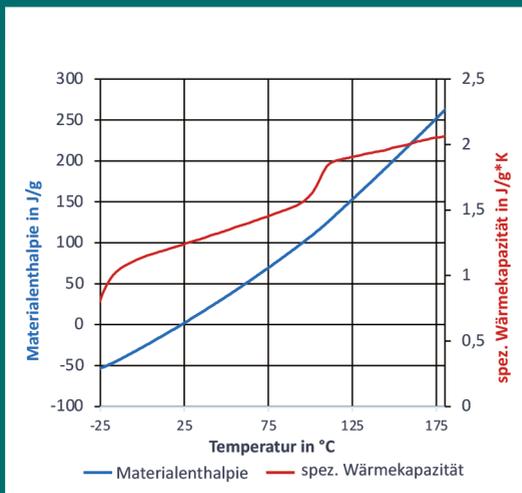
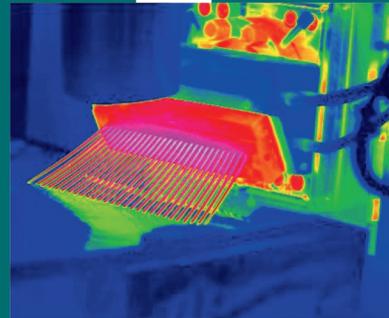


# Vorwärmung in der Kunststoffverarbeitung



© SKZ



© SKZ

## Ermittlung von Materialkennwerten und Entwicklung eines Expertensystems

Julius Ort, Daniela Eckert, Christian Eck, Hermann Achenbach, Benjamin Baudrit,  
Thomas Hochrein, Martin Bastian

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Herausgeber)

# **Vorwärmung in der Kunststoffverarbeitung**

Ermittlung von Materialkennwerten und  
Entwicklung eines Expertensystems

1. Auflage



SKZ – Forschung und Entwicklung

**SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Hrsg.)**

**Vorwärmung in der Kunststoffverarbeitung**

Ermittlung von Materialkennwerten und  
Entwicklung eines Expertensystems

Shaker Verlag  
Düren 2022

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Autoren:

M.Sc. Julius Ort  
Dipl.-Ing. Daniela Eckert  
M.Sc. Christian Eck  
Dr. Hermann Achenbach  
Dr. Benjamin Baudrit  
Dr. Thomas Hochrein  
Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian

Copyright Shaker Verlag 2022

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8648-5

ISSN 2364-754X

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren  
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9  
Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Danksagung**

Das Vorhaben 20236 N der Forschungsvereinigung Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e. V. (FSKZ) wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Die SKZ - KFE gGmbH dankt dem BMWK und der AiF für die Förderung sowie der Forschungsvereinigung für die Unterstützung bei der Durchführung des Vorhabens.

Darüber hinaus dankt die Forschungsstelle den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für ihre Unterstützung bei der Bearbeitung des Projektes und für die konstruktiven Diskussionen bei den aufgetretenen Fragestellungen.



## **Kurzfassung**

Ziel des im Buch behandelten Forschungsvorhabens ist es Erkenntnisse über den energetischen Nutzen der Vorwärmung von Kunststoffen in Verarbeitungsprozessen und den Einfluss auf die Produktqualität zu erlangen und zu vertiefen, sowie an einen breiten Anwenderkreis zu transferieren. Im Rahmen des Vorhabens wurden umfangreiche Compoundier- und Spritzgussversuche gefahren, bei denen Energieflüsse messtechnisch erfasst wurden, um eine energetische Analyse vornehmen zu können. Die Versuchsmaterialien wurden auf unterschiedliche Prozesseingangstemperaturen vorgewärmt. Folglich konnte dieser Einfluss auf den Verarbeitungsprozess dargestellt werden. Beim Compoundieren ist aufgrund des hohen Energiebedarfs zum Plastifizieren im Vergleich zum Gesamtenergiebedarf eine Vorwärmung besonders attraktiv. Im Forschungsvorhaben konnte der reduzierende Einfluss einer Vorwärmung auf den elektrischen Energiebedarf des Hauptantriebes nachgewiesen werden, sowie hinreichende Korrelationen ermittelt werden, um dieses Optimierungspotenzial zu modellieren und auf weitere spezifische Rahmenbedingungen anwenden zu können. Umfangreiche thermische und mechanische Analysen sind durchgeführt worden. Somit konnte bei den gefahrenen Vorwärmtemperaturen im Bereich von etwa 23 °C bis zu 80 °C ein negativer Einfluss auf die Produktqualität bei den gefahrenen Versuchen nicht nachgewiesen werden.

Das Forschungsvorhaben wurde mit der Bereitstellung des kostenfreien Anwendertools als bleibendes Ergebnis erfolgreich abgeschlossen. Der konkrete Mehrwert des Tools ist eine anwenderbezogene Potenzialbetrachtung anhand weniger, einzugebender Parameter für spezifische Rahmenbedingungen. Die zu erwartende Einsparung der Antriebsleistung ist abhängig von den gesetzten Rahmenbedingungen und hat sich bei den durchgeführten Versuchen im Bereich von 7 bis 19 % bewegt.



