

Mit geringerem CO₂-Fußabdruck servieren

Polypropylen-Integralschaum ersetzt ABS

Gewichts- und Kosteneinsparungen sind in der Luftfahrt stark gefordert. Das gilt nicht nur für verbaute Komponenten, sondern auch für Nutzgegenstände wie Tablett. Eine Möglichkeit, das Gewicht zu reduzieren, stellen Polymerschäume dar. Allerdings lässt bei ihnen oft die Oberflächengüte zu wünschen übrig. Mit den richtigen Anpassungen können jedoch hochwertige Oberflächen erzeugt und auch noch die Ökobilanz deutlich verbessert werden.



Die Tablett der Lufthansa bestehen gegenwärtig aus ABS. Durch ein geschäumtes PP-Compound können die Kosten verringert und die Ökobilanz verbessert werden © Lufthansa

Um Bauteilgewicht und Materialkosten zu reduzieren, hat der Leichtbau in den letzten Jahren im Mobilitätssektor, insbesondere in der Luftfahrt, noch einmal an Bedeutung gewonnen. Durch geringeres Gewicht sinkt auch der Kraftstoffverbrauch deutlich. Häufig werden für den Leichtbau Kunststoffschäume und geschäumte Sandwichbauteile verwendet. Mit der Erweiterung der Einsatzgebiete steigen auch die Anforderungen an polymere Schaumstoffe. Reine, ungefüllte Standardkunststoffe wie Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP) sind sehr leicht, erfüllen oft aber nicht die Anforderungen an Steifigkeit oder Wärmeformbeständigkeit technischer Bauteile. Daher werden häufig mit Füllstoffen verstärkte Kunststoffe mit erhöhten mechanischen

Eigenschaften eingesetzt. Deutlich wichtiger ist in letzter Zeit außerdem die Umweltbilanz von Produkten geworden. Im Hinblick auf die Kunststoffverarbeitung spielt dabei vor allem die Umweltbelastung durch die Produktion und Entsorgung erdölbasierter Polymere eine große Rolle.

Beiden Aspekten wurden im Projekt „FoamLite“ Rechnung getragen. Ziel war die Substitution eines Tablett für das Luftfahrtcatering, das bisher aus Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) im Kompaktspritzgießverfahren produziert wurde. Die CompriseTec GmbH, Hamburg, hat dafür in Zusammenarbeit mit der Abteilung Polymer Engineering der TuTech Innovation GmbH und der Lufthansa-Tochter Spiriant GmbH, Neu-Isenburg, Tablett

entwickelt, die die Stärken schaumspitzgegossener sowie hochgefüllter Thermoplast-Bauteile verbinden (**Bild 1**). Der Einsatz teilbiobasierter Thermoplaste, in Form von Bio-PE+PP-Blends, wurde im Rahmen der Entwicklung ebenfalls betrachtet. Gefördert wurde das Projekt von der Hamburgischen Investitions- und Förderbank (IFB Hamburg).

Bisher bestehen in Flugzeugen eingesetzte Tablett aus einem kompakten, ungefüllten thermoplastischen Kunststoff, meist ABS, Styrol-Acrylnitril (SAN), Polyamid (PA) oder Polysulfon (PSU). Sie sollen möglichst wenig Stauraum einnehmen und ein geringes Gewicht bei ausreichend hoher Biegesteifigkeit aufweisen und müssen hohe Anforderungen an Oberflächengüte, Farbe und Spülmaschi-



Bild 1. Das im FoamLite-Projekt hergestellte Tablett besteht aus einem geschäumten PP-Compound © CompriseTec

nen- sowie Fleckenbeständigkeit erfüllen. Durch Schaumspritzgießen hergestellte Bauteile sind bislang nicht im Luftfahrt-Catering vertreten. Im Projekt „FoamLite“ wurde somit erstmalig ein entsprechendes Leichtbau-Mehrweg-Tablett bis hin zur Serienreife entwickelt.

