

# Trocknungsmythen entzaubert

## Werkstoffschonendes und effizientes Trocknen feuchteempfindlicher Kunststoffe

Wenn Kunststoffe unzureichend oder falsch getrocknet werden, kommt es in der Verarbeitung zu Problemen und Ausschuss. Wie viel Feuchte Kunststoffe aufnehmen können und wie schnell sie sich trocknen lassen, ist sehr unterschiedlich. Untersuchungen von PA6, PET, PLA und PHB helfen, den Einfluss von Werkstoffeigenschaften sowie der Trocknungsparameter auf die Trocknungsgeschwindigkeit zu verstehen.

Sieht man ihm von außen nicht an: Wie viel Feuchte Kunststoffgranulat aufnimmt und wie lange es getrocknet werden muss, ist oftmals nicht ausreichend bekannt (© IKT)



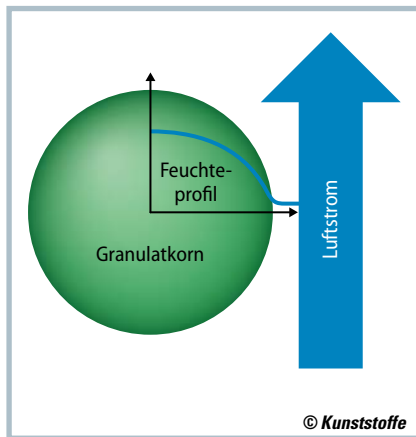
Die Trocknung von Kunststoffen vor der Verarbeitung im Spritzgieß- oder Extrusionsprozess ist eine tägliche Aufgabe in kunststoffverarbeitenden Betrieben weltweit und umso wichtiger, je höher die Qualitätsansprüche an das Produkt sind. Unzureichendes Trocknen führt sowohl zu Schwierigkeiten bei der Prozessführung während der Verarbeitung als auch zu Qualitätseinbußen und Mängeln am fertigen Produkt. Es kann sich Schaum bilden und Oberflächendefekte wie Schlieren oder Glanzverlust können entstehen sowie mechanische Schwachstellen durch Blasen, Lunker oder Bindenähte

auftreten [1]. Dennoch gilt die detaillierte Beschäftigung mit den Vorgängen beim Trocknen und damit, wie sie sich steuern lassen, eher als Randthema, sodass nur wenige systematische Untersuchungen existieren.

### Trocknen in Theorie und Praxis

Heutzutage werden in Westeuropa und Nordamerika überwiegend sog. Trockenlufttrockner eingesetzt, die mit einem entfeuchteten Warmluftstrom arbeiten [2]. Das Konzentrationsgefälle der Feuchte vom Granulat hin zur Trockenluft be-

wirkt einen Ausgleichsvorgang, sodass die Feuchte an die Kornoberfläche dringt, wo sie der Luftstrom abtransportiert (Bild 1). Die Erwärmung beschleunigt diesen Vorgang. Die zum Trocknen notwendige Zeitdauer hängt dabei von den Eigenschaften des Kunststoffs sowie von der Beladungsfeuchte, den Umgebungsbedingungen und den Trocknereinstellungen ab. Dies macht das Anwenden von pauschalen Datenblattempfehlungen – wie oftmals „4 Stunden bei 80 °C für Polyamide“ – oder Tabellenwerken problematisch. Denn die dort aufgeführten Zeiten und Temperaturen beziehen sich

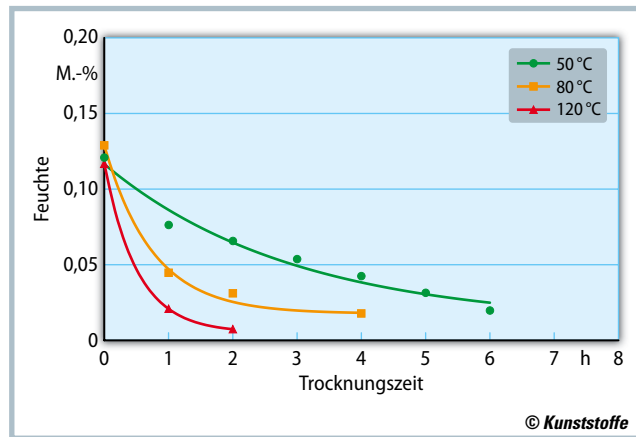


**Bild 1.** Auswirkung des Trocknens: Vom Korninnern zum Luftstrom stellt sich ein Konzentrationsgefälle der Feuchte ein (Quelle: IKT)

