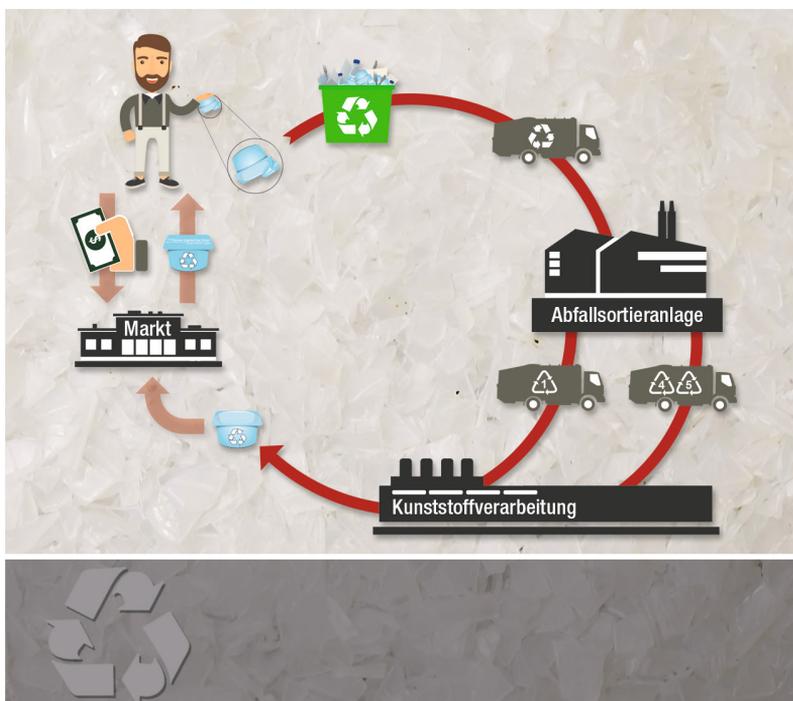


Natalie Rudolph
Raphael Kiesel
Chuanchom Aumnate

Einführung Kunststoffrecycling

Ökonomische, ökologische und technische
Aspekte der Kunststoffabfallverwertung



HANSER



Blieben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Internet-Plattform für Entscheider!

Exklusiv: Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

Richtungsweisend: Fach- und Brancheninformationen stets top-aktuell!

Informativ: News, wichtige Termine, Bookshop, neue Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

***Kunststoffe*.de**

Natalie Rudolph
Raphael Kiesel
Chuanchom Aumnate

Einführung Kunststoffrecycling

Ökonomische, ökologische und technische
Aspekte der Kunststoffabfallverwertung

HANSER

Die Autoren:

Dr.-Ing. Natalie Rudolph, AREVO, Inc., Milpitas, CA, U.S.A.

Raphael Kiesel, M.Sc., Fraunhofer Institute for Production Technology (IPT), Aachen, Germany

Chuanchom Aumnate, Ph.D., Chulalongkorn University, Thailand

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2020 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Herstellung: le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisierung: Max Kostopoulos

Druck und Bindung: Hubert & Co. GmbH und Co. KG BuchPartner, Göttingen

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-45880-2

E-Book-ISBN: 978-3-446-46128-4

Vorwort

Kunststoffe sind heutzutage überall in unserem Leben zu finden. Am Morgen benutzen wir sie in Form einer Zahnbürste und Zahnpastatube, auf dem Weg zur Arbeit im Auto als Scheibenwischer, Sitz oder Fensterheber, auf der Arbeit als Tastatur oder Werkzeuggriff und beim Einkaufen als Verpackungsfolie über unserem Gemüse oder der Tafel Schokolade. Wie diese Beispiele zeigen, haben Kunststoffe ganz unterschiedliche Einsatzzwecke und -nutzen. Während sie uns in den technischen Anwendungen oft Gewicht ersparen und somit den Kraftstoffverbrauch senken, gibt es auch viele Alltagsgegenstände, in denen ihr Einsatz immer wieder im Hinblick auf den gesamten Life Cycle überdacht werden sollte. Ist z. B. die Funktion, das Gewicht oder die Haltbarkeit verbessert, ist der Einsatz durch den positiven Einfluss auf den gesamten Life Cycle oft von Vorteil. Hat die Verwendung jedoch mehr negative als positive Folgen, so sollten Alternativen bereits in der Design-Phase in Erwägung gezogen werden. Trotz der unzähligen Innovationen, die durch Kunststoffe ermöglicht wurden und auch in Zukunft realisiert werden, ist der nachhaltige Umgang mit diesem wertvollen Material unabdingbar.