ABS weist im Vergleich zu PP vorteilhafte mechanische Eigenschaften auf, jedoch auch ein mehr als doppelt so hohes CO₂-Äquivalent. Durch den Einsatz mineralischer Füllstoffe in hohen Füllgraden kann der Polymerbedarf um ungefähr 30 Gew.-% verringert werden. Das reduziert bereits den CO₂-Verbrauch für das Tablett und sorgt außerdem für eine erhebliche Kostenersparnis beim Material, da Füllstoffe in der Regel preiswerter sind als die Polymermatrix.

Nur im Inneren geschäumte Bauteile

Naturgemäß erhöht sich durch den Einsatz von Füllstoffen allerdings die Dichte und damit das Gewicht erheblich. Im Luftfahrtsegment führt ein höheres Gewicht direkt zu einem steigenden Kerosinverbrauch und somit höheren CO₂-Emissionen. Umgehen lässt sich dieses Problem durch Schäumen, da dadurch sowohl das Bauteilgewicht als auch der Materialbedarf sinken. Jedoch sind die Oberflächeneigenschaften von Schaumstoffen für viele Anwendungen hinsichtlich Optik und Mechanik nicht ausreichend. Bei Sandwich-Bauteilen ergibt sich außerdem ein erhöhter Fertigungsaufwand. Im Thermoplast-Schaumspritzgießen lassen sich sogenannte Integralschäume herstellen, in denen sich eine

kompakte Deckschicht ausbildet und die Schaumzellen hauptsächlich im Kern des Bauteils konzentriert vorliegen (Bild 2). Die kompakte ungeschäumte Deckschicht sorgt dafür, dass trotz geschäumtem Kern die hohe Biegesteifigkeit des Bauteils erhalten bleibt.

Zur Verbesserung der Ökobilanz bietet sich insbesondere das Verschäumen von Thermoplasten mit geringem CO₂-Äquivalent wie PP an [1]. Ein Verlust an Steifigkeit und Festigkeit durch das Schäumen kann durch ausgewählte Füllstoffe kompensiert werden. Je höher der Füllstoffanteil in der kompakten Randschicht ist, desto höher ist die Zunahme der Biegesteifigkeit und -festigkeit sowie der Abrieb- und Kratzfestigkeit. Dadurch verlängert sich die Lebensdauer der Produkte. Das trägt signifikant zur Kostenersparnis und zur Ressourcenschonung bei.

Außer einer hohen Chemikalienbeständigkeit, einem geringen CO₂-Äquiva-

lent und Preisniveau bietet PP außerdem eine gute Verschäumbarkeit. Geschäumte PP-Formteile (expandiertes PP, EPP) sind sehr leicht, recyclingfähig und bis 130 °C temperaturbeständig. Sie kommen bereits in Verpackungen, als Dämpfungselemente oder als Formteile zum Einsatz. EPP wird gegenwärtig serienmäßig für Türverkleidungen oder Konsolen verwendet. Weit verbreitet ist auch das Schäumen anderer Standardkunststoffe, beispielsweise von Polystyrol (PS), das vor allem als Dämmstoff verwendet wird.

Integralschäume mit TSG fertigen

Im Projekt FoamLite wurde zum Verschäumen das Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG) eingesetzt. Mit TSG lassen sich Integralschäume verschiedener Form und Größe fertigen. Um den Thermoplast zu Verschäumen setzt man bei diesem Verfahren der Schmelze ein chemisches Treibmittel oder alternativ ein physikalisches Treibmittel, etwa Stickstoff, bei. Das gasbeladene Polymer wird je nach Bauteilgeometrie entweder im Niederdruck- oder im Hochdruckverfahren in die Kavität des Spritzgießwerkzeugs eingefüllt (Bild 3). Beim Niederdruckverfahren wird nur ein reduziertes Schmelzevolumen eingespritzt. Da in der Kavität kein Innendruck anliegt, kommt es nach Verlassen der Düse zu einem schnellen Druckabfall, was zur Übersättigung der Schmelze mit Treibmittel führt. Durch Zellnukleierung und -wachstum schäumt die Schmelze auf und füllt die gesamte Kavität aus. Beim Hochdruckverfahren wird die Kavität zunächst vollständig gefüllt. Die Expansion der Schmelze erfolgt durch Öffnen des Werkzeugs („At- ➤

