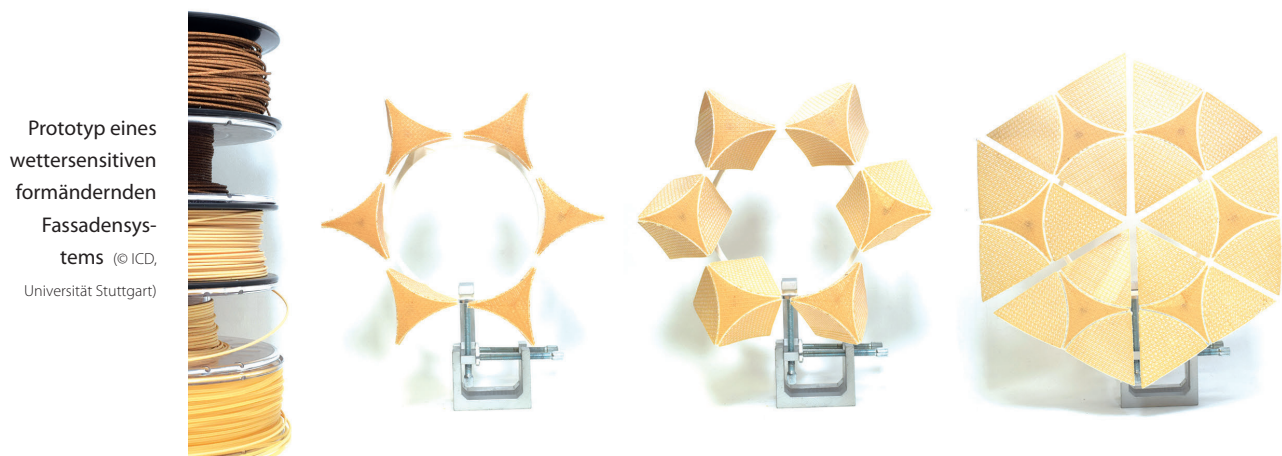


# Gestaltwandler mit grünem Herzen

## Biokunststoffe für Formänderungsstrukturen

Formänderungsstrukturen sind in der Lage, ihre Gestalt unter dem Einfluss externer Stimuli zu verändern. Die Formänderung ist selbstinduziert, benötigt also keine künstliche Energiezufuhr. Sie bieten dadurch einen effizienten und ressourcenschonenden Ansatz zur Integration von Funktionalitäten in ein Bauteil, ohne weitere Energie- und Materialkosten zu verursachen. Noch nachhaltiger ist das, wenn die Bauteile aus Biokunststoffen hergestellt werden.



Prototyp eines wettersensitiven formändernden Fassadensystems (© ICD, Universität Stuttgart)

Zahlreiche Entwicklungen sind inspiriert durch die Natur. Nur wenige technische Bauteile sind so gut an ihre spezifischen Anforderungen angepasst und mit zusätzlichen Funktionalitäten ausgestattet wie natürlich vorkommende Strukturen. Ein Kiefernzapfen beispielsweise, der bei ungünstigen Bedingungen die Samen fest in sich verschließt, öffnet in einer warmen und trockenen Umgebung seine Schuppen. Diese temperatur- und feuchtigkeitsinduzierte Formänderung geschieht passiv, allein aufgrund der Materialstruktur. Sie tritt daher selbst nach dem Absterben der Pflanze ein.

Dieses Prinzip übernehmen Formänderungsstrukturen, auch Smart Structures genannt (**Titelbild**). Sie reagieren mit einer Formänderung auf äußere Einflüsse wie Temperatur, Spannung, Feuchtigkeit oder Licht; sind also Sensor, Aktor und Regler in einem. Auf diese Weise können ohne den Einsatz fehleranfälliger Komponenten zusätzliche Funktionalitäten in ein

Bauteil integriert werden. Die Formänderung erfolgt ohne künstliche Zufuhr von Energie, nur durch die Umgebungsbedingungen. Anwendungsgebiete für solche Smart Structures finden sich in der Medizintechnik, der Automobilindustrie und der Architektur.

