

Eine neue Messmethode zur Untersuchung der Stabilität von Ionenaustauschern

Dieter Mauer

Abstract

A new device for the assessment of the mechanical stability of IEX resins

For the measurement of the breakage force of IEX beads so far the Chatillon test was applied. The scattering of the breakage force only provided limited information. So far the Chatillon test has been the only test available to measure the breakage force of IEX beads. The new method described clearly improves usefulness.

During the mechanical stress procedure of a single bead, the force as well as the diameter are precisely recorded. Hence primary results as original diameter, breakage diameter and breakage force of a single bead are collected for sets of 30 to 50 beads. With suitable mathematical evaluations additional results like shore, crosslinking degree and geometrical breakage ellipticity can be derived.

At the end a relative breakage force value is calculated, which does not depend on controllable values like original diameter or crosslinking degree. Only the mechanical quality of the matrix is expressed by this result.

Aufgabenstellung und bisherige Lösung

Die Bruchkraft von Ionenaustauscherkugeln wird als ein Stabilitätskriterium herangezogen, wenn mechanische Belastungen auf Harzkugeln einwirken, wie osmotische Schocks durch häufige Quellungen oder Transportvorgänge durch Rohrleitungen.

Zur Messung dieser Bruchkraft werden im Labor Einzelkugeln zwischen zwei ebenen Flächen eingespannt, und die Kraft wird solange erhöht, bis die Kugel bricht. Dies wird mindestens 30 Mal (teilweise auch 50 Mal) wiederholt, um Mittelwerte über die Bruchkräfte bilden zu können (Bild 1).

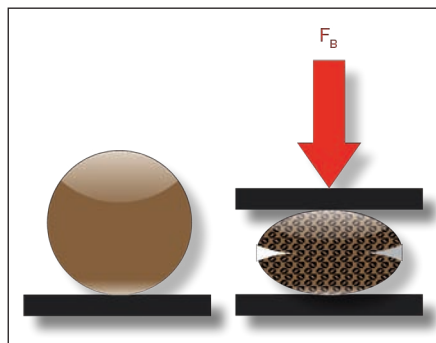


Bild 1. Prinzip des Chatillon-Tests.

Dieser Test ist unter dem Namen Chatillon-Test bekannt. Er beinhaltet allerdings den Nachteil einer sehr großen Schwankungsbreite der Bruchkrafteergebnisse, wie am Beispiel einer Häufigkeitsverteilung der Bruchkrafteergebnisse für 50 Perlen aus einem Muster gezeigt wird (Bild 2). So ist es durchaus normal, dass selbst bei 30 bis 50 Kugeln immer noch Standardabweichungen des Bruchkraftmitttelwertes von 40 bis 50 % vom Mittelwert erhalten werden. Ebenso gibt es immer wieder breite Flügel in der Verteilung, die die Mittelwerte verschieben. Diese Nachteile stören die Vergleichbarkeit von Bruchstabilitäten unterschiedlicher Harzmuster oft sehr.

Erfahrungen zeigen darüber hinaus eine deutliche Abhängigkeit der Bruchkraft vom Originaldurchmesser der Kugel. Dem wird bisher dadurch Rechnung getragen, dass die Harzprobe vor der Messung gesiebt wird. Teilweise werden sogar nur die in einem Sieb mit 0,63 mm Maschenweite fest hängenden Perlen ausgewählt.

Daraus entstand der Gedanke, die Dicke einer Kugel (die kleine Achse des Ellipsoides) während der elliptischen Verformung unter Kraft bis zum Bruch zu verfolgen. Daraus sollten sich weiter gehende Auswertemethodiken und Aussagen zu Materialeigenschaften von Ionenaustauschern ableiten lassen. Ein kompaktes und sehr genaues Messgerät zur Realisie-

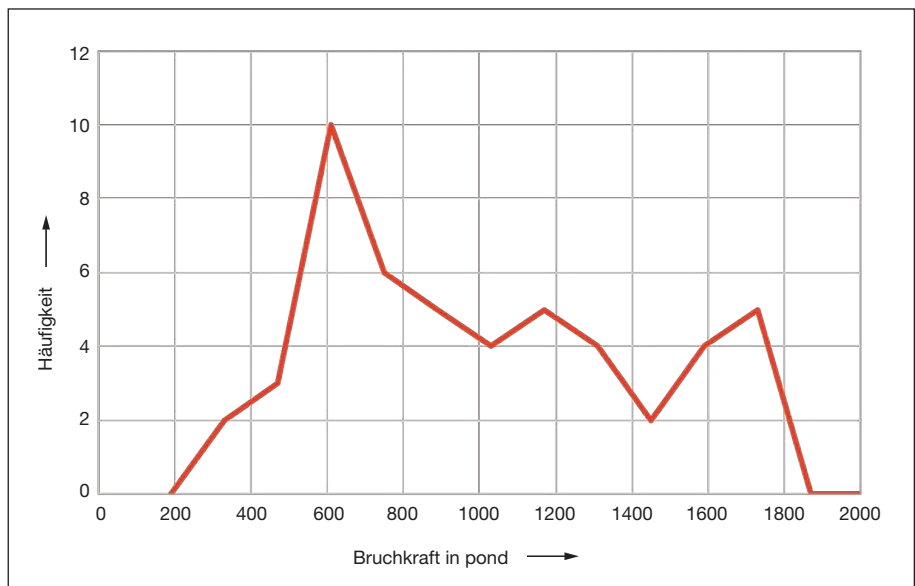


Bild 2. Beispiel der Bruchkraftverteilung eines Ionenaustauschers, Standardabweichung $\pm 45\%$ vom Mittelwert.

