

Keine Fehler in der Produktion

Mechanische Eigenschaften bereits während der Compoundierung erfassen

Die mechanischen Eigenschaften von Kunststoff-Compounds stellen ein wichtiges Qualitätskriterium dar. Sie können derzeit aber nur zeitverzögert durch Labormessungen bestimmt werden. Online-Messverfahren während der Compoundierung sparen Zeit und verhindern Fehler während des Produktionsprozesses. Ein Forschungsprojekt zeigt, wie sich die Schlagzähigkeit und Härte am Compoundstrang online erfassen lässt.

Für die Funktionserfüllung eines Bauteils sind neben der Geometrie vor allem die mechanischen Materialeigenschaften verantwortlich. Daher stellen diese bei der Bauteilkonstruktion ein wichtiges Kriterium dar. Bei Compounds werden die mechanischen Eigenschaften sehr stark von der Compoundierung beeinflusst. Dabei spielen die richtig abgestimmte Materialauswahl (Rezeptentwicklung) und die homogene Durchmischung der Komponenten (Verfahrensauslegung) eine entscheidende Rolle.

Die Bestimmung der mechanischen Eigenschaften eines Compounds findet aktuell hauptsächlich offline mittels genormter Laborprüfungen statt. Es sind somit zusätzliche Arbeitsschritte notwendig, die eine deutliche Zeitdifferenz zwischen Produktion und Messergebnis erzeugen. Fehler in der Compoundierung können daher erst im Nachgang erkannt und Referenzergebnisse für die Iterationsschritte bei der Materialentwicklung nur zeitverzögert ermittelt werden. Online-Messverfahren, die direkt im Prozess durchgeführt werden, beheben diese Defizite. Durch eine in Echtzeit stattfindende Materialcharakterisierung lässt sich ohne Zeitverzögerung der Ist-Zustand des Produkts bzw. Prozesses ermitteln und überwachen sowie darauf aufbauend das weitere Vorgehen festlegen.

Zwischen März 2017 und Mai 2019 fand deshalb am SKZ – Kunststoff-Zentrum in Würzburg ein Forschungsprojekt zur Entwicklung von Messverfahren für die Online-Bestimmung von mechanischen Eigenschaften, wie der Härte und Schlagzähigkeit, statt. Der Compoundstrang dient dabei unmittelbar als Probekörper. Die Online-Bestimmung der Schlagzähigkeit lehnt sich an die Norm-

prüfung an, entsprechend dem Messprinzip aus **Bild 1**. Bei der Izod-Schlagzähigkeitsmessung (DIN EN ISO 180) wird ein einseitig eingespannter Probekörper abgeschlagen und die dabei erforderliche Schlagarbeit gemessen. Im Zuge der Online-Messung findet ein kontinuierlicher Abschlagvorgang am Strang mittels eines rotierenden Abschlagrotors, analog zu einem Granulator, statt. Dabei wird an der Antriebswelle des Abschlagrotors das Drehmoment gemessen. Die Idee dahinter ist, dass mit Zunahme der Schlagzähigkeit des Materials auch ein größerer Widerstand gegen den Abtrennvorgang auftritt. Dieser Widerstand führt zu einem größeren Drehmomentbedarf am Antrieb des Rotors. Somit kann mittels Mes-

sung des Drehmoments am Rotor auf die Schlagzähigkeit des Compoundstrangs geschlossen werden.

Online-Bestimmung der Härte

Ebenfalls in **Bild 1** ist der Messansatz zur Online-Bestimmung der Materialhärte dargestellt. Die Shore-Härte (DIN EN ISO 868) ermittelt die Eindringtiefe eines mit konstanter Kraft beaufschlagten Messstempels. Es besteht ein härteabhängiger Zusammenhang zwischen aufgebrachtener Kraft und gemessener Eindringtiefe. Dieser Zusammenhang wird für die Online-Härtebestimmung genutzt. Dazu wird bei konstanter Eindringtiefe die härteabhängig resultierende

