

Kaffeinfusion für Kunststoffcompounds

Biokunststoffe mit Kaffeesatz als biobasiertem Füllstoff

Kaffeesatz ist deutlich mehr als ein Abfallprodukt. Nach Entölung und Trocknung lässt er sich als Füll- und Farbstoff in Kunststoffcompounds einarbeiten. Er wirkt sich zudem auf das Kristallisationsverhalten aus und beeinflusst die weiterführende Kunststoffverarbeitung. Beim Spritzgießen können dadurch Kühl- und Zykluszeiten verringert werden, ohne dass die Materialeigenschaften signifikant darunter leiden.

B iokunststoffe werden überwiegend als nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Kunststoffen eingesetzt. Häufig stammen die zugesetzten Additive allerdings aus fossilen Quellen, was dem Nachhaltigkeitsanspruch widerspricht. Deshalb wird intensiv an biobasierten Zusatzstoffen geforscht. Eine Möglichkeit stellt beispielsweise Kaffeesatz dar, der sich sowohl als Füll- als auch als Farbstoff für Biokunststoffe verwenden lässt. Das Material erfüllt dabei den Nachhaltigkeitsanspruch gleich doppelt: Es ist biobasiert und als Abfallprodukt entspricht es auch noch dem Kreislaufgedanken.

Wie sich das Material als Füllstoff verwenden lässt, wurde am IfBB – Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe an der Hochschule Hannover untersucht. Bei dem verwendeten Biopolymer handelte es sich um ein Stereokomplex-Poly-

lactid (PLA; Typ: IfBB-Blend HD130x) der Hochschule Hannover basierend auf PLLA (Poly-L-Lactid) und PDLA (Poly-D-Lactid) sowie Talk als mineralischem Füllstoff. Dieses Material wird bereits im Office-Bereich eingesetzt und wurde für die Untersuchungen weiter mit Kaffeesatz modifiziert. Durch die Additivierung von PLLA mit PDLA als Nukleierungsmittel und die Kombination mit einer erhöhten Werkzeugtemperatur von 100 °C entstehen im Spritzgießprozess sogenannte Stereokomplexe (scPLA), die wiederum das Kristallisationsvermögen des Materials bestimmen und die Materialeigenschaften, insbesondere die Wärmeformbeständigkeit, begünstigen. [1]

Verschiedene Kaffeesatzkonzentrationen

Um den Einfluss des Kaffeesatzes zu analysieren, wurde dieser zunächst in einem ersten Schritt in verschiedenen Konzentrationen von 5–15 Gew.-% zudosiert. Außerdem wurde ein Compound mit jeweils 5 Gew.-% Kaffeesatz und Talkum hergestellt. Dieses diente zur Überprüfung, ob der mineralische Füllstoff weiterhin als Nukleierungsmittel notwendig ist. Der dabei verwendete Kaffeesatz (Partikelgröße: d_{50} -Wert=362 µm) stammt von der Firma abc advanced biomass concepts aus Köln.

Die mit Kaffeesatz gefüllten Compounds lassen sich etwa für Computerzubehör wie das Gehäuse dieser Maus verwenden © IfBB

Die Herstellung der Kaffeesatz-Compounds erfolgte auf einem Extruder ZE 34 Basic des Unternehmens KraussMaffei Extrusion. Die biopolymere Matrix wird am Anfang des Extruders in der Aufschmelzzone zugeführt. Die Dosierung des Kaffeesatzes (5,4 Gew.-% Feuchtigkeit) erfolgt über eine Seitenfüttereinrichtung, auch Side Feeder genannt. Angepasste Schneckenkonfigurationen ermöglichen eine schonende Einarbeitung, ohne dass das PLLA und der Reststoff dadurch geschädigt werden. Durch einen speziellen Extruderaufbau mit Entgasungszonen kann Feuchtigkeit aus dem Prozess entfernt werden, wodurch eine Vortrocknung entfällt.

Für die Herstellung der Vielweckprüfkörper (Typ 1A) wurde eine Spritzgießmaschine KM 50-180 AX des Herstellers KraussMaffei mit einer Werkzeugtemperatur von 100 °C verwendet. Um einen Materialabbau durch Hydrolyse vorzubeugen, wurden die Granulate vor der Verarbeitung getrocknet (Feuchtegehalt < 500 ppm) [2]. Temperaturzonen, Nachdruck sowie Einspritzzeit und -druck wurden spezifisch angepasst, um ein optimal gefülltes Bauteil herzustellen. Im Anschluss an die Verarbeitung wurden die mechanischen, thermischen und rheologischen Materialeigenschaften in Anlehnung an die entsprechenden Normen ermittelt. Dass sich die hergestellten Kaffeesatz-Compounds beispielsweise für Computerzubehör sowie den Gastronomie- und Office-Bereich verwenden lassen, zeigen exemplarisch zwei daraus am IfBB hergestellte Produkte: ein Flaschenöffner und das Gehäuse einer Computermaus (Titelbild).