## **Abstract**

The aim of the research project is to obtain and deepen knowledge of the energy benefits of preheating materials in plastics processing and the influence on product quality. Furthermore included is to provide the gained knowledge to a wide range of users. As part of the project, comprehensive compounding and injection moulding trials were done in which energy flows were measured to do energy analysis. The test materials were preheated to different process inlet temperatures. Consequently, this influence on the processing could be illustrated. In compounding, preheating is particularly attractive due to the high energy requirement for plasticizing compared to the total energy requirement. In the research project, the reducing influence of preheating on the electrical energy requirement of the main drive was demonstrated and sufficient correlations were determined to model this optimization potential and apply it to other specific production conditions. Extensive thermal and mechanical analyses have been performed. Thus, a negative influence on the product quality could not be proven at the preheating temperatures in the range of about 23 °C up to 80 °C during the tests.

The research project was successfully concluded with the publish of the free user tool as a lasting result. The concrete added value of the tool is a simple user related potential assessment based on a few parameters to be entered for specific conditions. The expected savings in drive power depend on the specific conditions and ranged from 7 to 19 % in the tests.



## **Inhaltsverzeichnis**

**Abkürzungsverzeichnis ..... IV**

**Projektsteckbrief..... V**

**1 Einleitung..... 1**

1.1 Anlass für das Forschungsvorhaben ..... 1

1.2 Problemstellung ..... 1

1.3 Zielsetzung ..... 1

**2 Stand der Technik..... 3**

2.1 Granulatvorwärmung in der Kunststoffverarbeitung..... 3

2.2 Auswirkungen auf den Verarbeitungsprozess ..... 3

2.3 Wissenschaftlich-technische Problemstellung..... 5

**3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels ..... 11**

3.1 Problembeschreibung..... 11

3.2 Lösungsweg ..... 11

3.3 Innovationsprofil des Vorhabens ..... 13

3.4 Gliederung der Arbeitspakete ..... 16

3.5 Bearbeitungsschritte und Arbeitsplan ..... 17

3.6 Arbeitsdiagramm ..... 17

**4 Durchgeführte Arbeiten ..... 19**

4.1 AP 1: Vorwärmeigenschaften der Materialien ..... 19

4.1.1 Durchgeführte Arbeiten in AP 1..... 19

4.1.2 Erzielte Ergebnisse in AP 1 ..... 21

4.2 AP 2: Compoundieren ..... 25

4.2.1 Durchgeführte Arbeiten in AP 2..... 25

4.2.2 Erzielte Ergebnisse in AP 2 ..... 27

4.3 AP 3: Spritzgießen ..... 29

4.3.1 Durchgeführte Arbeiten in AP 3..... 29

4.3.2 Erzielte Ergebnisse in AP 3 ..... 30

4.4 AP 4: Produktqualität..... 32

4.4.1	Durchgeführte Arbeiten in AP 4.....	33
4.4.2	Erzielte Ergebnisse in AP 4.....	34
4.5	AP 5: Prognosemodell und Expertensystem.....	35
4.5.1	Durchgeführte Arbeiten in AP 5.....	36
4.5.2	Erzielte Ergebnisse in AP 5.....	36
<b>5</b>	<b>Diskussion zu den erzielten Ergebnissen.....</b>	<b>43</b>
5.1	Einfluss der Vorwärmung auf den Energiebedarf.....	43
5.2	Einfluss der Vorwärmung auf die Materialeigenschaften.....	47
5.3	Expertensystem <i>OptiHeat</i> mit Anwendungstool.....	52
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>57</b>
6.1	Arbeiten und Ergebnisse zur Vorwärmung in der Kunststoffverarbeitung.....	57
6.2	Anwendungsnutzen und kritische Auseinandersetzung.....	58
<b>7</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>64</b>
<b>10</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>65</b>
10.1	Polypropylen – PP.....	65
10.1.1	Energetische Analyse der Verarbeitungsprozesse – PP.....	65
10.1.2	Thermische Analyse des Produktes – PP.....	66
10.1.3	Mechanische Analyse des Produktes – PP.....	68
10.2	Polypropylen Talkum 20 % – PP T20.....	69
10.2.1	Energetische Analyse der Verarbeitungsprozesse – PP T20.....	69
10.2.2	Mechanische Analyse des Produktes – PP T20.....	70
10.3	Polypropylen Talkum 60 % – PP T60.....	71
10.3.1	Energetische Analyse der Verarbeitungsprozesse – PP T60.....	71
10.3.2	Mechanische Analyse des Produktes – PP T60.....	72
10.4	Polyethylen – PE.....	73
10.4.1	Energetische Analyse der Verarbeitungsprozesse – PE.....	73