Autor

Dr. Dieter Mauer
Geschäftsführer
MionTec GmbH
Leverkusen/Deutschland

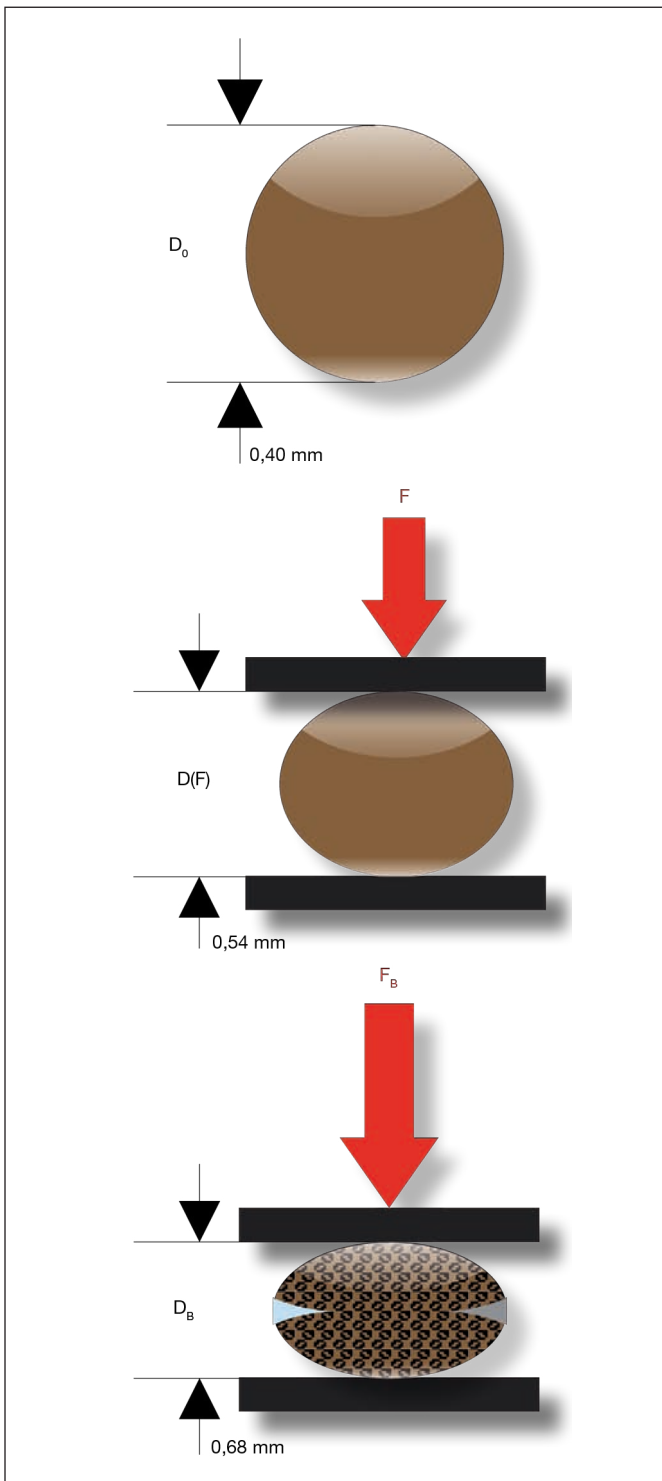


Bild 3. Prinzip der elastischen Verformung der Kugeln bis zum Bruch.

zung dieser Anforderung wurde entwickelt und zur Ermittlung der in diesem Aufsatz beschriebenen Messdaten benutzt.

Grundlagen der neuen Methode

Versuchsaufbau und -durchführung

Das Prinzip der elastischen Verformung unter Aufnahme der Dicke D in Abhängigkeit von der Kraft F , die auf die Perle zwischen zwei

ebenen Flächen ausgeübt wird, ist im Bild 3 gezeigt. Am Ende der elastischen Verformung steht der Bruch, also die Zerstörung der Kugel. Bei jedem Versuch mit einer Einzelkugel können der Originaldurchmesser D_0 , der Bruchdurchmesser D_B und die Kraft bis zum Bruch F_B abgelesen werden.

Das Bild 4 zeigt das für die neue Methode entwickelte Gerät. Rechts vorne ist die Auflagefläche für die Kugeln zu sehen. Von oben wird ein Waagebalken auf die Kugel gefahren und erzeugt dann eine steigende Kraft. Gleich-

