

# Kostenanalyse der Prozesskette zur Herstellung von rCF-Stapelfaser-Organoblechen

**Christian Goergen, Hüseyin Cavuldak, Peter Mitschang**

Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern

Das Recycling von Rohstoffen nimmt eine immer wichtigere Rolle in Politik, Wirtschaft und Medien ein. Schätzungen des Composites-Marktberichts der AVK – Industrievereinigung faserverstärkte Kunststoffe, Frankfurt a.M., zur Folge wird der globale Bedarf an Kohlenstofffasern im Jahre 2020 auf 95.500 t prognostiziert [1]. Bis zu 40 % der verarbeiteten Carbonfasern (CF) fallen bereits während der Produktion als sog. In-House-Abfall an, z.B. durch Verschnittreste [2].

In diesem Beitrag werden die Kosten einer Prozesskette zur Wiederverwendung von In-House-CF-Abfällen behandelt. Der Entwicklungsstand von Halbzeugen aus recycelten Carbonfasern (rCF) zeigt, dass aus rCF-Stapelfasergarnen Organobleche herzustellen sind, die bessere mechanische Kennwerte als GFK-Organobleche aufweisen und potenziell an CFK-Organobleche heranreichen [3-5].

Um zu belegen, dass rCF-Organobleche auch wirtschaftlich eine kostengünstige Alternative zu bestehenden Verbundwerkstoffen darstellen, wurden die im ZIM-Projekt „InTeKS“ untersuchten Produktionsprozesse nach dem Gesamtkostenverfahren bewertet. Das Pro-

jekt „InTeKS“ (Innovative Textilstrukturen aus Kohlenstoff-Stapelfasern; Entwicklung eines neuartigen plastisch verformbaren Organobleches) wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert (Förderkennzeichen VP2088343TA4). Zusätzlich wurde der Maschinenstundensatz der einzelnen Teilprozesse beziffert. Der gesamte Produktionsprozess kann zur besseren Vergleichbarkeit der Kosten in 3 Teilprozesse unterteilt werden, dem Faserzuschnitt, der Hybridgarnherstellung und der Textilherstellung (Abb. 1). Die Organoblechherstellung sowie die weiteren Prozessschritte bis zum fertigen Bauteil wurden in der Analyse nicht berücksichtigt, da sich diese aus Kostensicht nicht wesentlich von der Herstellung konventioneller Organobleche unterscheiden.

Die Gesamtkosten GK (vgl. Formel 1) setzen sich zusammen aus dem Summanden der einzelnen Kostengruppen. Die Kostengruppen stellen die Abschreibungen  $K_A$ , kalkulier-

te Zinsen  $K_Z$ , kalkulierte Mietkosten  $K_M$ , Personalkosten  $K_P$ , Materialkosten  $K_M$ , Energiekosten  $K_E$ , Instandhaltungskosten  $K_I$ , Werkzeugkosten  $K_W$  und sonstige Kosten  $K_S$  dar. Der Maschinenstundensatz berechnet sich aus dem Quotienten von Gesamtkosten und Ausbringungsmenge.

$$GK = \sum_{k=m}^n K_k = K_A + K_Z + K_M + K_P + K_M + K_E + K_I + K_W + K_S \quad (1)$$

Die Materialkosten kumulieren sich für einen Faservolumengehalt im Organoblech von 50 % und einer PA 6-Matrix unter Berücksichtigung der Hilfsstoffe und einem CF-Faserverlustfaktor  $\xi = 1,15$  auf 4,90 €/kg (vgl. Formeln 2-4). Dafür wurde ein Preis für rCF von 5 €/kg angenommen, was mit dem erklärten Ziel der marktführenden CF-Recycling-Unternehmen übereinstimmt. Die Energiekosten wurden in der Analyse mit 0,25 €/kWh beziffert. Die Kosten für den für