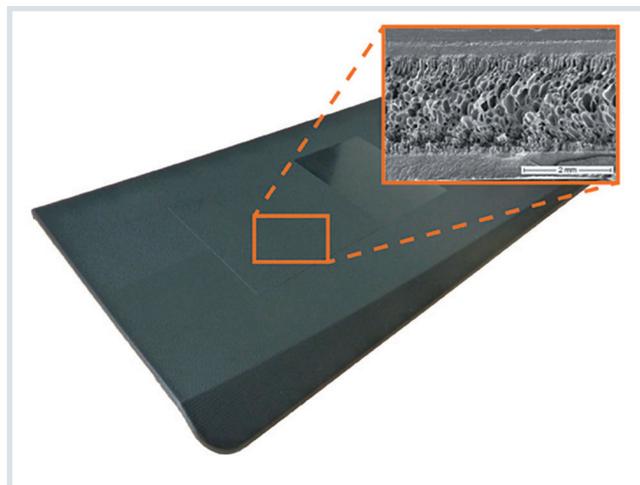


Bild 2. Bei Integralschäumen entstehen die Schaumzellen im Inneren des Bauteils, während die äußere Deckschicht nicht aufgeschäumt wird. Das sorgt für eine höhere Oberflächengüte © Neue Materialien Bayreuth

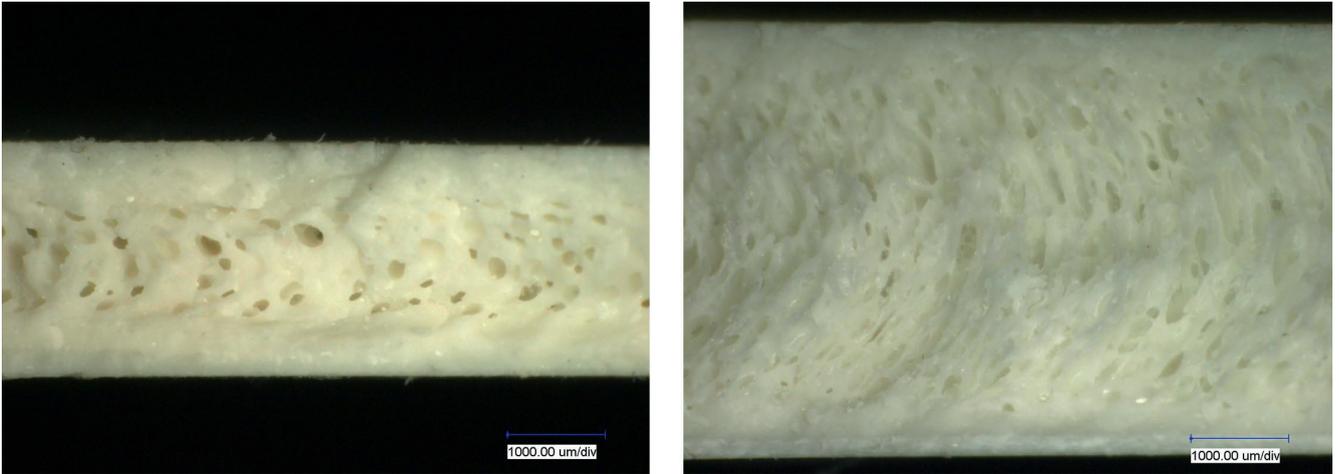


Bild 3. Vergleich einer im Niederdruck- und einer im Hochdruck-Schaumspritzgießverfahren (rechts) hergestellten Platte aus einem PP-Compound

© CompriseTec, TuTech Innovation Polymer Engineering

men“). Dadurch kann das Treibmittel die Schmelze in der noch flüssigen Kernzone aufschäumen, während die Randschichten bereits abgekühlt sind. Auf diese Weise lässt sich eine Dichtereduktion von bis zu 70 Gew.-% erreichen.