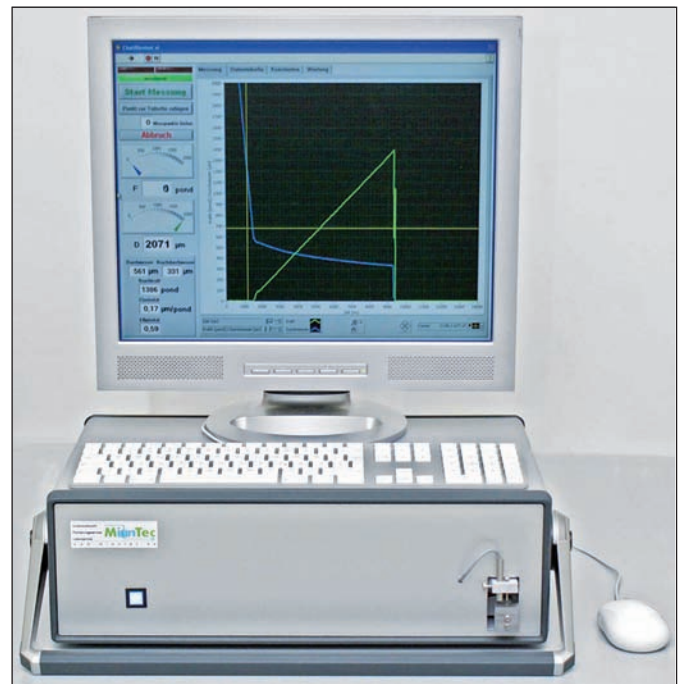


Bild 4. Das benutzte Gerät.

zeitig wird der Abstand zwischen oberer beweglicher Fläche und unterer fester Fläche gemessen.

Am im Bild 5 dargestellten Bildschirminhalt ist die Arbeitsweise des Gerätes erkennbar. Während der etwa 5 bis 10 s (X-Achse) dauernden Messung wird eine steigende Kraft auf die Kugel ausgeübt (grüne Kurve). Wenn die Druckfläche auf die Kugel aufsetzt, beginnt die Kraft zu steigen, und der Originaldurchmesser der Kugel wird festgehalten. Während der Zeit des rampenförmigen Kraftanstiegs wird die Dicke der Kugel aufgezeichnet (blaue Kurve). Beim Bruch werden die Bruchkraft und die Bruchdicke der Kugel festgehalten.

Auswertemethode

Korrektur der Bruchkraftabhängigkeit vom Originaldurchmesser

Eine Abhängigkeit der Bruchkraft vom Kugeldurchmesser ist zu vermuten: Größere Kugeln zerbrechen erst bei höherer Kraft. Um eine Vergleichbarkeit von Mustern unterschiedlichen Durchmessers trotzdem herzustellen, wurde daher früher grundsätzlich ein Siebschritt vor die Bruchkraftmessung geschoben. Insbesondere monodisperse bzw. monospherische Harztypen besitzen dabei aber je nach Zielkugelgröße kaum Anteile bei $630 \mu\text{m}$ – einem willkürlich gewählten Referenzdurchmesser – und wenn, dann sind es nur unrepräsentative Anteile.

Mit der neuen Methode kann eine Größenabhängigkeit leicht berücksichtigt werden. Jede Kugel wird mit ihrem Originaldurchmesser aufgezeichnet, sodass rechnerische Kompensationen der ermittelten Bruchkraft mithilfe des Originaldurchmessers D_0 möglich sind.

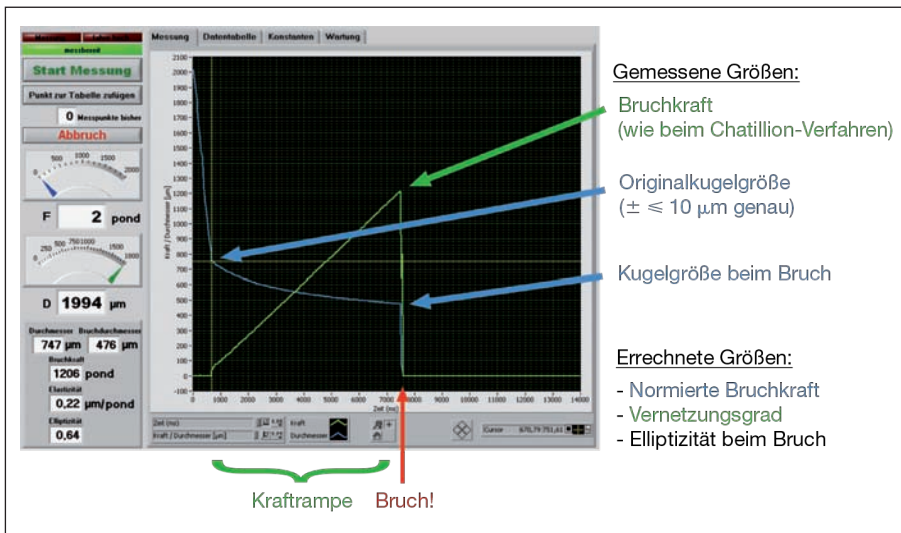


Bild 5. Prinzip der Messung anhand des Bedienbildes der Software.