Material	Zykluszeit [s]	Zugfestigkeit [MPa]	Zug-E-Modul [MPa]	Schlagzähigkeit [kJ/m ²]	Wärmeformbeständigkeit [°C]
	DIN EN ISO 20753/ Typ 1A	DIN EN ISO 527-2/1A/5	DIN EN ISO 527-2/1A/5	DIN EN ISO 179/1eU/23 °C	DIN EN ISO 75/Verfahren B/ 120 K/h
scPLA + 10 Gew.-% Talk (Referenz)	74	39 (±2,4)	4440 (± 18)	27 (±2,1)	130 (±9,2)
scPLA + 5 Gew.-% Kaffeesatz	92	37 (±0,2)	3390 (±30)	8 (±2,5)	128 (±6,5)*
scPLA + 10 Gew.-% Kaffeesatz	102	30 (±0,2)	3420 (±28)	7 (±1,4)	126 (±10,0)*
scPLA + 15 Gew.-% Kaffeesatz	102	30 (±0,3)	3440 (±25)	6 (±1,1)	110 (±20,0)*
scPLA + 5 Gew.-% Talk + 5 Gew.-% Kaffeesatz	65	36 (±0,1)	3850 (±10)	9 (±1,3)	128 (±4,5)*

*Aufgrund der nicht normkonformen Standardabweichung können diese Werte nur als Richtwert angesehen werden.

Tabelle 1. Materialeigenschaften der Kaffeesatz-Compounds (Werkzeugtemperatur beim Spritzgießen 100 °C)
Quelle: IfBB

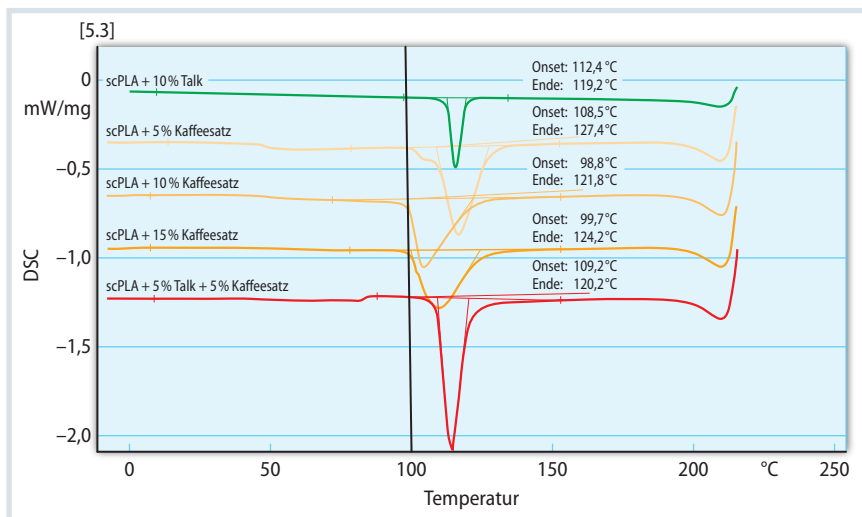


Bild 1. Bei zunehmendem Anteil des Kaffeesatzes kommt es zu einer Verbreiterung und Verschiebung des Kristallisationspeaks hin zu geringeren Temperaturen
Quelle: IfBB ; Grafik: © Hanser

Die Extrusion der Kaffeesatz-Compounds erfolgte ohne Prozessprobleme mit einem Durchsatz von 50 kg/h. Beim Spritzgießen zeigte sich, dass sich die Zykluszeiten mit zunehmendem Kaffeesatzgehalt (5 – 15 Gew.-%) um bis zu 28 s verlängern (Tabelle 1). Die Kühlzeit musste verlängert werden, um Abdrücke der Auswerfer, aufgrund einer geringen Formstabilität, zu vermeiden. Durch den Zusatz des mineralischen Füllstoffs wird das Kristallisationsvermögen der Compounds positiv beeinflusst. Die Zykluszeit kann dadurch verglichen mit der Referenz um weitere 9 s reduziert werden.