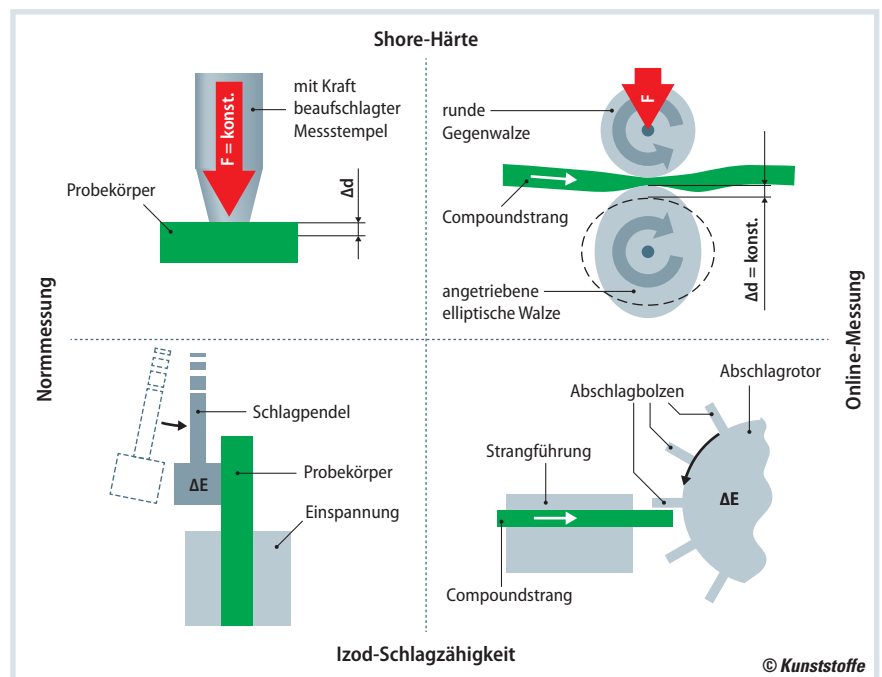


Bild 1. Darstellung der Online-Messansätze (rechts) und der Ansätze der Normmessungen (links) für Shore-Härte (oben) und Izod-Schlagzähigkeit (unten) (Quelle: SKZ)

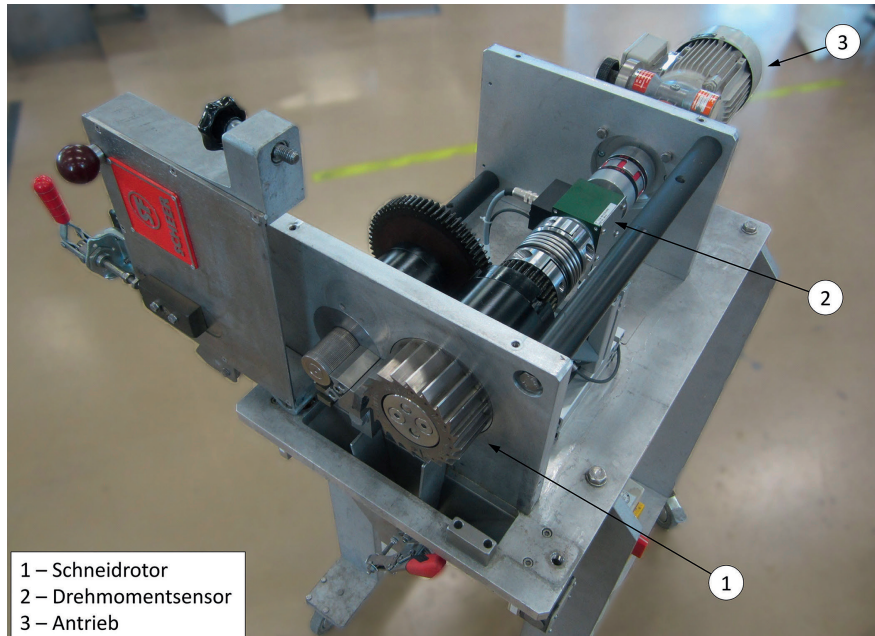
Kraft gemessen. Die konstante Eindringtiefe ergibt sich durch ein Walzenpaar, bei dem die angetriebene Walze eine elliptische Form aufweist. Der Compoundstrang läuft durch das Walzenpaar. Das Eindrehen der langen Hauptachse der elliptischen Walze sorgt für eine kontinuierliche Eindringtiefe in den Strang. Abhängig von der Härte des Strangs überträgt sich eine Kraft auf die gegenüberliegende runde Walze, die im Prozess messtechnisch an der Walzenachse erfasst wird.