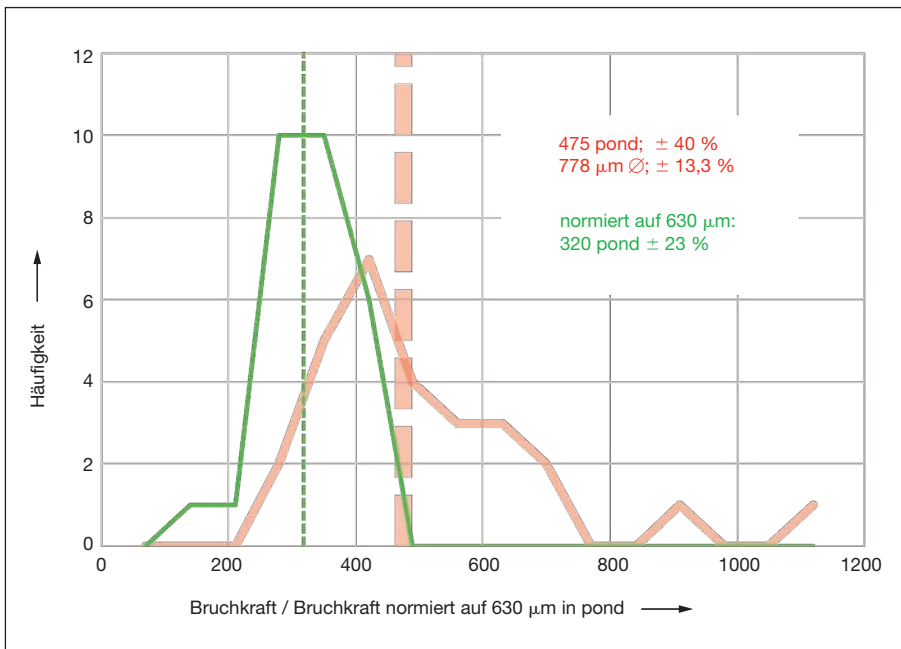


Bild 6. Veränderung von Breite und Position der Bruchkraftverteilung durch Normierung auf einen Wert bei 630 µm.

Hierzu ist in der Software des Gerätes ein Rechenalgorithmus enthalten.

Das Bild 6 zeigt den Effekt auf die Häufigkeitsverteilung an einem Beispiel. Rot ist ein Muster mit einem mittleren Durchmesser von 778 µm, also größer als der Referenzwert von 630 µm, gezeigt. Grün sind die für die gleiche Messserie auf einen Referenzdurchmesser von 630 µm normierten Bruchkraftergebnisse als Häufigkeitsverteilung aufgetragen. Der Mittelwert liegt mit 3,2 N (320 pond) etwas niedriger (weil die Probe mit 778 µm Durchmesser größer als 630 µm ist), und die Form der Verteilung ist deutlich schärfer als die rote Kurve. Die Breiten der Verteilungen schrumpfen bei heterodispersen Mustern also deutlich. Die Standardabweichung der Bruchkraft ist in diesem Beispiel von 40 auf 23 % gesunken. Diese Schrumpfung ist auch von der Breite der Korn-

größenverteilung abhängig (monodispers = rot ist schon scharf, aber gegebenenfalls verschoben, heterodispers = rot ist ziemlich breit).

In der Methodenauswertung wird ein über viele heterodisperse Muster ermittelter linearer Korrekturansatz verwendet. Am Ende werden zwei Bruchkraftmittelwerte angegeben: der Rohwert (F) und der Wert bezogen auf einen Durchmesser von 630 µm (F 630). Der letztere kann dann mit unterschiedlichsten anderen Harztypen verglichen werden. Nur dieser sollte zur Beurteilung der Produktqualität berücksichtigt werden.

Steife (im elastischen Bereich) und Vernetzungsgrad

Die Dickenmessung erlaubt für jede Kugel die Berechnung eines einfachen Steifigkeitswertes (ST_{roh}) über die Formel:

$$ST_{roh} = F/\Delta D \text{ oder als recht gute Näherung: } ST_{roh} = F_{Bruch}/(D_{Original} - D_{Bruch})$$

Diese Festlegung von ΔD ist noch nicht an das mechanische Problem der elliptischen Verformung einer Kugel angepasst. Der Einfluss dieser Elliptizitätsgesetze ist durch eine Korrektur des obigen einfachen Ansatzes, die Potenzen von D_{Original} und D_{Bruch} enthält, umgesetzt. Es wird ein Ansatz des Typs ST_{rel} = F_{Bruch} × D_{Original}ⁱ × D_{Bruch}^j × K_{St8%} mit geeigneten gewählten i und j benutzt.

K_{St8%} dient der Normierung auf Standard-Harztypen, um leicht vergleichbare Zahlenwerte zu erhalten. Das Messergebnis der Steife eines 8 % vernetzten gelförmigen Kationenaustauschers wird durch diese Konstante willkürlich auf 8 gesetzt.

Die bisher betrachtete elastische Verformung gilt insbesondere im Bereich vor dem Bruch und zeigt eine Materialeigenschaft, die elastische Steife. Diese sollte optimalerweise nicht von der Größe und möglichst wenig von chemischen Daten der Harzproben, wie ihrer Funktionalisierung, abhängen.

Es ist allerdings zu erwarten, dass die relative Steife für gelförmige Kugeln zum Beispiel mit dem Vernetzungsgrad korreliert sein müsste. Durch diverse Totkapazitätsmessungen sind von vielen Vergleichsmustern Vernetzungen (typischerweise angegeben als Prozent Divinylbenzol (DVB) im Monomer) bekannt. Für diese Muster wurden die relativen Steifen (Mittelwerte von 30 bis 50 Kugeln) ermittelt (Y-Achse) und im Bild 7 gegen den aus anderen Quellen bekannten Vernetzungsgrad (X-Achse) aufgetragen.

Eine überraschend lineare Abhängigkeit ist ersichtlich. Hieraus kann der Schluss gezogen werden, dass tatsächlich eine Materialeigenschaft im Bereich der elastischen Verformung gefunden wurde. Ebenso kann aber festgehalten werden, dass die Bruchstabilität in den Steifigkeitswert so gut wie nicht eingeht, weil es sich um einen Messwert der Situation vor dem Bruch handelt.