meist auf den Anlieferungszustand des Kunststoffs, ohne aktuelle Außenbedingungen und andere Einflüsse zu berücksichtigen wie die Lagerung des Granulats.

Unter realen Produktionsbedingungen kommt es allerdings häufig zu einer zusätzlichen Feuchteaufnahme aufgrund zu langer Lagerung und Kontakt des Kunststoffs mit der Umgebungsluft. Die erforderliche Dauer für das Trocknen kann dann erheblich von den Datenblattangaben abweichen. Ab einer Feuchte von 0,2% sind typische Trocknungsdauern von 4 bis 8 h für z. B. Polyamid 6 nicht mehr ausreichend, um Restfeuchten von unter 1000 ppm zu erzielen. Daher kommt es bei Verarbeitern in den Sommermonaten oftmals vermehrt zu Ausschuss, wenn die Kunststoffe trotz abweichender Außentemperaturen und Luftfeuchten ganzjährig gleich getrocknet werden.

Vor allem für thermisch sensitive Kunststoffe, insbesondere Biokunststoffe, wird oftmals empfohlen, sie bei möglichst geringen Temperaturen zu trocknen [3]. Dies führt allerdings dazu, dass die Trocknungsdauer ansteigt und der Kunststoff der Wärmebelastung eine längere Zeit ausgesetzt ist. Ob Temperatur oder Zeit sich stärker auf die Eigenschaften des Kunststoffs auswirken, ist bislang kaum untersucht. Zu bedenken ist auch, dass das Trocknen einen wesentlichen Kostenfaktor darstellt, der bei Produktionsprozessen ca. 15% des Gesamtenergieverbrauchs erreichen kann [4], sodass unnötig lange Trocknungszeiten eine wirtschaftliche Belastung darstellen, falls die längere Dauer nicht durch etwaige Einsparun-



**Bild 2.** PET: Trocknungsverlauf für verschiedene Trocknungstemperaturen (Quelle: IKT)

gen bei der Heizleistung kompensiert werden kann.

### Konditioniert und getrocknet

Am Institut für Kunststofftechnik (IKT) der Universität Stuttgart wurden systematische Untersuchungen durchgeführt, um den Einfluss der Werkstoffeigenschaften sowie der Trocknungsparameter auf die Trocknungsgeschwindigkeit besser zu verstehen. Als Proben dienten die Werkstoffe PA6 (Ultramid B40, Hersteller: BASF SE, Ludwigshafen), PET (Novapet CR, Hersteller: Grupo Samca, Saragossa/Spanien), PLA (Ingeo 4032D, Hersteller: NatureWorks LLC, Minnetonka/USA) und PHB (Enmat Y1000, Hersteller: TianAn Biologic Materials, Ningbo/China), sodass sowohl Kunststoffe mit einer hohen industriellen Relevanz als auch thermisch sensitive Biokunststoffe in der Auswahl vertreten waren.

Alle Werkstoffe wurden zunächst in einem Klimaschrank bei 23°C und 86% Luftfeuchte konditioniert, sodass sich, je nach Kunststoff, ein Feuchtegehalt zwischen 0,15 M.-% (PET) und 0,50 M.-% (PA6) einstellte. Dies entspricht in etwa der Feuchteaufnahme, die nach 24 h in einem Normklima (23°C, 50% Luftfeuchte) eintritt. Die Granulate wurden unter verschiedenen Einstellungen in einem Trockenlufttrockner (Typ: DR 205 HT) der Bierther GmbH, Bad Kreuznach, auf eine Zielfeuchte von 0,1 M.-% getrocknet, was in der Praxis für viele Kunststoffe die obere Grenze für die Verarbeitbarkeit darstellt. Da für PET meist sehr geringe zulässige Feuchten gelten, wurde hier abweichend eine Zielfeuchte von 0,02 M.-% gewählt. Während des Trocknens wurden regelmäßige Probemengen entnommen und die Feuchte gemessen. Die getrock-

neten Chargen wurden anschließend hinsichtlich ihrer Werkstoffeigenschaften mit der Sackware verglichen.

