem Zehntel des in Rotor-Stator-Systemen notwendigen, auf das Suspensionsvolumen bezogenen, spezifischen Energieeintrags erreicht. Dieses ist auf die sehr hohen lokalen Beanspruchungen der Partikeln im Dispergierwerkzeug durch Strömungskräfte zurückzuführen.

Weitere Untersuchungen zeigen den Einfluss von Dispergierhilfsmitteln. Dazu wurden sowohl ionische als auch nicht-ionische Dispergierhilfsmittel eingesetzt, welche die elektrostatische Abstoßung der Partikeln ändern. Die Partikelgrößen der mit Dispergierhilfsmitteln stabilisierten Suspensionen sind etwas geringer als die der unstabilisierten Suspensionen und zeigen eine verbesserte Langzeitstabilität.

Hochdruckverfahren ermöglichen eine effektive Dispergierung der Agglomerate durch einen hohen Leistungseintrag bezogen auf das dispergierte Suspensionsvolumen. Dabei werden durch interpartikuläre Wechselwirkungen verbundene Partikeln voneinander getrennt und Sinterbrücken teilweise aufgebrochen. Durch die Zwangsführung der Suspensionsströmung durch das Dispergierwerkzeug wird eine hohe Energieeffizienz des Verfahrens erreicht. Durch Dispergierhilfsmittel lässt sich die Dispergierung nanoskaliger Partikeln wesentlich beeinflussen.

## I-24

### Bestimmung der Massekonzentration von Aerosolen mit anzahlbewertenden Messverfahren

Dipl.-Ing. L. Hillemann\*<sup>1)</sup>

E-Mail: lars.hillemann@mailbox.tu-dresden.de

Dr.-Ing. M. Stintz<sup>1)</sup>

Prof. Dr.-Ing. S. Ripperger<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, TU Dresden, D-01062 Dresden.

Zur Quantifizierung der Partikelemission von dieselgetriebenen Kraftfahrzeugen ist gegenwärtig die Gravimetrie gesetzlich vorgeschrieben. Dabei wird die auf einem Filter im verdünnten Abgasstrom abgeschiedene Masse bewertet.

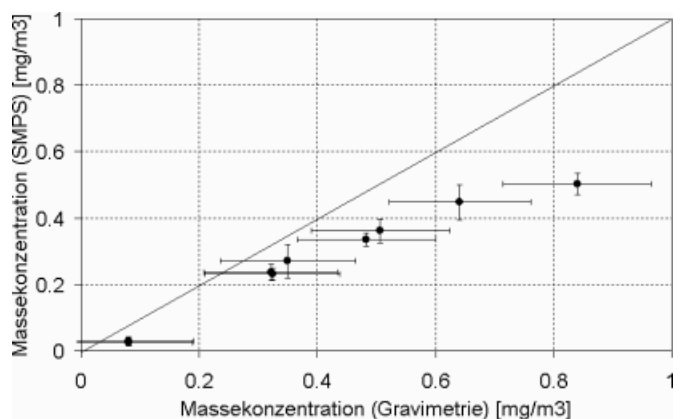
Mit dem ab 2005 geltenden EURO-IV-Grenzwert wird die untere Empfindlichkeitsgrenze der gravimetrischen Messmethode erreicht. Es ist daher an der Zeit, ein Messverfahren zu finden, mit dem die Gravimetrie unterstützt oder abgelöst werden kann. Dabei kann auf etablierte Verfahren der Aerosoltechnik zurückgegriffen werden. Die dort üblichen anzahlbewertenden Methoden ermöglichen die Messung von um Größenordnungen geringeren Konzentrationen. Mit der Partikelgrößenverteilung kann aus den Ergebnissen die Massekonzentration des Abgases berechnet werden. Die dabei notwendige Berücksichtigung der Partikelform und -struktur ist von entscheidender Bedeutung für die Qualität der Resultate.

Die anzahlbewertenden Methoden zur Charakterisierung der Partikelgröße  $x$  liefern als Messergebnis die Konzentration der Partikel in verschiedenen Größenbereichen. Das entspricht dem Produkt der differentiellen Anzahlkonzentration  $c_n(x)$  und der Intervallbreite  $dx$ . Mit der Einführung eines volumetrischen Strukturfaktors  $\Psi_{v,\beta}(x)$  sowie der Berücksichtigung der Materialdichte  $\rho(x)$  ergibt sich die Massekonzentration gemäß folgender Gleichung:

$$c_m = \int_x \rho(x) \left[ \Psi_{v,\beta}(x) \right]^3 c_n(x) \frac{\pi}{6} x^3 dx$$

Der volumetrische Strukturfaktor berechnet sich aus dem Quotienten des volumenäquivalenten Durchmessers und dem Durchmesser einer Kugel, die den gleichen Messeffekt wie das Partikel aufweist. Die Größe des Strukturfaktors ist damit abhängig vom verwendeten Messverfahren. Zur praktischen Bestimmbarkeit soll für den volumenäquivalenten Durchmesser auch bei porösen Partikeln das Feststoffvolumen angesetzt werden.

Abbildung.  
Vergleich der aus der Anzahlverteilung berechneten Massekonzentration mit den gravimetrisch ermittelten Werten.



Im Experiment wurde untersucht, ob es möglich ist, die mit einem SMPS-System gemessene Anzahlverteilung des Elektrischen Mobilitätsdurchmessers in die Massekonzentration umzurechnen. Als Aerosol wurden aus der Suspension versprühte monodisperse Partikel (550 nm) verwendet. Diese Partikel waren ideal kugelförmig, so dass der volumetrische Strukturfaktor gleich eins ist.

Der Vergleich der berechneten Massekonzentrationen mit den Ergebnissen der parallelen gravimetrischen