Über das Bild 7 können nun also relative Steifen in Vernetzungsgrade umgerechnet werden bzw. umgekehrt. Dies gilt insbesondere für jede Einzelperle! Es ist also leicht möglich, die Homogenität bzw. Streubreite der Kugelvernetzung innerhalb eines Produktmusters zu bestimmen (siehe unten). Ebenso ist es leicht möglich, die Effektivität der Vernetzungsreaktion bei unterschiedlichen Reaktionsbedingungen oder unterschiedlichen Monomermischungen, zum Beispiel mit dem Ziel der DVB-Minimierung, zu prüfen.

Darstellung der eigentlichen Bruchstabilität über relative Bruchkräfte

Auch wenn die relative Steife eine Materialkonstante wiedergibt, ist festzustellen, dass Bruchstabilität über diese Größe noch nicht

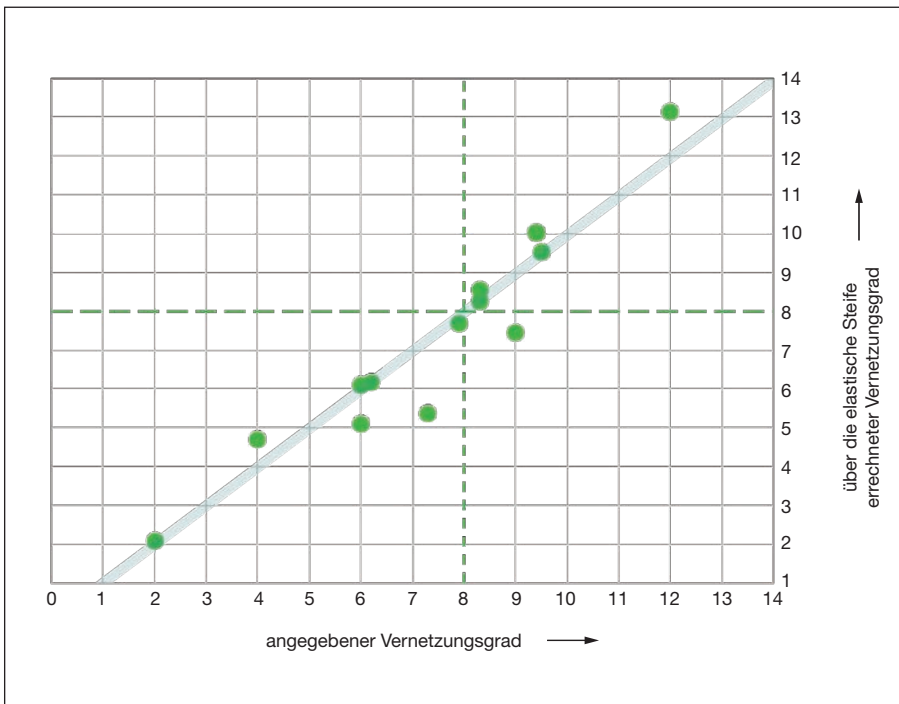


Bild 7. Beobachtung einer strengen Abhängigkeit zwischen Vernetzungsgrad und Steife im elastischen Bereich.

zu beurteilen ist. Wenn nun die normierte Bruchkraft F_{630} gegen den über die Steife umgerechneten Vernetzungsgrad aufgetragen wird, ist festzustellen, dass eine deutliche Abhängigkeit der Bruchkräfte vom Vernetzungsgrad vorliegt. Je höher die Vernetzung, umso höher die zu erwartende Bruchkraft. Das Bild 8 zeigt Mittelwerte von F_{630} auf der linken Y-Achse gegen den Mittelwert des über die relative Steife errechneten V auf der X-Achse.

Der entscheidende Schritt ist, dass für jeden Vernetzungsgrad dadurch eine Bruchkraft F_{ref} von der blauen Gerade abgelesen werden kann, die für einen bestimmten Vernetzungsgrad „normal“ ist. Dieser Wert enthält also statistische Angaben über viele bisher untersuchte Muster und ist empirisch. Damit kann eine relative Bruchkraft ($F_{rel} = F_{630}/F_{ref}$) definiert werden, die die eigentliche Qualitätsaussage enthält. Wenn der blaue Messpunkt für eine Kugel zum Beispiel über dieser Vergleichsgeraden liegt, zeigt die Kugel einen überdurchschnittlichen ($F_{rel} > 100\%$; grüner Bereich), wenn darunter, einen unterdurchschnittlichen Wert ($F_{rel} < 100\%$; roter Bereich). Die typische Schwankungsbreite dieses Messwertes ist über die vertikale Varianz der blauen Punkte optisch gut erkennbar. Abweichungen von $\pm 50\%$ vom Normalwert sind offensichtlich üblich.

Dieser relative Bruchkraftwert F_{rel} ist damit letztlich die gesuchte Qualitätsgröße, die weder von unterschiedlichen Kugeldurchmessern noch von variierten Vernetzungsgraden abhängt. Werte $> 100\%$ können als gute und Werte $< 100\%$ als weniger gute Bruchstabilität gedeutet werden.

Maximale Elliptizität beim Bruch

Bei der genaueren Betrachtung der Messdaten fällt auf, dass es einen strengen Zusammenhang zwischen der relativen Bruchkraft (F_{rel}) und der beim Bruch erreichten Elliptizität gibt. Die Elliptizität ist definiert als D_O/D_B oder um 1 verschoben etwas vereinfacht als $E' = (D_O/D_B) - 1$. Dieser Zusammenhang gilt sehr streng, wie das Bild 9 zeigt.