### Besonderheiten von PA6

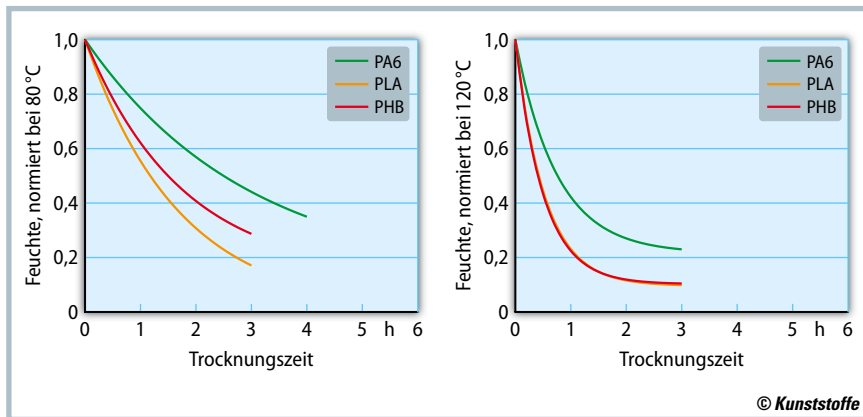
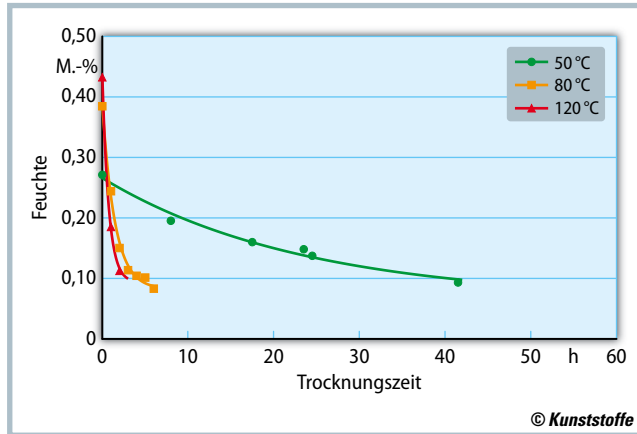
Wie zu erwarten, zeigen die Ergebnisse einen deutlichen Einfluss der Temperatur auf die Trocknungsgeschwindigkeit. Dabei scheint der Einfluss gleichmäßig zu sein, wie in Bild 2 am Beispiel von PET zu sehen ist: Mit steigender Temperatur verschiebt sich die Lage der Trocknungsverlaufskurve nach links unten hin zu schnelleren Geschwindigkeiten. Dieser Umstand ist nicht weiter überraschend, da bei höheren Temperaturen die Wassermoleküle schneller diffundieren.

Allerdings ergibt sich nicht für alle Kunststoffe ein einheitliches Verhalten: PA6 trocknet bei 50°C wesentlich langsamer als in den Messreihen mit höheren Temperaturen (Bild 3). Ursache für dieses Verhalten ist, dass Feuchte sich in teilkristallinen Kunststoffen nur in den amorphen Bereichen einlagert, die jedoch unterhalb der Glasübergangstemperatur (56°C für diese PA6-Typen) eingefroren sind. Dass ein solches Phänomen nur bei PA6 auftritt, lässt sich darauf zurückführen, dass PA6 generell vergleichsweise langsam trocknet und die Beweglichkeit der amorphen Bereiche sich daher stark auswirkt.