Im Zuge des Projekts fand eine Auslegung und Umsetzung der Messansätze statt. Ergänzt wurden die Messdemonstratoren um ein Strangtemperatur- und ein Stranggeometriemessgerät. Für die Online-Schlagzähigkeitsprüfung kam ein umgebauter, mit einer hochauflösenden Drehmomentmessung erweiterter Laborgranulator (**Bild 2**) zum Einsatz. Zu Beginn fanden Versuche auf Basis fertiger Filamente statt, da diese eine konstante und einheitliche Geometrie aufwiesen. Außerdem konnten sie im Vorfeld unter Normklima konditioniert werden. Die gegenüber dem Leerlaufdrehmoment auftretenden Drehmomentänderungen sind folglich auf die verschiedenen Filamentmaterialien und deren Schlagzähigkeit zurückzuführen. An den aus Granulaten gepressten und danach präparierten Prüfkörpern fand im Anschluss die genormte Referenzmessung statt.

Online-Messung der Schlagzähigkeit

In **Bild 3** sind die am Demonstrator gemessenen Drehmomentänderungen über die Izod-Schlagzähigkeit laut der Norm DIN EN ISO 180/U für die verschiedenen Filamentmaterialien aufgetragen. Aufgrund der gleichen Filamentdurchmesser ist ein linearer Zusammenhang zwischen Online- und Labormessung zu erwarten. Tendenziell lässt sich dieser in **Bild 3** erkennen. Deutlich ist der Anstieg der Drehmomentbelastung am Antriebsstrang des Granulators mit Zunahme der Schlagzähigkeit der Filamentmaterialien zu erkennen. In weiteren Untersuchungen konnte ebenfalls ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Online-Messung und der Charpy-Schlagzähigkeit (DIN EN ISO 179/1eU) gezeigt werden. Eine Korrelation zur Kerbschlagzähigkeit lag hingegen erwartungsgemäß nicht vor.

Die Umsetzung des Messansatzes zur Online-Härtemessung fand anhand des



1 – Schneidrotor
2 – Drehmomentsensor
3 – Antrieb

Bild 2. Ein Laborgranulator dient als Grundlage für den Messdemonstrator zur Online-Erfassung der Schlagzähigkeit. Der Granulator wurde am Antriebsstrang um eine Drehmomentmessstelle erweitert (© SKZ)

in **Bild 4** gezeigten Demonstratoraufbaus statt. Dabei wird der Strang mittels Einzugsrollen und Strangführung dem Messwalzenpaar zugeführt. Im Zuge einer Versuchsreihe wurden verschieden weiche thermoplastische Styrol-Blockcopolymer (TPE-S) als Reinmaterialien zu einem Strang extrudiert und mit dem Demonstrator charakterisiert. Bei der Normprüfung belastet der Prüfstempel kontinuierlich die gleiche Querschnittsfläche, diese nimmt jedoch bei der Online-Messung aufgrund des runden Strangquerschnitts mit zunehmender Eindringtiefe zu. Deshalb wird ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Norm- und Online-Messung erwartet.

Nachweis der Online-Tauglichkeit

In **Bild 5** sind die online gemessenen Kraftänderungen gegenüber dem unbelasteten Fall im Verhältnis zur Shore-A-Härte der Materialien (laut Datenblatt) aufgetragen. Eindeutig zu sehen ist, dass sich mit Zunahme der Materialhärte auch die übertragene Kraft erhöht. Bei den Versuchen wurde sowohl die Strangmasstemperatur (30 bis 60°C) als auch der Strangdurchmesser (2,1 bis 2,8 mm) an der Messstelle für alle Materialien variiert. **Bild 5** zeigt gemittelte Werte über alle Temperaturen und Durchmesser. Dennoch ist eine eindeutige Zuordnung »

Die Autoren

Kilian Dietl ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am SKZ in den Gruppen Spektroskopie, Compoundierung und Extrusion; k.dietl@skz.de

Christoph Kugler leitet die Gruppe Digitalisierung am SKZ.

Dr. Thomas Hochrein ist Geschäftsführer des SKZ für Bildung und Forschung.