**Abb. 1**  
Produktionsprozesskette „InTeKS“

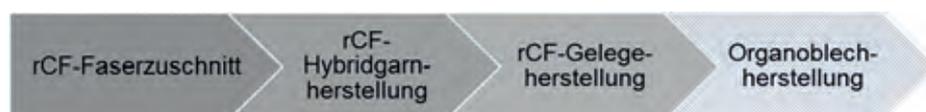
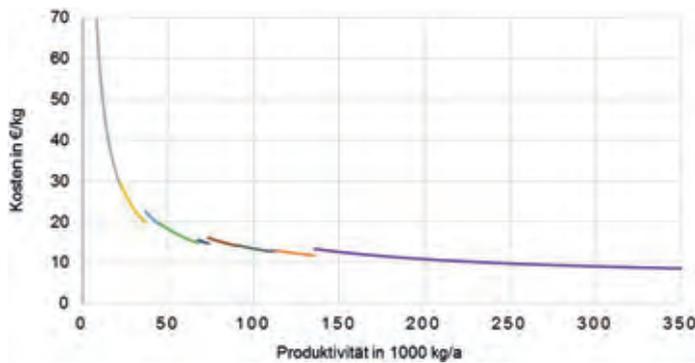


Abb. 2  
Kostenverlauf in Abhängigkeit von der Ausbringungsmenge



die Gelegeherstellung benötigten Häkelfäden wurden nach Angabe des Industriepartners mit 0,021 €/kg kalkuliert, bezogen auf das fertige Gelege.

$$p_{HM,Ges.} = \frac{\delta_{rCF}}{\delta_{rCF} + \delta_{PA6}} \cdot p_{rCF} \cdot \xi + \frac{\delta_{PA6}}{\delta_{rCF} + \delta_{PA6}} \cdot p_{PA6} + p_{Häkelfäden} \quad (2)$$

$$p_{HM,Ges.} = \frac{1,8}{1,8 + 1,14} \cdot 5 \text{ €/kg} \cdot 1,15 + \frac{1,14}{1,8 + 1,14} \cdot 3,5 \text{ €/kg} + 0,021 \text{ €/kg} \quad (3)$$

$$p_{HM,Ges.} = 4,90 \text{ €/kg} \quad (4)$$

Alle weiteren Datensätze der einzelnen Produktionsanlagen wurden von den Industriepartnern zur Weiterverarbeitung bereitgestellt. Die Bestimmung einer geeigneten Allokation erfolgt durch einen heuristischen Optimierungsansatz. Dazu wird die Kapazität soweit erhöht, bis eine prozentuale Senkung des Maschinenstundensatzes erreicht wird. Hierfür werden die Kapazitätsrestriktionen, alle produktfixen Kosten, Schichten und die Personalkosten der einzelnen Anlagen mitberücksichtigt.

Um eine Kostenübersicht in Abhängigkeit der produzierten Menge darstellen zu können,

Abb. 5  
Tiefgezogene Kuppelstruktur

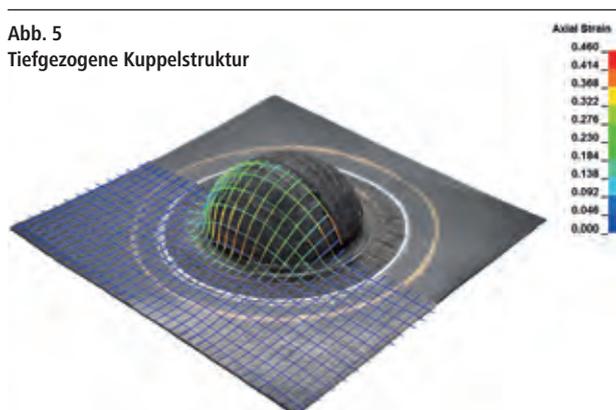


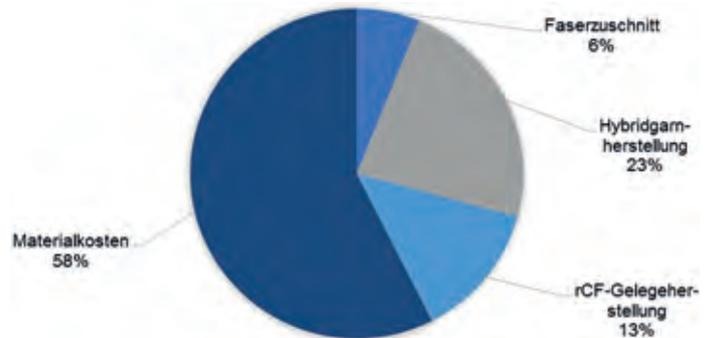
Abb. 4  
Tiefgezogener Organoblech-Demonstrator