### Unterschiede beim Trocknen

Um die Werkstoffe direkt miteinander vergleichen zu können, wurden die Feuchten auf ihren Ausgangswert normiert und die Trocknungskurven für 80°C in einem gemeinsamen Diagramm aufgetragen (Bild 4; außer PET, da es auf »

**Bild 3.** PA6: Das Trocknen erfordert unterhalb der Glasübergangstemperatur deutlich mehr Zeit (Quelle: IKT)



**Bild 4.** Normierte Ausgangsfeuchte: Die auf identische (absolute) Zielfeuchten getrockneten Kunststoffe im Vergleich bei einer Trocknungstemperatur von 80 °C (links) und von 120 °C (rechts) (Quelle: IKT)

eine geringere Zielfeuchte getrocknet wurde, was den Vergleich verzerrt hätte). Es ist deutlich zu sehen, dass PA6 wesentlich langsamer trocknet als PLA und PHB.

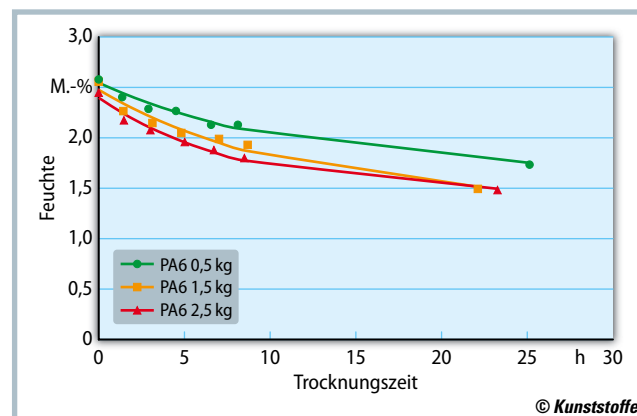
Dass PHB und insbesondere PLA im Vergleich zu PA6 schneller trocknen, lässt sich mit ihrer chemischen Struktur erklären, da sie eine hydrophobe Methylgruppe als Seitenkette an der Hauptkette aufweisen, während PA6 und PET über keine solchen Seitengruppen verfügen. Beim Schritt von 80 auf 120 °C nähern sich die

Verlaufskurven der beiden Biokunststoffe an: Während sich PLA bei 80 °C insgesamt schneller trocknen lässt als PHB (Bild 4 links), ist bei 120 °C kein signifikanter Unterschied zwischen beiden festzustellen (Bild 4 rechts). Erklären lässt sich dies mit der Kristallinität der Werkstoffe. DSC-Messungen (Dynamic Scanning Calorimetry, Dynamische Differenzkalorimetrie) am IKT zeigen, dass das verwendete PLA grundsätzlich einen geringeren Kristallinitätsgrad aufweist als das PHB. Dies macht die schnellere Trocknung von PLA bei 80 °C verständlich, da kristalline Bereiche die Feuchteabgabe erschweren. Nach Angaben des Herstellers kommt es aber bei PLA bei einer Temperatur von 120 °C schnell zu einer starken Nachkristallisation, was die Annäherung beider Biokunststoffe bei dieser Temperatur erklärt.

Neben der Temperatur stellt die Trocknungsmasse einen wesentlichen Einflussfaktor dar. So ließen sich größere Massen schneller trocknen als kleine (siehe Bild 5 für PA6). Ausschlaggebend sind hierfür zwei Gründe. Zum einen befindet sich ein Teil des Granulats gerätebedingt unterhalb des Lufteinlasses und wird daher nicht direkt umströmt, sodass es schlechter trocknet. Je weniger Material sich im Trockner befindet, umso größer ist der Anteil des Granulats in diesem Totraum. Zum anderen werden die Luftströme von den Herstellern üblicherweise auf Vollbefüllung ausgelegt. Wird der Trockner nicht voll befüllt, so verändert sich die mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Luft und der Stoffübergang der Feuchte in die Trockenluft verschlechtert sich.