Das Bild 9 ist für weiterführende Überlegungen sehr interessant, weil es aussagt, dass hohe relative Bruchkräfte nur dann erreichbar sind, wenn die maximale geometrische Ver-

formbarkeit einer Kugel unter Kräfteinfluss hoch ist. Schwächere Bruchstabilitäten werden daher unter anderem durch innere Risse oder Fehlstellen im Polymer sowie äußerliche Inhomogenitäten oder Kratzer verursacht werden, die eine geringere Verformbarkeit der Kugeln bewirken.

Zusammenfassung

Anwendungsbereich und Nutzen der neuen Methode

Ziel der neuen Methode ist, die durchaus großen Einflüsse von Kugelgröße und Vernetzungsgrad auf die Bestimmung der Bruchstabilität heraus zu rechnen. Damit sind vom Hersteller einstellbare Parameter nicht mehr ausschlaggebend für das Stabilitätsergebnis. Vielmehr äußern sich nun eigentliche Qualitätsmerkmale wie Homogenität und Güte der Vernetzungsreaktion, Güte der Kugeloberflächen oder aus der Produktion stammende innere Rissbildung im Ergebnis.

Wesentliche Anwendungsbereiche der Methode werden daher bei der Beurteilung von Neuharzen vor dem Einsatz gesehen. Dies kann auf der Seite der Anwender geschehen, um die zu erwartende Lebensdauer zu vergleichen. Bei den Herstellern ist dagegen eher die vergleichende Beurteilung von Forschungsmustern zur Optimierung der eigenen Herstellvorschriften der wesentliche Anwendungsbereich.

Kurzinterpretation der einzelnen Ergebniswerte

Die im Folgenden beschriebenen Messwerte werden für jede Einzelkugel eines Sets von 30 bis 50 Kugeln gemessen oder berechnet. Da-

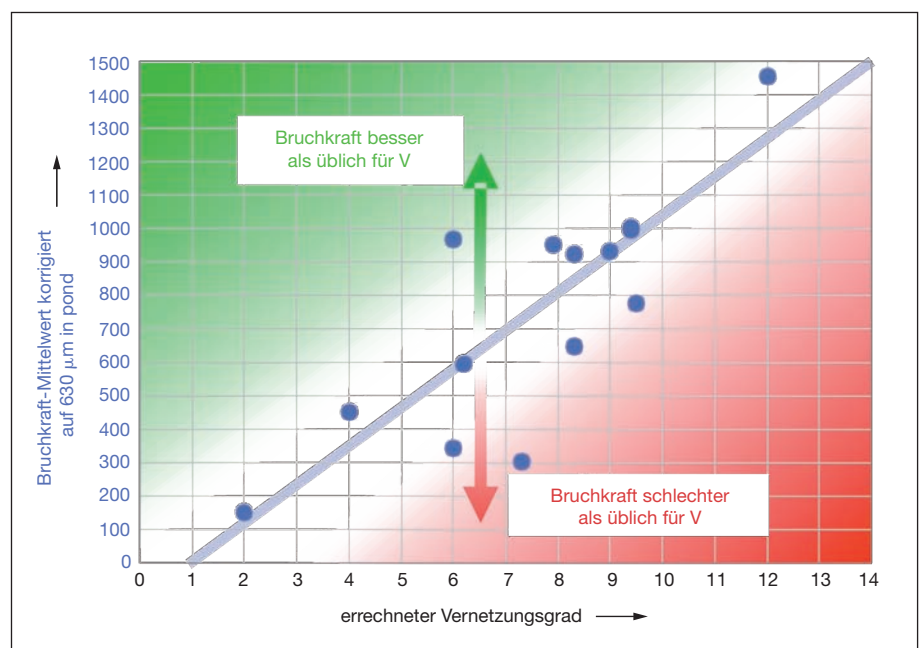


Bild 8. Bewertung von F_{630} gegen normale Bruchkräfte in Abhängigkeit vom Vernetzungsgrad.

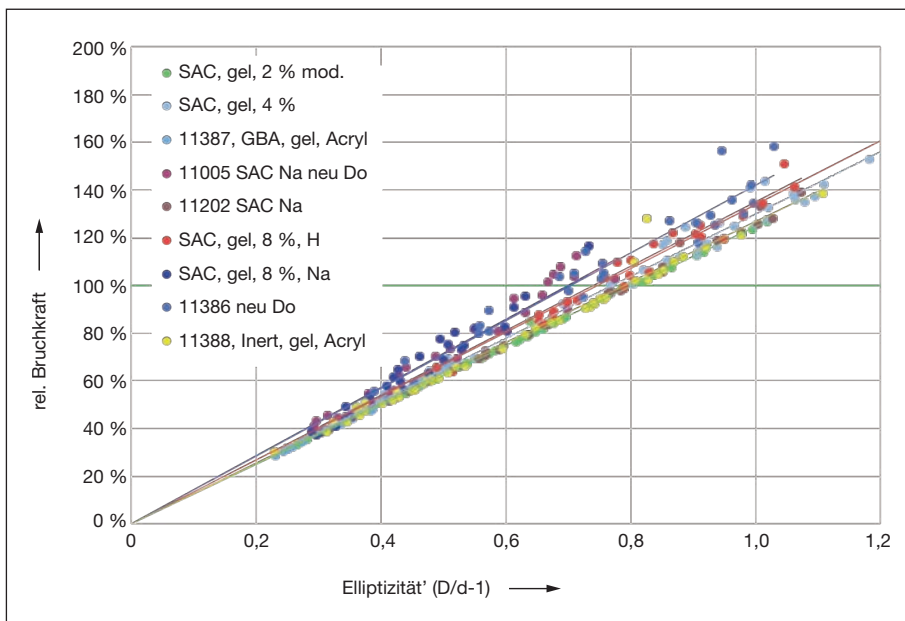


Bild 9. Zusammenhang zwischen F_{rel} und der verschobenen Elliptizität.