Optisch ansprechende Oberflächen durch Schaumspritzgießen herzustellen, ist eine große Herausforderung. Das liegt insbesondere an den sogenannten Silberschlieren, die durch an der Werkzeugwand erstarrte und abgescherte Gasbläschen entstehen. Zur Kaschierung werden

zumeist ausgeprägte Oberflächenstrukturierungen eingesetzt. Eine technische Möglichkeit zur Vermeidung von Schlieren an der Bauteiloberfläche ist das Gasgedrucktverfahren (GGD). Bei diesem wird die leere Kavität mit Stickstoff oder Druckluft gefüllt, um ein frühzeitiges Aufschäumen an der Schmelzefront zu verhindern. Jedoch ist dieses Verfahren nicht für beliebige Bauteilgeometrien geeignet und erfordert eine kostenintensive Anlagen- und Werkzeugtechnik mit Tauchkante.

Eine Alternative stellt die Verwendung eines variotherm temperierten Werkzeugs dar. Dabei wird die Kavität vor dem Einspritzen beheizt und die Schmelze verbleibt während des Füllvorgangs an der Werkzeugwand im flüssigen Zustand. Für das FoamLite-Projekt wurde das Hochdruckschaumspritzgießverfahren mit variothermer Temperierung genutzt, um Integralschäume mit hochwertigen glatten Oberflächen zu erzielen. Das entwickelte „FoamLite Slimtray“ wurde im Technikum von CompriseTec in Hamburg auf einer Spritzgießmaschine vom Typ Engel Victory 750/160 tech mittels eines von CompriseTec konstruierten Werkzeugs und unter Verwendung einer variothermen Werkzeugtemperierung (erreicht mit der Umschalteneinheit Vario 5 von HB-Therm) gefertigt.

Bei der Compoundierung werden die Eigenschaften des Basispolymers durch gezielte Zugabe von Füllstoffen oder Verstärkungsstoffen wie Talkum oder Glasfasern eingestellt. Unterschieden wird dabei zwischen einfachen Füllstoffen zur Kostenreduktion und Verstärkungs-

Funktionsstoffen, die die mechanischen oder thermischen Eigenschaften des Ausgangspolymeren verbessern. Die Viskosität und somit die Verarbeitbarkeit der gefüllten Schmelze hängt von der Konzentration, der Partikelform und -größe, deren Größenverteilung, sowie der Schergeschwindigkeit und den Wechselwirkungen zwischen den Partikeln untereinander ab [2]. Zudem ist die Fließfähigkeit der Schmelze auch eine Voraussetzung, um den Compound erfolgreich verschäumen zu können.

Wie Füllstoffe das Schäumen verändern

Bis dato werden Füllstoffe primär in geringen Mengen als Nukleierungsmittel dem zu verschäumenden Polymer zugesetzt, um möglichst feinzellige Schaumstrukturen zu erzielen. Die Verschäumbarkeit von mit höheren Füllgraden an Verstärkungsstoffen modifizierten Compounds ist in der Literatur weitgehend unbeschrieben und wurde im Projekt „FoamLite“ systematisch betrachtet. Dabei stand insbesondere die Untersuchung im Vordergrund, ab welchem Füllstoffgehalt keine Schaumstruktur mit hoher Qualität mehr ausgebildet werden kann und welchen positiven Einfluss verschiedene Füllstoffkombinationen und Partikelgrößen auf die Morphologie sowie die Füllstoffverteilung im Bauteil haben.