### Temperatur erhöhen, Dauer senken

Um beurteilen zu können, wie das Trocknen die Kunststoffeigenschaften beein-



**Bild 5.** Feuchteverlauf: Größere Werkstoffmassen (hier am Beispiel von PA6) ließen sich schneller trocknen (Quelle: IKT)

## Die Autoren

**Dipl.-Wirt.-Ing. Oliver Kast** ist seit 2012 Mitarbeiter am Institut für Kunststofftechnik (IKT) und seit 2017 Leiter der Abteilung Verarbeitungstechnik; [oliver.kast@ikt.uni-stuttgart.de](mailto:oliver.kast@ikt.uni-stuttgart.de)

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Bonten** ist Leiter des IKT an der Universität Stuttgart.

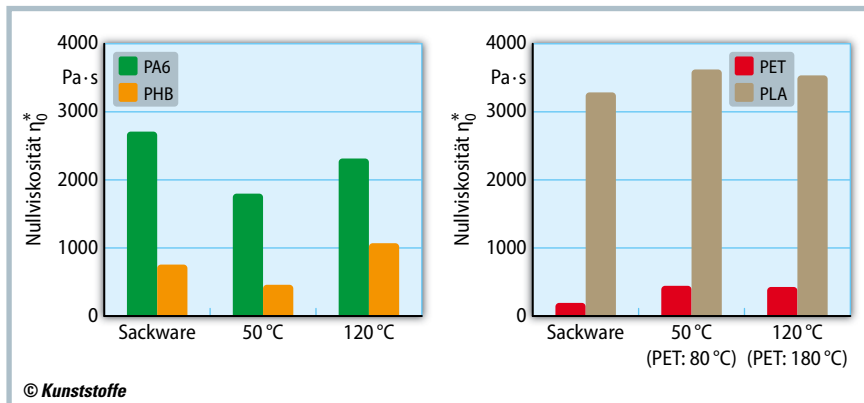
## Service

### Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/4356473](http://www.kunststoffe.de/4356473)

### 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 6.** Nullviskositäten vor dem Trocknen und danach: links PA6 und PHB mit 50°C und 120°C Trocknungstemperaturen; rechts PET und PLA mit den angegebenen Trocknungstemperaturen (Quelle: IKT)

flusst, wurden die getrockneten Proben auf ihre viskosen Eigenschaften hin untersucht. Ein Rückgang der Nullviskosität deutet dabei auf eine Abnahme der mittleren Molmasse durch das Trocknen und somit auf einen unerwünschten Polymerkettenabbau hin. Hierbei ließen sich deutliche Unterschiede zwischen den Werkstoffen, aber auch zwischen der Art und Dauer der Trocknung feststellen.

Der Vergleich der Nullviskositäten von getrockneten PA6- und PHB-Proben und un behandelter Sackware zeigt, dass der Rückgang für 50°C Trocknungstemperatur in den meisten Fällen deutlicher ausgeprägt ist als der für 120°C (Bild 6 links). Somit lässt sich schlussfolgern, dass eine lange Trocknungsdauer bei geringer Temperatur schädlicher für den Kunststoff ist als kurzes Trocknen bei hoher Temperatur. Dies steht häufigen Empfehlungen entgegen, bei geringerer Temperatur zu trocknen, weil dies schonender sei. Stattdessen können hohe Temperaturen durchaus in Kauf genommen werden, wenn das Material ihnen nur kurz ausgesetzt ist.

Für PLA und PET ergaben sich hingegen nach dem Trocknen sogar höhere Nullviskositäten als davor (Bild 6 rechts). Dies liegt daran, dass die Proben weniger Feuchte enthielten als die Sackware und es zu einer Nachkondensation und somit einem Polymerkettenwachstum kommen konnte. Dennoch ist es auch in diesem Fall zu befürworten, bei hoher Temperatur zu trocknen: Sowohl für PET als auch PLA sind zwischen der längeren Dauer bei 50°C und der kürzeren bei 120°C keine Unterschiede in der Nullviskosität zu erkennen, sodass es aus Gründen der Zeiteffizienz zu emp-

fehlen ist, bei höherer Temperatur zu trocknen.