nach werden Mittelwerte dieser Einzelwerte errechnet.

- **Bruchkraft, normiert auf 630 µm Durchmesser (F_{630}).** Dies ist der zum Vergleich unterschiedlicher Harztypen geeignete Wert, der die systematische Abhängigkeit der Bruchkraft von der Kugelgröße nicht mehr zeigt. Damit sind unterschiedliche Kugelgrößen vergleichbar. Als Referenzdurchmesser wurde willkürlich 630 µm festgelegt, was einer bekannten Siebmaschenweite im mittleren Größenbereich entspricht.
- **Errechneter Vernetzungsgrad (V).** Über eine empirisch entwickelte Formel kann aus

mehreren Messdaten für jede Einzelkugel der Vernetzungsgrad errechnet werden. Er ist zu verstehen als die mechanisch wirksame elastische Steife, die in Einheiten des DVB-Gehaltes im Monomer wie bei Neuharzen angegeben wird.

- **Bruchkraft relativ zur Referenz (F_{rel}).** Die Bruchkraft ist systematisch abhängig vom Vernetzungsgrad. Höhere Vernetzungsgrade besitzen auch höhere Bruchkräfte. Diese Abhängigkeit kann anhand von Erfahrungswerten herausnormiert werden, um die eigentliche Stabilität unterschiedlicher Harztypen im Sinn einer Qualitätsaussage ver-

gleichen zu können. Über den Vernetzungsgrad wird dafür eine Referenzbruchkraft errechnet und der Messwert F_{630} jeder Einzelkugel durch die Referenzbruchkraft der individuellen Einzelkugel dividiert. Das Ergebnis wird in Prozent von der Referenzbruchkraft angegeben. Werte > 100 % zeigen gute Stabilität, Werte < 100 % schlechtere Stabilität als normal. Typische Schwankungsbreiten sind 50 bis 200 % vom Normalwert.

- **Bruchkraft, unkorrigiert (F).** Um Vergleiche mit älteren Messgeräten zum Beispiel nach dem Chatillonverfahren zu ermöglichen, sind die Rohdaten für die Bruchkraft ebenso als Mittelwert angegeben. Typischerweise ist die Standardabweichung des Mittelwertes von F deutlich höher als diejenige von F_{630} .
- **Bruchelliptizität (E , Originaldurchmesser/Bruchdurchmesser).** Die Bruchelliptizität ist eine zentrale Größe bei den Stabilitätseigenschaften. Die relative Bruchkraft (F_{rel}) ist direkt von dem Ausmaß der möglichen elliptischen Verformung einer Einzelperle abhängig. Diese wird für weitergehende Auswertungsrechnungen daher mit angegeben.
- **Ausreißer.** Bei erhöhtem Auftreten kann die Anzahl der Ausreißer im Set ebenso prozentual angegeben werden. Letztlich wird die Reproduzierbarkeit der Perleneigenschaften innerhalb einer Charge beziffert. Gut sind bei 30 Perlen im Set 0 bis 1 Ausreißer (0 bis 3 %) und normal 2 bis 4 Ausreißer (6 bis 12 %). Größere Werte zeigen inhomogene Stabilitätseigenschaften an. □

VGB Tagungsband

VGB PowerTech e.V.

VGB Fachtagung
VGB Conference

Gasturbinen und Gasturbinenbetrieb 2011
Gas Turbines and Operation of Gas Turbines 2011

11./12. Mai 2011 in Offenbach/Main
May 11/12, 2011 in Offenbach/Main

TB 006-11 (CD)

Gasturbinen und Gasturbinenbetrieb 2011
Preis für VGB-Mitglieder € 52,-, für Nichtmitglieder € 104,-, + Versandkosten und MWSt.

VGB PowerTech e.V.

VGB-Konferenz
VGB Conference

Kraftwerke im Wettbewerb 2011
Perspektiven des künftigen Erzeugungs-Portfolios

- Technologie
- Systemstabilität
- Marktbedingungen mit Fachausstellung

Power Plants in Competition 2011
Perspectives of Future Generation Portfolio

- Technology-System
- Stability-Market
- Conditions

with technical exhibition
09., 30 and 31 March 2011 in Karlsruhe/Germany
Stadthalle Karlsruhe

TB 121-11 (CD)

Kraftwerke im Wettbewerb 2011
Preis für VGB-Mitglieder € 300,-, für Nichtmitglieder € 300,-, + Versandkosten und MWSt.