Als Füllstoffe verwendet wurden feinkörnige Nukleierungsmittel sowie mineralische Verstärkungsstoffe. Es ist darauf zu achten, dass Partikelgröße bzw. Aspektverhältnis und gewünschte Schaummorphologie aufeinander abgestimmt

Die Autoren

Dipl.-Ing. Simon Kayser ist Leiter für Materialentwicklung und Analytik bei CompriseTec und leitete das Projekt FoamLite; info@comprisetec.de

Prof. Dr. Volker Altstädt leitet den Lehrstuhl für Polymere Werkstoffe an der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften der Universität Bayreuth und außerdem die Abteilung Polymer Engineering von TuTech Innovation; altstaedt@uni-bayreuth.de

Dr. Christian-André Keun ist Gründer und Geschäftsführer von CompriseTec; info@comprisetec.de

Service

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-04

sind, um eine hohe Verstärkungswirkung zu erzeugen. Die finale Formulierung aus Basispolymeren, Nukleierungsmitteln, Verstärkungsstoffen, Treibmitteln und Farbpigmenten wurde anhand ausführlicher Testreihen festgelegt, mittels mechanischer, thermischer und chemischer Analyse charakterisiert und auf das Einsatzgebiet abgestimmt.

Erwartungsgemäß zeigte sich, dass Partikel mit höherem Aspektverhältnis zu einem höheren Biegemodul bei Bauteilen führen, im Vergleich zu modifizierten geschäumten Formteilen mit gleichem Gewichtsanteil an Partikeln mit geringem Aspektverhältnis. Eine geschlossenzellige Schaumstruktur mit kompakten Deckschichten trägt dabei nicht nur zu verbesserten mechanischen Eigenschaften bei, sondern führt zusätzlich zu einer geringen Wasseraufnahme von unter 0,2 % (nach acht Tagen in Anlehnung an DIN EN ISO 62). Die entwickelten Tablett sind selbst bei Temperaturen von über 120 °C formbeständig.

Dichte der Bauteile um 40 % verringern

Durch das Hochdruck-Schaumspritzgießen konnte die Dichte der gefüllten Bauteile um ca. 40 % auf 0,6 bis 0,7 g/cm³ bei einer Wanddicke von 4,0 mm reduziert werden. Für teilbiobasierte PE+PP-Blends (biobasierter Anteil ca. 30 %) mit analoger Partikelmodifikation ließ sich die Dichte auf ca. 0,8 bis 0,9 g/cm³ bei einer Wanddicke von 3,0 mm reduzieren. Auch in diesem Fall mit klar erkennbarer Integralschaumstruktur. Die Optimierung der Oberflächengüte mittels variothermer Werkzeugtemperierung geht mit einem leichten Anstieg der Dichte einher.

Für hochwertige wiederverwendete Produkte können neben den Standardkunststoffen auf fossiler Rohstoffbasis auch verstärkt Standardthermoplaste auf erneuerbarer Rohstoffbasis eingesetzt werden. Bio-PE wird beispielsweise auf Basis von Zuckerrohr hergestellt und kann als sogenannte Drop-In-Lösung verwendet werden. Es wird bereits industriell in großen Mengen hergestellt. Das Unternehmen Braskem, São Paulo/Brasilien, vertreibt z.B. unter dem Markennamen „I'm green“ ein aus Bioethanol hergestelltes Bio-PE [3]. Jedoch liegen bis dato die Marktpreise, auch aufgrund geringerer Produktionskapazitäten, noch auf sehr hohem Niveau. Der Einsatz biobasierter