Dank

Das Forschungsvorhaben 19366 N der Forschungsvereinigung Kunststoff-Zentrum (FSKZ) wurde gefördert über die Arbeitsgemeinschaft industrielle Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Service

Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2019-12

English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

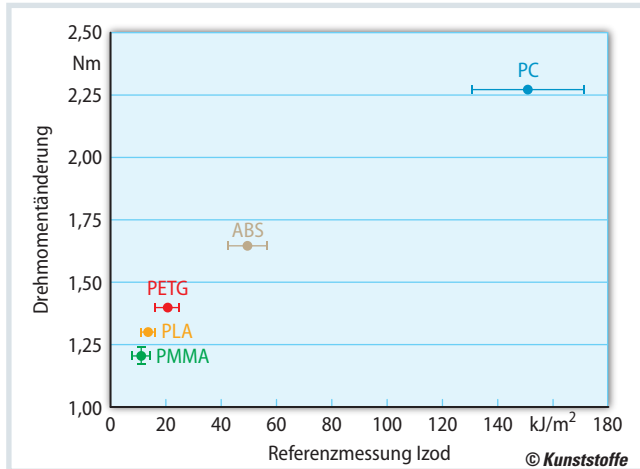


Bild 3. Online-Messergebnisse des Demonstrators im Verhältnis zu den Resultaten der genormten Referenzmessung der Izod-Schlagzähigkeit von verschiedenen Materialien (Durchmesser und Massetemperatur identisch): Tendenziell besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Drehmomentänderung und zunehmender Schlagzähigkeit (Quelle: SKZ)

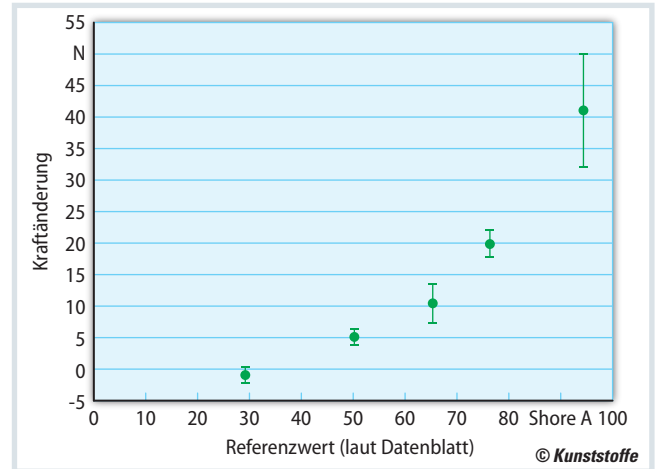


Bild 5. Die online gemessenen Kraftänderungen, aufgetragen über die Shore-A-Härtewerte, laut Herstellerangaben: Die Standardabweichungen ergeben sich daraus, dass gezielt unterschiedliche Strangdurchmesser und -temperaturen vorlagen. Trotzdem können die verschiedenen weichen TPE-S-Materialien eindeutig zugeordnet werden (Quelle: SKZ)

der einzelnen TPE-S-Materialien möglich. In weiteren Versuchen konnte auch ein Zusammenhang zwischen der Online-Messung und der Shore-D-Härte bei härteren Materialien aufgezeigt werden. Abgesehen von den weichen elastischen Materialien wie TPE, tritt an den Strängen eine plastische Verformung auf.

Zum Nachweis der Online-Tauglichkeit fanden Versuche mit nachgestellten Dosierschwankungen bzw. gezielt fehlerhaften Extrusionsmaterialien statt. Dafür

wurde ein Strang aus TPE-S mit 70 Shore-A extrudiert und jeweils kleine Mengen, 3 und 20 g, verschiedener Fremdmaterialien zugegeben (TPE-S mit 50 und 80 Shore-A sowie reines Polypropylen (PP)). Der Gesamtdurchsatz von 1,7 kg/h blieb dabei konstant. Die Strangtemperatur betrug während der Versuchsdurchführung 26°C und der Strangdurchmesser 2,4 mm. Da das TPE-S-Material mit 80 Shore-A schwarz eingefärbt war, konnte anhand der optischen Verfärbung des

Strangs die Verweilzeit von der Materialzugabe bis zur Messposition per Zeitmessung grob auf 5,5 min bestimmt werden.

Fremdmaterialien klar nachweisbar

In **Bild 6** ist in Schwarz exemplarisch der Verlauf der Kraftmessung zur Bestimmung der Härte über alle Versuchspunkte aufgetragen. Die große Schwankung im Kraftverlauf ist nicht auf Signalrauschen, sondern auf den harmonischen Signalverlauf infolge des Ein- und Ausdrehens der Ellipse zurückzuführen. Sie ist aufgrund der kurzen Zykluszeit im Gegensatz zur dargestellten Zeitspanne nicht zu erkennen.