Stellt sich der Einsatz von Kunststoff als die beste Variante heraus, sollte die Wiederverwendung und Reparatur als nächste Option in Betracht gezogen werden. Hiervon haben wir uns im industriellen Einsatz weit entfernt, aber auch hier sind innovative Lösungen denkbar. Nach dem Motto „Reduce, Reuse, Recycle“, sollte das Recycling von Kunststoffabfällen erst die dritte Option darstellen. Das bedeutet aber nicht, dass diese unwichtig ist. Das Recycling von Kunststoffabfällen gewinnt von Tag zu Tag mehr an Bedeutung und ist nun auch in den Fokus der breiten Öffentlichkeit gelangt. Dies ist vor allem durch die alarmierenden Zahlen zum Kunststoffabfall in den Ozeanen begründet. Derzeit gelangen jährlich mehr als 8 Millionen Tonnen Kunststoffe in die Ozeane und diese Zahl wird noch steigen, wenn wir die Handhabung von Kunststoffabfällen nicht ändern. Das Bewusstsein über diese katastrophalen Auswirkungen hat bereits zu einem Umdenken der Bevölkerung geführt und die Verwendung von Plastiktüten beim Einkaufen ist mittlerweile so absurd wie das Entsorgen der Zahnbürste nach nur einmaliger Verwendung wäre.

Aus diesem Grund möchten wir in unserem Buch aufzeigen, welches ungenutzte Potenzial im Recycling von Kunststoffen steckt – sowohl aus ökologischer, ökonomischer als auch technologischer Sicht. Unser Fokus liegt dabei auf dem Recycling von Verpackungsabfällen. Diese stellen aktuell – insbesondere für die Umwelt – eine große Herausforderung dar, ihr Recycling bietet dafür umso mehr Möglichkeiten. Zudem ist das Nicht-Wiederverwenden von Kunststoffen mit dem Verlust von Rohöl gleichzusetzen und wird daher auch unter diesem Gesichtspunkt betrachtet.

Um dieses Potenzial darzustellen, beginnt das Buch mit einem allgemeinen Überblick über Abfallbehandlungsstrategien von Kunststoffen in Deutschland und Europa und stellt die Bedeutung der Kunststoffabfälle dar (Kapitel 1 und 2). Kapitel 3 fokussiert auf die technischen Aspekte und verschiedene Verfahren des Kunststoffrecyclings. In separaten Kapiteln werden die ökonomischen (Kapitel 4) sowie ökologischen Eigenschaften (Kapitel 5) verschiedener Abfallbehandlungsstrategien von Kunststoffen verglichen und bewertet. Die Analyse zeigt das Potenzial des Kunststoffrecyclings sowie die notwendigen Randbedingungen für einen Anstieg der Recyclingquote. Daher werden in Kapitel 6 verschiedene Szenarien zur Steigerung der Rentabilität des Recyclings analysiert. Nicht zuletzt wird in Kapitel 7 das weltweite Potenzial für die Abfallbehandlung und insbesondere das Kunststoffrecycling am Beispiel der USA und Chinas dargestellt.

Wir hoffen, dass wir Ihnen mit unserem Buch aufzeigen können, welche Bedeutung und Chancen das Recycling von Kunststoffen bietet und wie wir alle gemeinsamen einen Teil dazu beitragen können, dass unsere Welt ein kleines Stück verbessert wird – ob als Entscheider in einem großen Unternehmen, beim Wocheneinkauf im Supermarkt oder beim Entsorgen von Abfällen. Denn Sie werden im Laufe des Buches feststellen: Bereits die kleinen Dinge können eine riesige Wirkung haben!

Wir danken allen, die uns bei der Erstellung des deutschen Buches, sowie seiner englischen Erstausgabe unterstützt haben. Ein besonderer Dank gilt Andrea Homberg, Alexander Kies und Kerstin Cypris für die großartige Unterstützung bei der Übersetzung.

Die Autoren

Raphael Kiesel, Chuanchom Aumnate, Natalie Rudolph

Aachen/Bangkok/Santa Clara, CA im Oktober 2019

Für die Kinder, die an den Fridays-For-Future teilnehmen und teilgenommen haben

Inhalt

Vorwort	V
Die Autoren	XIII
Akronyme und Abkürzungen	XV
1 Abfälle im Alltag – ein Überblick	1
1.1 Siedlungsabfälle – Ein täglicher Begleiter	1
1.2 Behandlungsmethoden von Siedlungsabfällen	3
1.2.1 Deponierung	5
1.2.2 Verbrennung mit Energierückgewinnung	7
1.2.3 Recycling	9
2 Kunststoffe – Steigender Wert, Sinkende Lebensdauer	13
3 Kunststoffrecycling – Schonung wertvoller Ressourcen	17
3.1 Methoden des Kunststoffrecycling	18
3.1.1 Werkstoffliche Verwertung	18
3.1.2 Rohstoffliche Verwertung	19
3.2 Recycling verschiedener Arten von Kunststoffabfällen	20
3.2.1 Pre-Consumer-Abfälle	20
3.2.2 Post-Consumer-Abfälle	22
3.3 Trennung von Kunststoffabfällen	28
3.3.1 Manuelle Sortierung	28
3.3.2 Automatische Sortierung	28
3.4 Degradation von Kunststoffen	30
3.4.1 Mechanische Degradation	31
3.4.2 Thermische Degradation	32