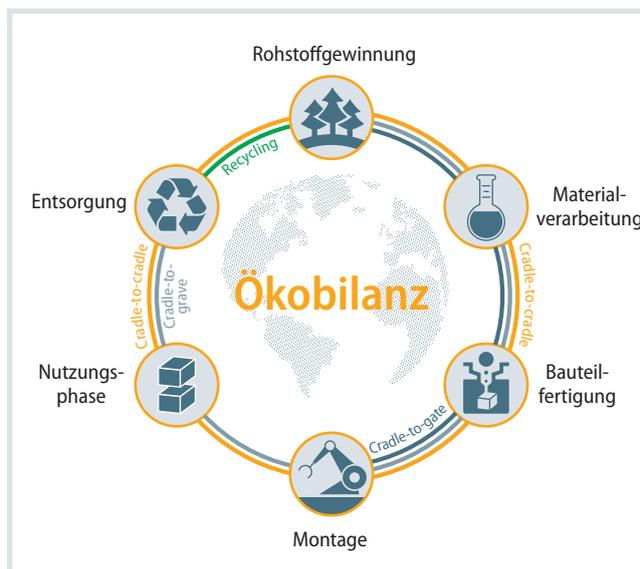


Bild 4. Eine ganzheitliche Ökobilanzierung umfasst die gesamte Lebensdauer eines Produkts, von der Rohstoffgewinnung über die Fertigung bis hin zur Entsorgung

Quelle: CompriseTec,

Grafik: © Hanser

Polymere in Verbindung mit kostengünstigen und mechanisch verstärkenden Füllstoffen kann allerdings eine interessante Alternative zu fossilbasierten Standardthermoplasten darstellen.

Deshalb wurden im FoamLite-Projekt auch hochgefüllte teilbiobasierte Polymere (Bio-PE+PP-Blends) für das Schaumspritzgießen verwendet. Die daraus hergestellten, geschäumten Compounds konnten mit Compounds auf Basis fossilbasiertem PP in Bezug auf ihre mechanischen Eigenschaften sowie ihren ökologischen Fußabdruck verglichen werden.

Eine projektbegleitende Ökobilanzierung ist eine wesentliche Voraussetzung zur Entwicklung ressourcenschonender Produkte. Schon während des Entwicklungsprozesses eines Bauteils werden dabei mögliche Potenziale und entscheidende Einflussfaktoren deutlich. Bei der thermischen Entsorgung von 1 kg PP kommt es im Durchschnitt zur Freisetzung von 2,279 kg CO₂ [4]. Bei ABS sind es hingegen 5,181 kg CO₂. Diese CO₂-Mengen berücksichtigen den fossilen Erdölanteil, aber auch die Energie aus fossilen Brennstoffen, die für die Produktion des Kunststoffbauteils im Spritzgießen investiert wird.

Eine detaillierte Ökobilanz des entwickelten Tablett gemäß der Norm DIN EN ISO 14040/-44 und die damit einhergehende Abschätzung der Reduktion an Treibhausgasemissionen erfordern eine ganzheitliche Analyse über den gesamten Produktlebenszyklus (**Bild 4**). Dazu ist unter anderem der Zugang zu entsprechenden Datenbanken und Analyse-Tools

erforderlich, insbesondere jedoch auch Know-how im Bereich der Polymerwerkstoffe und deren Verarbeitungsprozessen. Zum Einsatz kam in diesem Fall die Software SimaPro 8 Developer zusammen mit der Datenbank ecoinvent. Im Rahmen der ganzheitlichen Ökobilanzierung für das FoamLite-Tablett wurden durch CompriseTec außerdem umfassende Recherchen und gemessene Primärdaten aus dem eigenen Technikum herangezogen. Das erhöhte die Zuverlässigkeit der Daten und Vergleichswerte. Die Ergebnisse der vergleichenden Ökobilanz wurden durch das unabhängige Forschungsinstitut STM der Universität Perugia, Terni/Italien, geprüft und bestätigt.

Vollständige vergleichende Ökobilanz

Dabei wurden drei Materialvarianten für das Tablett untersucht: das ursprüngliche ABS-Modell (ABS, kompakt, ungefüllt) und die beiden im FoamLite-Projekt entwickelten schaumspritzgegossenen Varianten. Eine davon besteht aus einem PP-basierten Compound, die andere beruht auf dem angesprochenen biobasierten PE+PP-Blend mit 30 % biobasiertem Anteil. Zunächst wurde die Sachbilanz der drei Varianten aufgestellt, in der im Wesentlichen die umweltrelevanten und quantifizierbaren In- und Outputs der Varianten zusammengefasst sind, und mittels ausgewählter Wirkungsabschätzungsindikatoren (ReCiPe 2012, EPD 2013) ausgewertet. Die Materialien und Prozesse, die nicht in den verfügbaren Datenbanken hinterlegt waren, wurden anhand »