Zur Online-Auswertung wurde ein gleitender Mittelwert (rot) über einen Zeitraum von 5 s über den Kraftverlauf gebildet. Mittels der Online-Härtemessung ist erkennbar, dass trotz der sehr geringen zugegebenen Mengen von lediglich 3 g alle Fremdmaterialien kurzzeitig die Materialhärte beeinflussen. Erwartungsgemäß führte die Zugabe der weichen TPE-Materialien zu einer kurzzeitigen Abnahme bzw. des härteren TPE- sowie des PP-Materials zu einer Zunahme der Kraft am Online-Härtemessstand. Für eine absolute Härtemessung ist vorab eine genaue Kalibration bei entsprechender Strangtemperatur, -geometrie und -geschwindigkeit notwendig. Perspektivisch ist es jedoch möglich, Dosierungsgenauigkeiten und fehlerhafte Extrusi-

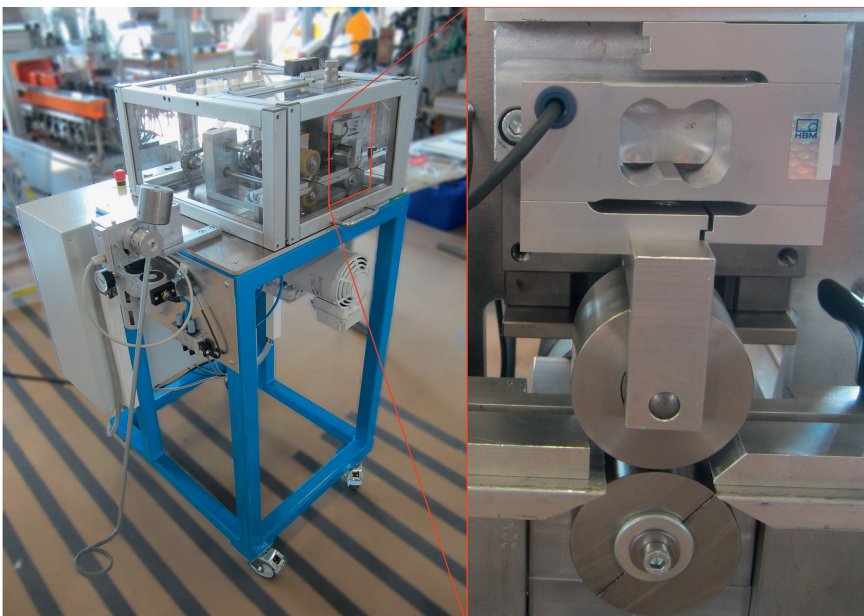


Bild 4. Messdemonstrator zur Online-Bestimmung der Härte: Das Messwalzenpaar (rechts) besteht aus einer angetriebenen elliptischen Walze (unten) und einer runden Gegenwalze (oben). Abhängig von der Härte wird die Kraft infolge der Eindrehung durch die lange Hauptachse der Ellipse auf die Achse der runden Gegenwalze übertragen und dort messtechnisch erfasst (© SKZ)