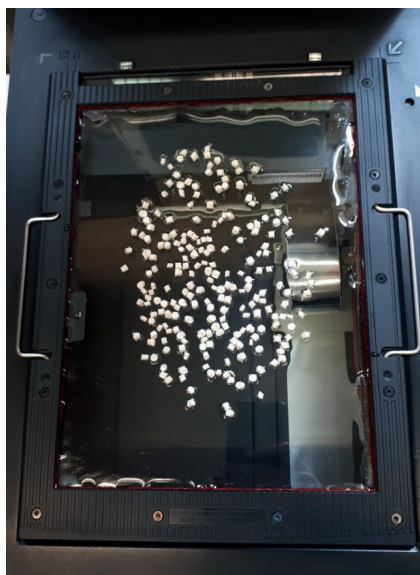
Um zu untersuchen, ob sich solche Strukturen auch sinnvoll mit biobasierten Kunststoffen und in modernen Fertigungsverfahren herstellen lassen, haben das Institut für Kunststofftechnik (IKT) und das Institute for Computational Design (ICD) der Universität Stuttgart gemeinsam ein Forschungsprojekt durchgeführt. In diesem Projekt wurde eine Struktur auf Basis eines biobasierten Kunststoffs entwickelt, die sich unter Feuchtigkeitseinfluss nach vorausberechneter Art verformt. Hergestellt wurde sie generativ im Strangablegeverfahren. Für die Formänderung ist eine geschichtete Hybridstruktur verantwortlich. Ihr Aufbau erfolgt im generativen Herstellungsprozess durch die Verwen-

dung von zwei Filamenten mit unterschiedlicher Feuchtesensibilität.

### Formänderungsstrukturen mittels Strangablegeverfahren

Das Strangablegeverfahren (Fused Layer Modeling, FLM) gehört zu den additiven Fertigungsverfahren. Bei ihm wird ein Kunststoff filament durch eine schmale Düse extrudiert und dadurch ein Bauteil schichtweise aufgebaut. Dieses Verfahren ermöglicht die Herstellung komplexer Geometrien ohne den Einsatz eines spezifischen Werkzeugs. Häufig verwendete Werkstoffe sind Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) und der biobasierte Kunststoff Polylactid (PLA, Polymilchsäure).

Für die Herstellung von Formänderungsstrukturen im Strangablegeverfahren eignet sich besonders ein Mehrkomponentendruck. Dafür wird ein passives Trägermaterial mit einer aktiven Komponente, die beispielsweise unter Feuchtig-



**Bild 1.** Um die Quellfähigkeit der verwendeten Materialien zu testen, war ein ganz neues Verfahren notwendig (© IKT)

keitseinfluss quillt, kombiniert. Auf diese Weise lässt sich eine Struktur drucken, die sich entsprechend der Unterschiede in den jeweiligen Materialeigenschaften auf eine vorausberechnete Art und Weise verformt. Durch die Anpassung der Ablegepfade während des Drucks können die Biegerichtung, konkrete Winkel und auch die Reaktionszeit der Bauteile kontrolliert angepasst werden.

### Eignen sich Biokunststoffe für Formänderungsstrukturen?

Das Bewusstsein für eine nachhaltige Nutzung der vorhandenen Ressourcen nimmt in letzter Zeit deutlich zu. Eine Möglichkeit dafür könnten biobasierte Kunststoffe sein. Sie bestehen aus nachwachsenden Rohstoffen wie Mais und

Zuckerrohr oder auch aus Agrarabfällen und rücken immer stärker in den Fokus. Um zu untersuchen, ob sie sich auch für Formänderungsstrukturen eignen, konzentrierte sich das Forschungsvorhaben ausschließlich auf die Nutzung von biobasierten Materialien.