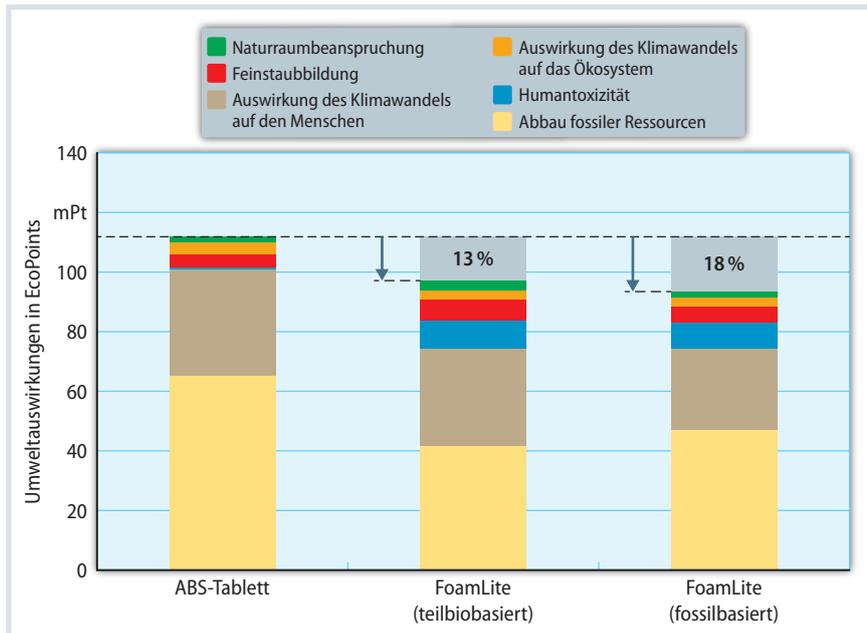


Bild 5. In der vergleichenden Ökobilanz schneidet das auf fossilen Rohstoffen beruhende FoamLite-Tablett sogar besser ab, als die Variante mit einem 30 % Anteil an biobasiertem PE+PP-Blend (Berechnungen nach ReCiPe-Endpoint V1.13) Quelle: CompriseTec, Grafik: © Hanser

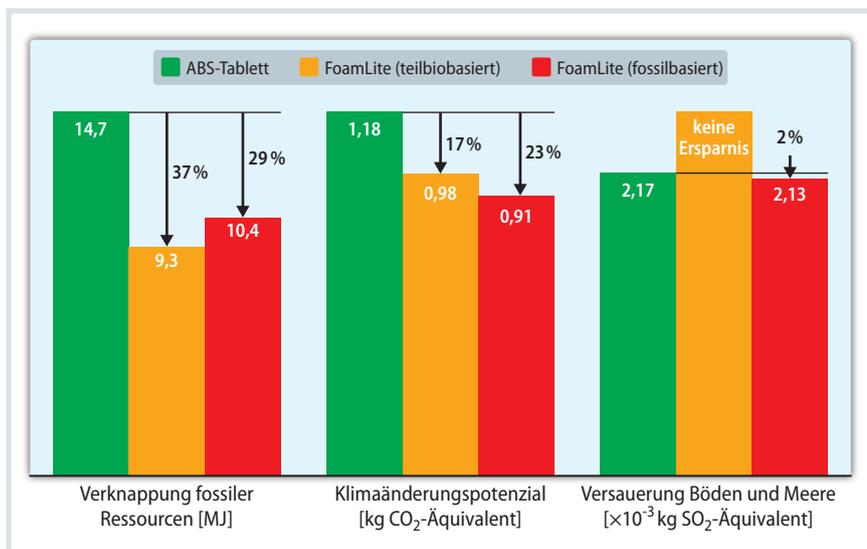


Bild 6. Die Ökobilanz des aus einem geschäumten PP-Compound bestehenden Tablettts ist deutlich besser als die des aktuellen ABS-Modells (Berechnungen mit EPD-Tool V1.03)

Quelle: CompriseTec, Grafik: © Hanser

von Literaturwerten sowie gemessener Primärdaten (z.B. die reale Energieaufnahme variothermer Schaumspritzgießprozesse) ermittelt und eingepflegt.