muss die Kostenfunktion in mehrere Intervalle untergliedert werden. Die Bereiche stellen jeweils eine optimale Maschinen- und Schichtenallokation dar. In Abb. 2 ist der Kostenlauf graphisch dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Steigung der Kostenfunktion ab einer Produktion von 60.000 kg/Jahr stark abflacht. Ab diesem Zeitpunkt können die erforderlichen Anlagen effizient genutzt werden und das Personal ist entsprechend ausgelastet. Der sprunghafte Verlauf erklärt sich durch die einmaligen Anschaffungskosten neuer Anlagen und durch das neu eingestellte Personal.

Bei einer geplanten Ausbringungsmenge in Höhe von gerundeten 350.000 kg/Jahr sinken die reinen Produktionskosten auf 3,63 €/kg. Werden hierauf die Materialkosten in Höhe von 4,90 €/kg aufaddiert, belaufen sich die Kosten auf 8,53 €/kg rCF-Stapelfasergelege. Der weitere Kurvenverlauf lässt darauf schließen, dass man sich den Grenzkosten nähert. Weitere Einsparungen können in dem Fall nur über Senkung der Materialkosten erreicht werden. Abb. 3 zeigt die prozentuale Verteilung der Teilprozesskosten bei einer Ausbringungsmenge von 350.000

Abb. 3  
Prozentuale Verteilung der Teilprozesskosten bei einer Ausbringungsmenge von 350.000 kg/Jahr



kg/Jahr. Die Materialkosten machen den größten prozentualen Anteil an den Gesamtkosten aus. Dies kann sowohl als Chance als auch als Risiko gewertet werden, da die Analyse auf der Annahme basiert, dass die Materialpreise stabil bleiben. Zusätzlich stellt das Skalieren der Produktion in einen dreistelligen Jahrestonnen-Bereich ein Risiko dar, da in der Analyse mit einem Planungsfaktor (effektive Nutzungszeit der Anlagen) in Höhe von 80 % gerechnet wurde und die Koordination der Anlaufaktivitäten aller Anlagen unberücksichtigt bleibt.

Weiterhin können neben der Unsicherheit einiger Werte wie z.B. die Investitionskosten einzelner Anlagen auch andere äußere Einflussfaktoren bzw. Eventualitäten dazu beitragen, dass die realen Kosten über den ermittelten liegen.

Die Kostenanalyse zeigt, dass aus rCF-Stapelfasergarnen Organobleche herzustellen sind, die sehr gute mechanische und wirtschaftliche Kennwerte erreichen und somit je nach Leistungsbedarf eine kostengünstige Alternative zu bestehenden Verbundwerkstoffen darstellen. ■

Literatur

- [1] Sauer, M.; Kühnel, M.; Witten, E.: Composites-Marktbericht 2017: Marktentwicklungen, Trends, Ausblicke und Herausforderungen, AVK – Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffstoffe e.V.; Carbon Composites e.V., 2017
- [2] Hohmann, A. et al.: MAI Enviro: Vorstudie zur Lebenszyklusanalyse mit ökobilanzieller Bewertung relevanter Fertigungsprozessketten für CFK-Strukturen, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie; Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart/Germany, 2015
- [3] Goergen, C.: Highly Drapable Organic Sheets Made of Recycled Carbon Staple Fiber Yarns, Xi'an/China, 20. August 2017
- [4] Goergen, C.; Baz, S.; Mitschang, P.; Gresser, G.T.: Organobleche aus recycelten Carbon-Stapelfasergarnen, lightweight.design (2017) 3, 20-25
- [5] Goergen, C.; Baz, S.; Mitschang, P.; Gresser, G.T.: Recycled Carbon Fibers in Complex Structural Parts – Organic Sheets Made of rCF Staple Fiber Yarns, KEM 742 (2017) 602-609