3.4.3	Thermisch-oxidative Degradation	32
3.4.4	Auswirkung der Degradation auf Verarbeitungseigenschaften und Haltbarkeit	32
3.5	Verunreinigungen	40
3.6	Fazit: Technische Realisierbarkeit des Kunststoffrecycling	40
4	Ökonomische Analyse der Behandlung von Kunststoffabfällen	45
4.1	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsanalyse	45
4.1.1	Wirtschaftlichkeitsberechnung	45
4.1.2	Statische Wirtschaftlichkeitsberechnung	46
4.1.3	Gewinnvergleichsrechnung	47
4.2	Ökonomische Analyse der Deponierung	48
4.3	Ökonomische Analyse der Verbrennung mit Energierückgewinnung ...	52
4.4	Ökonomische Analyse des Kunststoffrecyclings	57
4.4.1	Kosten der Materialsortierungsanlage	58
4.4.2	Kosten der Kunststoffaufbereitung	63
4.4.3	Erlöse aus dem Verkauf von recycelten Kunststoffen	66
4.4.4	Rentabilität	66
4.4.5	Der Ölpreis als Faktor für die Rentabilität des Kunststoffrecyclings	67
4.5	Fazit: Wirtschaftlichkeit des Kunststoffrecyclings	69
5	Ökologische Analyse der Kunststoffabfallverwertung	73
5.1	Ökologische Analyse der Deponierung	73
5.2	Ökologische Analyse der Verbrennung mit Energierückgewinnung ...	75
5.3	Ökologische Analyse des Recyclings	77
5.4	Fazit: Notwendigkeit des Kunststoffrecyclings für die Umwelt	78
6	Optimierung des Kunststoffrecyclings	81
6.1	Optimierungsmöglichkeit I: Reduktion der Sortiervorgänge	81
6.2	Optimierungsmöglichkeit II: Upcycling von Kunststoffabfall durch das Mischen von PE-LD und PP	84
6.2.1	Zusätzliche Kosten durch PE-LD-PP Recycling	86
6.2.2	Zusätzliche Einnahmen durch PE-LD-PP Recycling	89
6.2.3	Gesamtgewinn durch Optimierungsmöglichkeit II	89

7	Kunststoffabfälle Weltweit: Steigendes Recyclingpotenzial . . .	91
7.1	Kunststoffabfallbehandlung in den USA	95
7.2	Kunststoffabfallbehandlung in China	99
7.3	Kunststoffabfälle in der Zukunft	106
8	Anhang	111
8.1	Ökonomische Analyse der Deponierung	112
8.2	Ökonomische Analyse der Verbrennung mit Energierückgewinnung . . .	114
8.3	Ökonomische Analyse des Kunststoffrecyclings	116
8.4	Optimierungsmöglichkeit I: Reduktion der Sortiervorgänge	120
8.5	Optimierungsmöglichkeit II: Upcycling von Kunststoffabfall durch Mischen von PE-LD und PP	122
	Index	125

Die Autoren



Dr.-Ing. Natalie Rudolph ist Entwicklungsleiterin bei AREVO, Inc. Zuvor war sie Assistant Professor an der University of Wisconsin-Madison. Sie konzentriert sich vorwiegend auf die Entwicklung innovativer Prozesse und Materialien im Bereich Faserverbund und Kunststoff mit Fokus auf Additive Fertigung und Nachhaltigkeit.



Raphael Kiesel ist Gruppenleiter und Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT sowie Doktorand an der RWTH Aachen. Er ist im Bereich der Digitalisierung der Produktion tätig, mit dem Ziel der Effizienz und der Ressourcenschonung. Zuvor hat er im Bereich des Kunststoffrecyclings an der University of Wisconsin-Madison geforscht.



Dr. Chuanchom Aumnate ist Forscherin am Forschungsinstitut für Metallurgie- und Materialwissenschaften der Chulalongkorn University, Thailand. Zuvor war sie Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der University of Wisconsin-Madison und Wissenschaftliche Mitarbeiterin am National Metal and Materials Technology Center, Thailand.