Mit steigendem Kaffeesatzgehalt kommt es zu einer Reduktion der Zugfestigkeit, des Zug-E-Moduls und der Schlagzähigkeit. Wie auch bei der Additivierung mit Naturfasern oder Holzmehl sinken die Zugfestigkeit und die Schlagzähigkeit in Abhängigkeit der Dosierungsmenge [2]. Im Vergleich zur Referenz, einem scPLA mit 10 Gew.-% Talk, hat der Kaffeesatz bis

zu einem Füllstoffgehalt von 15 Gew.-% keine verstärkende Wirkung. Ein signifikanter Unterschied der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit der Dosierungsmenge ist somit nicht gegeben. Die Wärmeformbeständigkeit liegt bei allen Materialien über 100 °C.

Durch den Einsatz von Talk in das Kaffeesatz-Compound erhöht sich der Zug-E-Modul im Vergleich zum Compound mit 5 Gew.-% Kaffeesatz. Das Material wird dadurch steifer, aber nicht spröder. Die Additivierung mit Talk hat keinen signifikanten Einfluss auf die Zugfestigkeit und Schlagzähigkeit. [3]

Verändertes Kristallisationsverhalten

Um das Kristallisationsverhalten genauer zu analysieren, besonders im Hinblick auf die unzureichende Entformung während dem Spritzgießen aufgrund der geringen Formstabilität einiger Compounds, wurden Differentialthermoanalysen (DSC- »

Die Autoren

B. Eng. Daniela Jahn ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am IfBB – Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe an der Hochschule Hannover und arbeitet dort in der Materialentwicklung und thermischen Analyse;
daniela.jahn@hs-hannover.de

Dr. Stephen Kroll ist Oberingenieur am IfBB und leitet das Team Nachhaltigkeit;
stephen.kroll@hs-hannover.de

Prof. Andrea Siebert-Raths ist Professorin für Produkte und Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe und Leiterin des IfBB;
andrea.siebert-raths@hs-hannover.de

Dank

Das Projekt „KaVe – Entwicklung eines hochwertigen Bioverbundwerkstoffs auf Basis von Kaffeesatz“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert (Förderkennzeichen 031B0383C). Die Autoren bedanken sich für die Förderung und die Unterstützung durch die Projektpartner abc – advanced biomass concepts GmbH und Maschinenfabrik Reinartz GmbH & Co. KG.

Service

Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

English Version

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

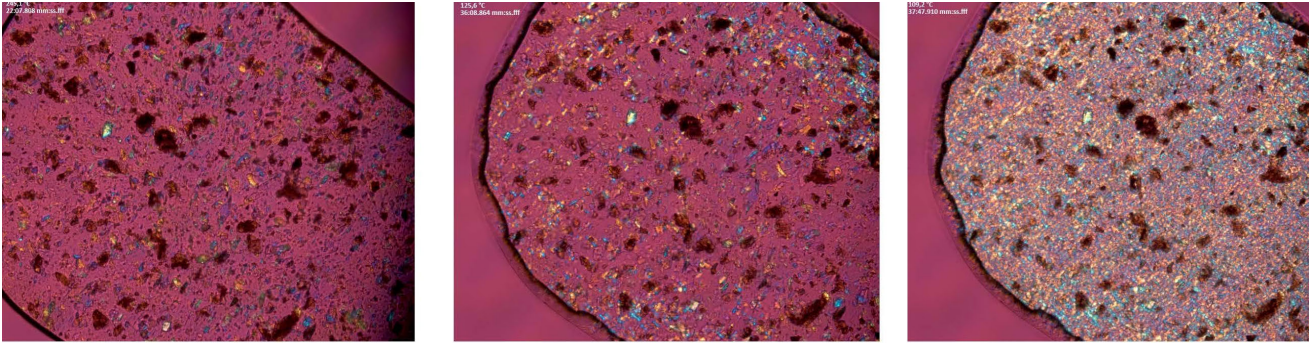


Bild 2. Heitzschmikroskopaufnahmen für eine Probe aus scPLA mit jeweils 5 Gew.-% Talk und Kaffeesatz: Links ist der aufgeschmolzene Zustand der Probe bei 245 °C zu sehen. Die mittlere Aufnahme zeigt die Kristallbildung im Randbereich bei 126 °C. Bei 110 °C ist die Kristallisation abgeschlossen (rechts) © IFBB

Untersuchungen) durchgeführt. Die DSC-Abkühlkurven zeigen, dass es mit zunehmendem Kaffeesatzanteil zu einer Verbreiterung und Verschiebung des Kristallisationspeaks (T_c) hin zu geringeren Temperaturen kommt (**Bild 1**). Das Ende der Kristallisation der Proben mit 10 bzw. 15 Gew.-% Kaffeesatz lag unterhalb der eingestellten Werkzeugtemperatur von 100 °C. Das lässt darauf schließen, dass die Kristallisation während des Spritzgießprozesses nicht abgeschlossen war. Da sich der Kristallisationspeak bei höheren Kühlraten zu geringeren Temperaturen hin verschiebt, kommt es zu den langen Zykluszeiten. [4]

Um das Kristallisationsverhalten genauer beurteilen zu können, wurden mittels Heitzschmikroskop Bildaufnahmen unter polarisiertem Licht erstellt. Die Probe wurde dabei über den Schmelzpunkt (175 °C für PLLA; 245 °C für scPLA) erhitzt und definiert abgekühlt (10 K/min). Mikroskopisch wurden der Beginn und die Ausbildung der Kristalle während der Abkühlung erfasst und ausgewertet.