Der häufigste und bekannteste Vertreter der Biokunststoffe ist PLA. Er ist nicht nur biobasiert, sondern auch biologisch abbaubar. Dadurch ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten der Entsorgung. Die Polymergruppe der Polyhydroxyalkanoate (PHA) mit ihrem häufigsten Vertreter Polyhydroxybutyrat-co-Valerat (PHBV) ist ebenfalls vollständig biobasiert und zudem sogar in Meerwasser biologisch abbaubar. Das macht sie besonders für Einwegverpackungen, aber auch für Anwendungen im Außenbereich interessant.

Neben bioabbaubaren Kunststoffen sind auch sogenannte Drop-in-Kunststoffe interessant. Darunter fallen konventionelle Kunststoffe, deren Ausgangsstoffe vollständig oder teilweise aus biobasierten Quellen stammen. Sie unterscheiden sich in den Werkstoffeigenschaften nicht oder nur wenig von ihren aus Erdöl hergestellten Pendanten und können daher ohne größere Prozessanpassungen in die Produktion integriert werden. Zwar bieten diese Kunststoffe nicht den Vorteil der biologischen Abbaubarkeit, die Nutzung nachwachsender Rohstoffe für ihre Herstellung erlaubt jedoch einen geschlossenen Lebenszyklus und senkt den Ausstoß von fossilem CO<sub>2</sub>.

Die Compoundierung der gefüllten Formänderungsmaterialien des Projekts erfolgte auf einem Doppelschneckenextruder ZSK26 von Coperion, Stuttgart. Es wurden mit PLA und PHBV zwei vollstän-

dig biobasierte Kunststoffe verwendet. Zum Einsatz kamen darüber hinaus ein teilweise biobasiertes Thermoplastisches Polyurethan (TPU) sowie ein teilweise biobasiertes Polyamid 610 (PA 610) und ein Polyketon (PK) auf Basis des Treibhausgases Kohlenstoffmonoxid. Als quellfähige Füllstoffe wurden Holzmehl, Cellulosepulver und ein natürliches Natriumbentonit untersucht.

### Welche Technik dahintersteckt

Mittels einer Laborextrusionsanlage des Unternehmens Collin, Maitenbeth, wurden Filamente mit einem Durchmesser von 1,75 mm extrudiert. Zur optimalen Verarbeitung auf handelsüblichen Filamentdruckern darf die Abweichung der Filamente von diesem Durchmesser maximal 0,05 mm betragen. Sie sollten idealerweise außerdem exakt rund sein. Das wurde mit einem Zumbach-Odace 15XY-J-Laser-Micrometer und Wire- »

## Die Autoren

**Silvia Kliem, M.Sc.**, ist seit 2017 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Werkstofftechnik am Institut für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart (IKT); [silvia.kliem@ikt.uni-stuttgart.de](mailto:silvia.kliem@ikt.uni-stuttgart.de)

**Prof. Dr. Christian Bonten** ist Leiter des IKT

## Dank

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) innerhalb des Rahmenprogramms Nachwachsende Rohstoffe gefördert. Weiterer Dank gilt dem Institute for Computational Design der Universität Stuttgart sowie Jelu-Werk und Akro-Plastic für die Bereitstellung der Versuchsmaterialien.