Auf diese Weise entstand eine vollständige vergleichende Ökobilanz nach der Norm DIN EN ISO 14040/44 für die drei Varianten des Tablettts. Den Schwerpunkt bildete dabei der Vergleich der beiden FoamLite-Varianten. **Bild 5** zeigt das Ergebnis der vergleichenden Ökobilanzierung von der Rohstoffgewinnung, inklusive abgebildeter Transportwege, bis

hin zur Entsorgung des Tablettts nach Ende seiner Lebensdauer (cradle-to-grave). Die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Indikatoren werden dabei in sogenannten EcoPoints als Vergleichswert angegeben. Die relevantesten Wirkungsindekatoren sind unterhalb der Grafik aufgeführt.

Die Ergebnisse zeigen deutliche Verbesserungen bei den FoamLite-Varianten gegenüber dem zurzeit verwendeten ABS-Modell, trotz der zusätzlichen Compoundierung mittels Doppelschnecken-

extruder sowie der verwendeten Hilfsstoffe und der variothermen Prozessführung im Spritzgießen. Das berechnete CO₂-Äquivalent (EDP 2013 Methode) konnte durch das Projekt um ca. 23 % gesenkt werden (**Bild 6**). Eine Reduktion der Bauteilwanddicke bei gleichen technischen Eigenschaften bietet weiteres Einsparpotenzial.

Beide FoamLite-Varianten lassen sich grundsätzlich recyceln, was sich positiv auf die Ökobilanz der Tablettts auswirkt. Auffällig ist, dass die Verwendung biobasierter Polymere zwar zu einer signifikanten Reduktion des Verbrauchs fossiler Ressourcen führt, jedoch u.a. durch eine erhöhte Landnutzung und abiotischen Ressourcenverbrauch in diesem Anwendungsfall mit keiner weiteren Verbesserung (nach ReCiPe-Endpoint (H) V1.13) sondern sogar einem leicht erhöhten CO₂-Äquivalent (EDP 2013 Methode) verbunden ist [5-8].

Bessere Eigenschaften, weniger CO₂

Ziel des FoamLite-Projekts war die Realisierung eines ressourcenschonenden Tablettts für das Flugzeug-Catering. Zum Einsatz kommt dafür ein partikelgefülltes PP, das in variotherm temperierten atmen den Werkzeugen im Schaumspritzgießen zu Integralschäumen verarbeitet wird. Im Vergleich zu den gegenwärtig verwendeten Modellen weist das Produkt eine geringere CO₂-Belastung und verbesserte technische Eigenschaften auf. Außerdem konnte ein schnelles thermisches Ansprechverhalten des Werkzeugs erreicht werden. Das Ansprechverhalten ist entscheidend für die Produktion im Thermo- plast-Schaumspritzgießen mittels variothermer Prozessführung. Bei diesem Verfahren können die Werkzeugtemperaturen beispielsweise um 60 bis 80 °C in einem Zyklus variieren.

Die produzierten Bauteile wurden umfassenden Prüfungen unterzogen, etwa 3-Punkt-Biegeversuchen nach DIN EN ISO 178, Wasseraufnahmetests (in Anlehnung an DIN EN ISO 62) sowie thermischen und chemischen Anwendungstests. Die Durchbiegung in Stabilitätstests (bauteilspezifischer Praxistest) konnte im Vergleich zum Referenzbauteil aus ABS von 10 mm auf ca. 5 mm halbiert werden bei einer Dichte von unter 0,8 g/cm³. Die Anforderungen des Kunden wurden somit deutlich übertroffen. ■