Optimierung der Werkzeugtemperatur

Beispielhaft ist das Kristallisationsverhalten der mit Kaffee und Talk additivierten Probe (scPLA+5 Gew.-% Talk+5 Gew.-%

Kaffeesatz) in **Bild 2** dargestellt. Der Polymeranteil ist bei 245 °C vollständig aufgeschmolzen. Die pinken Bereiche zeigen den flüssigen, kristallfreien Zustand des Compounds. Die homogen verteilten Kaffeepartikel sowie die leuchtenden kristallinen Strukturen des Talks sind zu erkennen. Während der Abkühlung entstehen unter 130 °C erste Kristalle im Randbereich der Probe. Kleine Sphärolithe bilden sich mit abnehmender Temperatur, ähnlich wie bei Spitzgussbauteilen, von außen nach innen und an den Kaffeepartikeln aus. Die Kristallisation ist bereits zwischen 109 und 110 °C vollständig abgeschlossen und liegt somit 9 °C über der eingestellten Werkzeugtemperatur. Dieses Ergebnis deckt sich mit der DSC-Abkühlkurve (**Bild 1**). Die Additivierung mit Talk führt zu einer Erhöhung der Kristallisationstemperatur und somit zu einer Nukleierung und einer Verkürzung des Kristallisationszeitraums des Kaffeesatz-Compounds.

Aufgrund der Ergebnisse wurden die Compounds mit 10 und 15 Gew.-% Kaffeesatz erneut mit einer geringeren Werkzeugtemperatur von 90 °C verarbeitet und analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass durch Anpassung der Werkzeugtemperatur die Zykluszeit um 7–12 % reduziert werden kann (**Tabelle 2**). Die erhöh-

te Kristallbildung, bedingt durch eine geringere Werkzeugtemperatur, führt zu einer ausreichenden Formstabilität und somit zu einer besseren Entformung. Diese Vermutung wurde durch weitere DSC-Messungen am Bauteil bestätigt. Einhergehend mit zunehmendem Kristallisationsgrad verringert sich die Zugfestigkeit um ca. 13 %, der Zug-E-Modul um etwa 3 % und auch die Schlagzähigkeit.

Fazit

Eine industrielle Verarbeitung der Kaffeesatz-Compounds ist ohne Prozessprobleme realisierbar. Durch Adaptionen und Anpassungen der Peripherien können Zeit und somit Kosten eingespart werden. Die Materialeigenschaften verändern sich durch die Additivierung mit Kaffeesatz, ähnlich wie bei der Verwendung von Naturfasern oder Holzmehl. Zugfestigkeit, Schlagzähigkeit und ebenfalls die Fließfähigkeit nehmen mit steigendem Kaffeesatzanteil ab. Besonders die Kombination von Kaffeesatz und dem mineralischen Füllstoff Talk sind vielversprechend. Sowohl die Materialeigenschaften als auch Verarbeitungsparameter wie etwa die Kühl- und Zykluszeit verbessern sich durch eine Verkürzung des Kristallisationszeitraums. ■

Material	Werkzeugtemperatur [°C]	Zykluszeit [s]	Zugfestigkeit [MPa]	Zug-E-Modul [MPa]	Schlagzähigkeit [kJ/m ²]
		DIN EN ISO 20753/Typ 1A	DIN EN ISO 527-2/1A/5	DIN EN ISO 527-2/1A/5	DIN EN ISO 179/1eU/23 °C
scPLA + 10 % Kaffeesatz	100	102	30 (±0,3)	3420 (±28)	6 (±1,4)
scPLA + 10 % Kaffeesatz	90	95	26 (±2,0)	3290 (±22)	5 (±1,2)
scPLA + 15 % Kaffeesatz	100	102	30 (±0,3)	3440 (±25)	6 (±1,1)
scPLA + 15 % Kaffeesatz	90	89	26 (±0,4)	3290 (±16)	5 (±0,5)

Tabelle 2. Die mechanischen Eigenschaften der im Spritzgießen hergestellten Bauteile unterscheiden sich bei verschiedenen Werkzeugtemperaturen Quelle: IFBB