---

10.4.2	Thermische Analyse des Produktes – PE .....	74
10.4.3	Mechanische Analyse des Produktes – PE .....	77
10.5	Polystyrol – PS .....	79
10.5.1	Energetische Analyse der Verarbeitungsprozesse – PS .....	79
10.5.2	Thermische Analyse des Produktes – PS .....	80
10.5.3	Mechanische Analyse des Produktes – PS .....	82
10.6	Polyamid – PA .....	84
10.6.1	Energetische Analyse der Verarbeitungsprozesse – PA .....	84
10.6.2	Thermische Analyse des Produktes – PA .....	85
10.6.3	Mechanische Analyse des Produktes – PA .....	87
10.7	Polyamid Glasfaser 40 % – PA GF40 .....	88
10.7.1	Energetische Analyse der Verarbeitungsprozesse – PA GF40 .....	88
10.7.2	Mechanische Analyse des Produktes – PA GF40 .....	89

**Abkürzungsverzeichnis**

AP	Arbeitspaket
CO <sub>2</sub> -Äq	CO <sub>2</sub> -Äquivalente
DSC	Dynamische Differenzkalorimetrie
KMU	Klein- und mittelständische Unternehmen
KNN	Künstliche neuronale Netze
OIT	Oxidations-Induktionszeit
oV	Ohne Vorwärmung
PA	Polyamid
PAGF40	Polyamid Compound mit 40 % Glasfaseranteil
pbA	Projektbegleitender Ausschuss
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PPT20	Polypropylen Compound mit 20 % Talkumanteil
PPT60	Polypropylen Compound mit 60 % Talkumanteil
PS	Polystyrol
SKZ	SKZ – Das Kunststoff-Zentrum
TGA	Thermogravimetrische Analyse

## Projektsteckbrief

Aufgrund hoher Stromkostenanteile und steigender Energiepreise ist für kunststoffverarbeitende Unternehmen eine effiziente Prozessgestaltung ein entscheidender Faktor für ihre Wettbewerbsfähigkeit. Eine Möglichkeit, bis zu 15 % Energiekosten einzusparen, liegt in der Vorwärmung der verwendeten Materialien mittels Abwärme, wie im Projekt ermittelt. Für die Praxis fehlt es bislang jedoch an Kenntnissen zum spezifischen Vorwärmverhalten der Materialien und Einschätzungsmöglichkeiten zu tatsächlichen Einsparungen.

Ziel des Projekts ist der verstärkte Einsatz der Materialvorwärmung und somit eine Steigerung der Energieeffizienz sowie eine Senkung der Produktionskosten. Kern der Arbeiten sind daher umfassende experimentelle Bestimmungen der spezifischen Vorwärmeigenschaften von Kunststoffgranulaten, Füllstoffen und ausgewählten Compounds, die Ermittlung der jeweiligen Einsparpotenziale bei den Verarbeitungsprozessen sowie die Analyse der Auswirkungen auf die Prozess- und Produktqualität.

Durch eine Vorwärmung können Energiekosten verringert oder der Durchsatz erhöht werden. Im Fall eines mittelgroßen Compoundierbetriebs können so entweder eine Einsparung von ca. 63.000 €/Jahr oder eine jährliche Umsatzsteigerung von 1,675 Mio. € erreicht werden.

Die Ergebnisse der Versuche bilden das Datenfundament eines webbasierten Expertensystems zum Thema Vorwärmung in der Kunststoffverarbeitung. Produktionsspezifische Kennwerte, jeweilige Energieeinsparpotenziale, mögliche Durchsatzerhöhungen beim Compoundieren/Extrudieren und Spritzgießen, Kostenvorteile und CO<sub>2</sub>-Äq Einsparungen werden hier berechnet und in spezifische Handlungsempfehlungen für KMU übertragen. Das Expertensystem soll auch nach Projektabschluss mit Kenndaten erweitert werden, sodass Wissenslücken zur Vorwärmung sukzessive geschlossen werden und Energie- und Kosteneinsparpotenziale in möglichst großem Umfang gehoben werden.

AiF/IGF-Projekt *Projektnummer*: 20236 N

„Vorwärmung in der Kunststoffverarbeitung – Empirische Ermittlung materialspezifischer Kennwerte und Entwicklung eines Expertensystems“

Dauer: 01.02.2019 – 30.07.2021

Unterstützt durch den projektbegleitenden Ausschuss:

ALLOD Werkstoffe GmbH & Co. KG	Solex Thermal Science Inc.
Aurora Kunststoffe GmbH	Sumitomo Demag
BASF SE	SHS plus GmbH
Brabender Technologie GmbH & Co. KG	KrausMaffei Extrusion GmbH
Evonik Ressource Efficiency GmbH	KRONOS International Inc.
MAINCOR Rohrsysteme GmbH & Co. KG	