VGB PowerTech

Konferenz/Conference
Instandhaltung von Windenergieanlagen
Maintenance of Wind Power Plants 2011

23.-24. Februar 2011 in Hamburg

TB 550-11 (CD)

Instandhaltung von Windenergieanlagen 2011
Preis für VGB-Mitglieder € 60,-, für Nichtmitglieder € 120,-, + Versandkosten und MWSt.

VGB PowerTech Service GmbH
Verlag technisch-wissenschaftlicher Schriften
www.vgb.org

Postfach 10 39 32 · 45039 Essen · Deutschland
Tel. +49 201 8128-200 · Fax +49 201 8128-329
E-mail: mark@vgb.org



VGB PowerTech

International Journal for Electricity and Heat Generation



Please copy >>> fill in and return by mail or fax

Yes, I would like order a subscription of **VGB PowerTech**.

The current price is Euro 275.- plus postage and VAT.

Unless terminated with a notice period of one month to the end of the year, this subscription will be extended for a further year in each case.

Name, First Name

Street

Postal Code

City

Country

Phone/Fax

Date 1st Signature

Cancellation: This order may be cancelled within 14 days. A notice must be sent to VGB PowerTech Service GmbH within this period. The deadline will be observed by due mailing. I agree to the terms with my 2nd signature.

Date 2nd Signature

Return by fax or mail or in business envelope with window to

VGB PowerTech Service GmbH

Fax No. +49 201 8128-302

VGB PowerTech

The generation of electricity and the disposal of heat is in all parts of the world a central topic of technology, economy, politics and daily live. Experts are responsible for the construction and operation of power plants, their development and monitoring as well as for various tasks in connection with service and management.

The technical journal VGB PowerTech is a competent and internationally accepted publication for power plant engineering. It appears annually with 11 bilingual issues (German/English). VGB PowerTech informs with technical/scientific papers and up-to-date news on all important questions of electricity- and heat generation.

Topics: development, planning, construction and operation of power plants under special consideration of

- Operation and plant safety,
- Economic efficiency,
- Environmental compatibility,
- Research and development and application of new technologies,
- Competitiveness of different technologies and
- Legal aspects.

VGB PowerTech appears with VGB PowerTech Service GmbH, publishing house of technical-scientific publications.

VGB PowerTech e.V., the European technical association, is the publisher.

Your contact at VGB PowerTech Service GmbH,
Gregor Scharpey, Phone: +49 201 8128-271, E-Mail: mark@vgb.org

VGB PowerTech Service GmbH

P.O. Box 10 39 32
45039 Essen
ALLEMAGNE

VGB PowerTech-DVD

More than 12,000 digitalised pages with data and expertise
(incl. search function for all documents)



Please fill in and return by mail or fax

I would like to order the VGB PowerTech-DVD
1990 to 2010 (single user license).

- Euro 950.-* (Subscriber of VGB PowerTech Journal ¹⁾)
- Euro 1950.-* (Non-subscriber of VGB PowerTech Journal ²⁾)
Plus postage, Germany Euro 7.50 and VAT
- Network license (corporate license), VGB members'
edition (InfoExpert) and education license on request
(phone: +49 201 8128-200).

* Plus VAT.

Annual update ¹⁾ Euro 150.-; ²⁾ Euro 350.-
The update has to be ordered annually.

Return by fax or in business envelope with window to
VGB PowerTech Service GmbH
Fax No. +49 201 8128-329

Name, First Name

Street

Postal Code

City

Country

Phone/Fax

Date 1st Signature

Cancellation: This order may be cancelled within 14 days. A notice must be sent to VGB PowerTech Service GmbH within this period. The deadline will be observed by due mailing. I agree to the terms with my 2nd signature.

Date 2nd Signature

VGB PowerTech – www.vgb.org

The generation of electricity and the disposal of heat is in all parts of the world a central topic of technology, economy, politics and daily life. Experts are responsible for the construction and operation of power plants, their development and monitoring as well as for various tasks in connection with service and management.

The technical journal VGB PowerTech is a competent and internationally accepted publication for power plant engineering. It appears with 11 bilingual issues (German/English) annually. VGB PowerTech informs with technical/scientific papers and up-to-date news on all important questions of electricity and heat generation.

VGB PowerTech appears with VGB PowerTech Service GmbH, publishing house of technical-scientific publications.

VGB PowerTech e.V., the German and European technical association, is the publisher.

VGB PowerTech DVD 1990 to 2010: Digitalised technical papers of VGB Kraftwerkstechnik and VGB PowerTech.

You find the competent technical know-how from 21 years on more than 12,000 pages VGB Kraftwerkstechnik (German issues until 2000) and the international technical journal VGB PowerTech (as of 2001) with:

- More than 2300 technical papers,
- All documents in PDF-format (up to the year 2000 for technical reasons as b/w scan),
- Convenient search function in all papers as full-text search and/or deliberate search for authors and documents titles,
- Navigate quickly to the desired papers with a few mouse clicks.

The VGB PowerTech-DVD is available as single license or multi-user license for companies, research institutions and authorities.

The single license can be ordered by form and by post/fax or use our online shop under www.vgb.org.

A quotation for a multi-user license is made on demand.

You can bring up to date your DVD annually with the VGB PowerTech update. The update has to be ordered annually.

Your contact at VGB PowerTech Service GmbH,
Jürgen Zimander, Phone: +49 201 8128-200, E-Mail: mark@vgb.org

VGB PowerTech Service GmbH

P.O. Box 10 39 32
45039 Essen
ALLEMAGNE