## Service

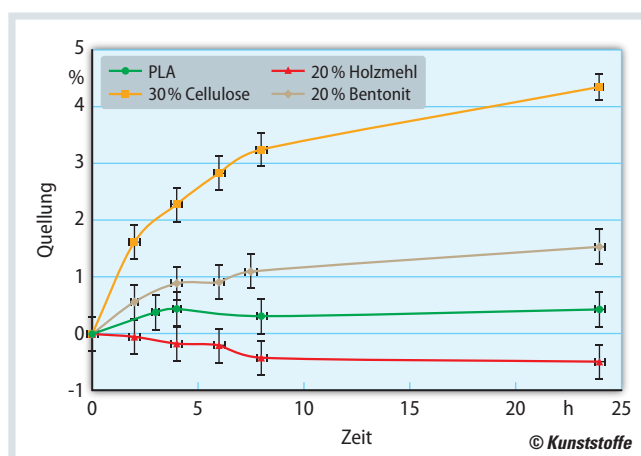
### Literatur & Digitalversion

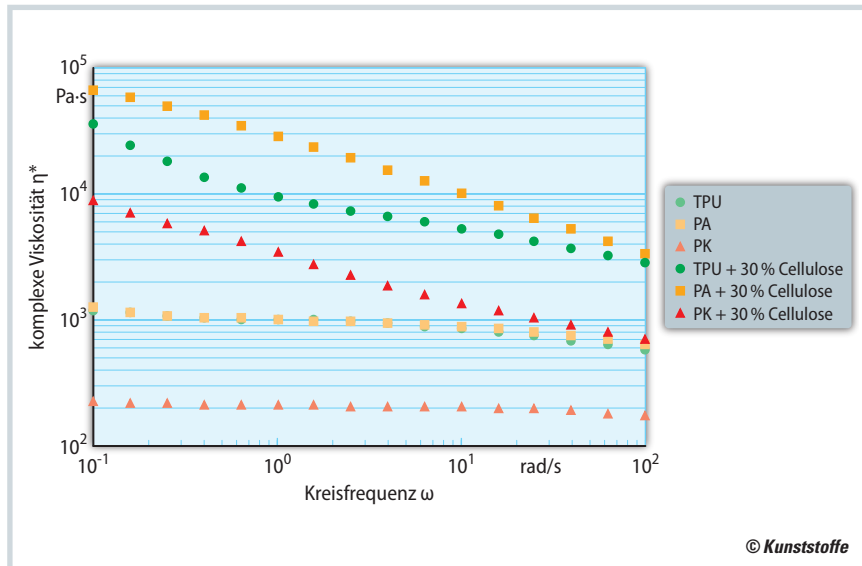
» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2019-11](http://www.kunststoffe.de/2019-11)

### English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)

**Bild 2.** Quellfähigkeit der PLA-Compounds getestet mittels Oberflächen-scans (Quelle IKT)





**Bild 3.** Rheologische Charakterisierung der Matrixmaterialien und Compounds aus der zweiten Produktionsphase (Quelle: IKT)

master von Keyence, Neu-Isenburg, kontinuierlich überprüft. Die rheologischen Eigenschaften der hergestellten Compounds wurden in einem Platte-Platte-Rheometer Discovery HR2 hybrid der Firma TA Instruments, New Castle/UK, bei einer Temperatur von 185 °C untersucht. Dadurch konnten Aussagen über die Extrudierbarkeit der Filamente getroffen werden. Zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften wurden Zugversuche auf einer Universalprüfmaschine von Zwick, Ulm, durchgeführt. Die auf einer Allrounder 520S der Firma Arburg, Loßburg, hergestellten Zugprüfkörper wurden zudem dafür verwendet, Dünnschnitte für die lichtmikroskopische Untersuchung zu fertigen.

Für den Erfolg des Projekts war die Quellfähigkeit des Werkstoffs eine wichtige Kenngröße. Da eine Volumenänderung im Bereich von etwa 1 % erwartet wurde und die gefüllten Filamente teilweise eine poröse Struktur aufwiesen, fielen naheliegende Untersuchungsmethoden wie Dichtebestimmung, Mikroskopie oder die Messung der Gewichtszunahme in Wasser von vornherein weg. Um Rückschlüsse auf die Quellfähigkeit des Materials ziehen zu können, war somit ein eigen entwickeltes Verfahren notwendig.