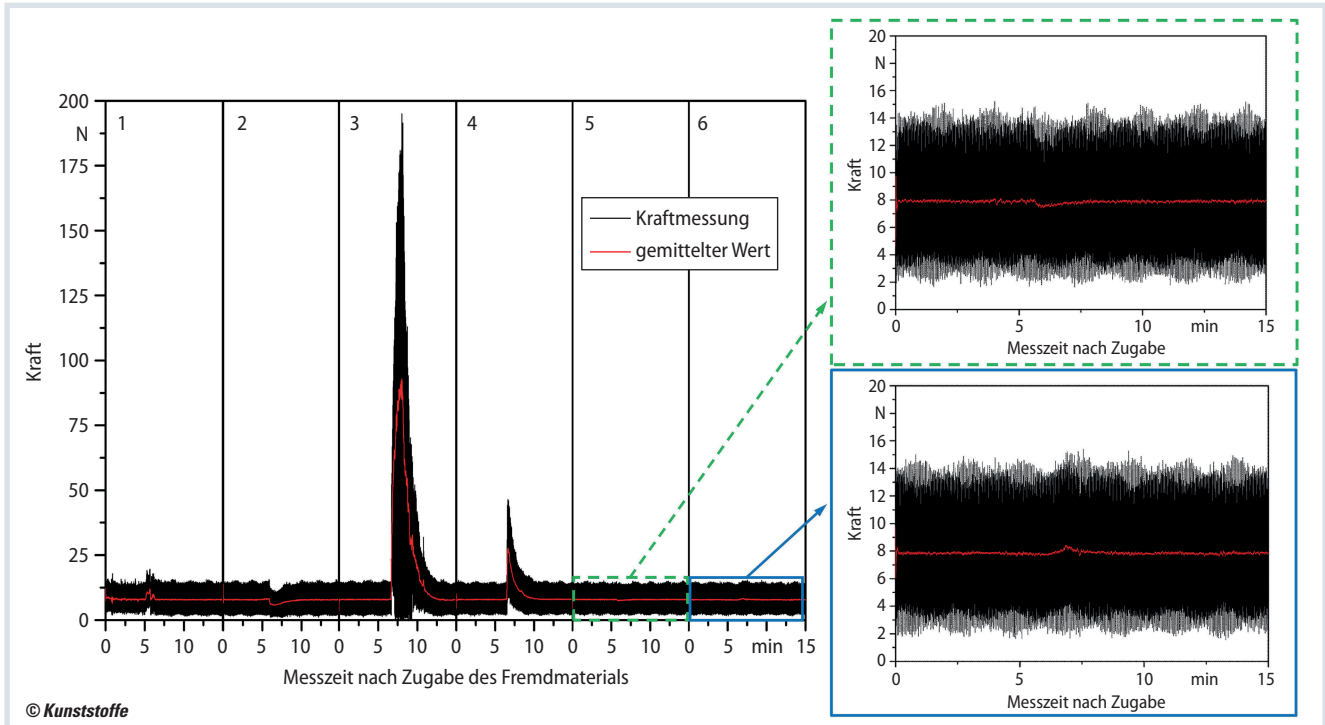


Bild 6. Verlauf der Kraft am Härtemessstand über die Versuchsdauer (schwarz) und zur Online-Auswertung der über 5 s gleitende Mittelwert (rot): Die positiven und negativen Ausschläge zeigen die Materialänderung infolge des Fremdmaterials auf. Das Basismaterial war ein TPE-S mit 70 Shore-A. Bei den Versuchspunkten 1 und 6 (blauer Kasten) wurden 20 bzw. 3 g eines TPE-S mit 80 Shore-A zugegeben. Die Versuchspunkte 2 und 5 (grün-gestrichelter Kasten) zeigen den Verlauf nach der Zugabe von 20 bzw. 3 g eines TPE-S mit 50 Shore-A auf (Quelle: SKZ)

onsmaterialien im laufenden Prozess eindeutig zu erkennen.

Bei der Auslegung und Nutzung von Kunststoffen spielen die mechanischen Eigenschaften eine wichtige Rolle. Durch die Materialauswahl und Compoundierung können sie gezielt beeinflusst werden. Bislang konnte eine Bestimmung der mechanischen Eigenschaften jedoch nur im Nachgang mittels Normprüfungen im Labor stattfinden. Aus der zeitlichen Verzögerung ergeben sich sowohl

bei der Materialrezeptur- und Verfahrensentwicklung als auch bei der Prozessüberwachung Nachteile. Am SKZ wurden deshalb Messansätze evaluiert, die eine Bestimmung der Härte und Schlagzähigkeit des Materials im Prozess direkt am Compoundstrang ermöglichen. Es konnte aufgezeigt werden, dass unter konstanten Rahmenbedingungen ein Zusammenhang zwischen Online-Bestimmung und Normprüfung vorliegt. Aufgrund der im Prozess schwankenden Ein-

flussgrößen, wie Strangdurchmesser und -temperatur, ist keine absolute Bestimmung der Materialdaten wie bei der Normprüfung möglich. Jedoch konnte gezeigt werden, dass sich mittels Online-Messungen bereits minimale Materialänderungen im Prozess erkennen lassen. Bei einer spezifischen Auslegung der Messkomponenten auf das jeweils vorliegende Einsatzgebiet ist von einer Verbesserung der Korrelation zwischen Online- und Labormessung auszugehen. ■

MAIER
MESSER FÜR
RECYCLING / KUNSTSTOFF

Maier-Unitas GmbH – Maschinenfabrik
Tel. +49 (0) 70 24- 9702- 0
Fax +49 (0) 70 24- 97 02- 10
Mail mail@maier-unitas.de
www.maier-unitas.de

SCHUMA

Ob Fördern, Separieren, Stapeln oder Verteilen –
in **SCHUMA** finden Sie den richtigen Partner.

SCHUMA Maschinenbau GmbH Fon +49 (0) 73 33/96 09-01 www.schuma.com