Auch erfordert eine kürzere Trocknungsdauer für die gemessenen Kunststoffe meist weniger Energie zum Trocknen, und das, obwohl eine höhere Heizleistung nötig ist, um die höhere Trocknungstemperatur zu erreichen. Bild 7 zeigt den Energiebedarf je Temperatur, um 1 kg Granulat von 0,2 auf 0,1 M.-% Feuchte zu trocknen. Aufgrund der kürzeren Trocknungszeit sinkt der Energiebedarf mit steigender Temperatur; lediglich bei PA6 kommt es zwischen 80 und 120°C zu keiner weiteren Reduktion.

### Empfehlungen für die Praxis

Anhand der Ergebnisse lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

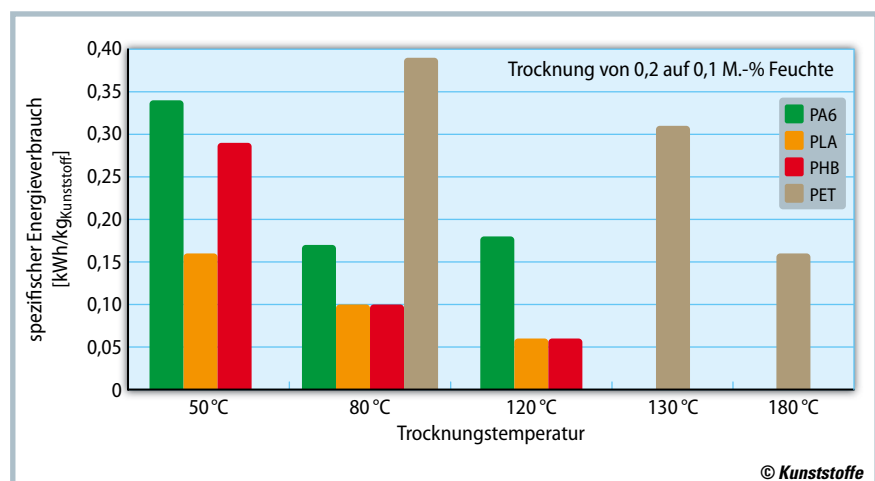
- Eine untere Grenze für die Wahl der Trocknungstemperatur stellt der Glasübergang dar, da manche Kunststoffe

unterhalb dieser Temperatur viel langsamer trocknen, weil amorphe Bereiche einfrieren.

- Sowohl für konventionelle Kunststoffe als auch Biokunststoffe sind beim Trocknen höhere Temperaturen vorzuziehen. So trocknen die Werkstoffe schneller und erleiden – entgegen häufiger Annahmen – keine stärkeren Schädigungen als durch längeres Trocknen auf niedrigerem Temperaturniveau.
- Allerdings ist auch die Temperaturobergrenze mit Bedacht zu wählen, denn eine Nachkristallisation des Kunststoffs kann die Effizienz der Trocknung beeinträchtigen.

Grundsätzlich ist zu beachten, wie schnell ein Kunststoff Feuchtigkeit abgeben kann: So trocknet PA6 grundsätzlich wesentlich langsamer als die übrigen betrachteten Werkstoffe, da es keinerlei hydrophobe Seitenketten aufweist. PLA und PHB hingegen verfügen über eine Methylgruppe, die durch ihre räumliche Nähe zur wasseranlagernden Estergruppe die Trocknung begünstigt.

Um korrekt einschätzen zu können, wie hoch der Zeitbedarf zum Trocknen ist, sollten Verarbeiter die tatsächliche Feuchte des Materials kennen. Dabei wird oftmals unterschätzt, wie sehr schon eine geringfügig höhere Feuchte die Zeitdauer für das Trocknen verlängert. Granulate permeationsdicht zu lagern und die Luftfeuchtigkeit in der Halle zu überwachen, kann die Feuchteaufnahme vor der Verarbeitung begrenzen und hilft, unnötig lange Trocknungszeiten oder Ausschuss durch zu hohe Feuchte zu vermeiden. ■



**Bild 7.** Der spezifische Energieverbrauch des Trockners sinkt bei höheren Temperaturen durch die Zeitersparnis (Quelle: IKT)