### Neues Testverfahren entwickelt

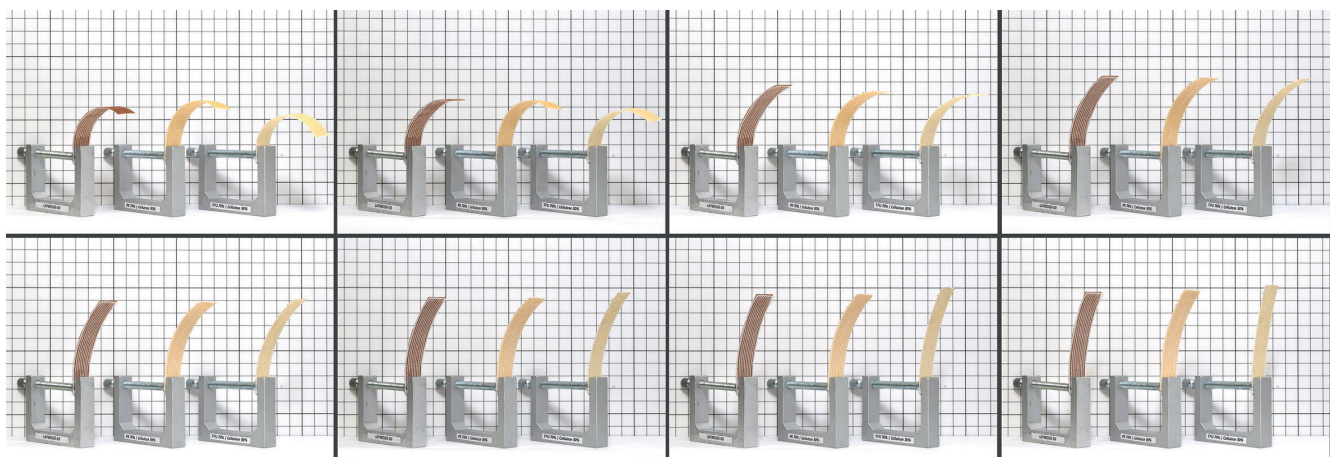
Für dieses werden Granulatkörner auf einen geeigneten Scanaufsatz in Wasser gelegt und in regelmäßigen Abständen

(2, 4, 8 und 24 h) gescannt (**Bild 1**). Durch die Auswertung dieser Flächenscans lässt sich die zweidimensionale Vergrößerung der Projektionsfläche des Granulats bestimmen. Unter der Annahme, dass die Granulatkörner in alle Raumrichtungen gleichmäßig quellen, stellt das eine vereinfachte Betrachtung der Volumenänderung dar.

Die Darstellung der PLA-Compounds in **Bild 2** zeigt, dass Cellulose das größte Quellpotential besitzt. Nach 24 h kommt es zu einer Flächenzunahme von über 4 %. Im Gegensatz dazu erhöht sich das Volumen bei Holzmehl praktisch nicht. Holzmehl stellt bei PLA somit keinen quellbaren Füllstoff dar. Bentonit hingegen erreicht eine Volumenzunahme von etwa 1,5 % in 24 h. Die Basislinie des reinen PLA liegt im Bereich der Messungenauigkeit. Es ist daher davon auszugehen, dass PLA nicht mit einer Formänderung auf die Wasseraufnahme reagiert. Das ist eine wichtige Erkenntnis, da PLA in den Druckbarkeitstests als passives Trägermaterial für die aktiven quellbaren Filamente verwendet wird.

### Erfolgreiche Formänderung

Anhand der gedruckten Bauteile zeigt sich jedoch, dass die für die Formänderung notwendigen mechanischen Kräfte nicht ausreichen, um die sehr spröden und steifen Biokunststoffe PLA und PHBV zu verformen. Deshalb suchten die Forscher nach biobasierten Alternativen mit einer höheren Dehnfähigkeit, die gegenwärtig bereits im Strangablegeverfahren verwendet werden. Als mögliche Matrixmaterialien kamen PA 610, PK und TPU infrage. In der



**Bild 4.** Formänderung der Filamente aus der zweiten Produktionsphase (v.l.n.r.: WPC, PK + 30 % Cellulose, TPU + 30 % Cellulose) im Übergang von feucht (oben links) zu trocken (unten rechts), aufgenommen im Abstand von 10 min (© ICD, Universität Stuttgart)

