

Nicolas Go

Schriftenreihe zur
Aufbereitung und Veredlung

78

Beitrag zum Recyclingpotential von PET- und PS-Kunststoffverpackungsabfällen

Herausgeber:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Quicker
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hermann Wotruba

RWTHAACHEN

Beitrag zum Recyclingpotential von PET- und PS- Kunststoffverpackungsabfällen

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der
Rheinisch -Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades des
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Nicolas Gerry Go, M.Sc. RWTH
aus Oberhausen

Berichter: Herr Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz
Frau Prof. Dr.-Ing. Sabine Flamme

Tag der mündlichen Prüfung: 29.06.2020

Schriftenreihe zur Aufbereitung und Veredlung

herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Quicker

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hermann Wotruba

Band 78

Nicolas Go

**Beitrag zum Recyclingpotential von PET- und
PS-Kunststoffverpackungsabfällen**

Shaker Verlag
Düren 2020

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.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2020)

Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz
Wüllnerstraße 2
D - 52056 Aachen
Tel. +49(0)241 - 80-95700, Fax +49(0)241 - 8092232
E-Mail: lehrstuhl@ifa.rwth-aachen.de

Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Quicker
Wüllnerstraße 2
D - 52056 Aachen
Tel. +49(0)241 - 80-95705, Fax +49(0)241 - 8092624
E-Mail: info@teer.rwth-aachen.de

Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hermann Wotruba
Lochnerstraße 4 - 20
D - 52056 Aachen
Tel. +49(0)241 - 80-97246, Fax +49(0)241 - 8092635
E-Mail: amr@amr.rwth-aachen.de

Copyright Shaker Verlag 2020

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7726-1
ISSN 1617-6545

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 • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Aufbereitung und Recycling (I.A.R.) der RWTH Aachen entstanden. Während meiner Promotionszeit wurde ich von vielen Menschen gefordert und gleichermaßen unterstützt. Bei diesen möchte ich mich mit den nachfolgenden Zeilen bedanken.

Mein besonderer Dank gilt zunächst meinem Doktorvater und Leiter des I.A.R., Herrn Prof. Thomas Pretz. Trotz seines vollen Terminplans war immer Zeit, eine fachliche und anregende Diskussion zu führen, um meine wissenschaftlichen Fokuspunkte nachzujustieren. Außerdem möchte ich Frau Prof. Sabine Flamme danken, die sich als Zweitprüferin zur Verfügung gestellt hat und mit ihren Anmerkungen geholfen hat, der Arbeit den letzten Schliff zu verleihen. Herrn Prof. Hermann Wotruba danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Herrn Dr.-Ing. Alexander Feil danke ich für die jahrelange Unterstützung und stets offene Tür - so konnten wissenschaftliche Probleme auch auf dem kurzen Dienstweg immer schnell ausdiskutiert werden.

Meinen ehemaligen Arbeitskollegen danke ich für die langjährige Zusammenarbeit am Institut. Die Kollegialität, der Zusammenhalt, die gemeinsamen Freizeitaktivitäten und die unzähligen fachlichen Diskussionen haben meine Promotionszeit unvergesslich gemacht. Hervorzuheben sind hierbei insbesondere Andrea Rüßmann, Christoph Jansen, David Rüßmann, Erdogan Coskun, Holger Giani, Kay Johnen, Martin Simons, Mattias von Harten, Michaela Lindemann und Sebastian Kaufeld.

Außerdem möchte ich mich herzlichst bei den studentischen Hilfskräften bedanken. Besonders bei Elena Riegel, Malte Althaus und Nils Kroll, die mich bei meiner Dissertation durch Recherchearbeiten und Durchführung von Analysen unterstützt haben.

Ohne die Unterstützung des Sekretariats und der Institutsverwaltung wäre sicher einiges nicht so reibungslos abgelaufen. Dafür möchte ich mich bei Erna Braun, Angelika Müller und Margret Joannidis bedanken.

All meinen Freunde, speziell Simon Andres und den „Fünf von der Müllabfuhr“ Dennis Wegkamp, Steffen Overmeier, Sven Hübner sowie Thomas Worrying, danke ich für die private Ablenkung, die mir geholfen hat, den Kopf frei zu bekommen und für die fachlichen Diskussionen.

Meinen Eltern und meiner Schwester möchte ich für die bedingungslose Unterstützung danken, auf die ich mich jederzeit verlassen kann. Diese Art des Rückhalts hat mich dorthin gebracht, wo ich heute stehe.

Der größte Dank geht jedoch an meine liebe Frau Teresa und an meine Tochter Sandra. Sie haben mir die Kraft gegeben, die ein oder andere Krise zu bewältigen, durchzuhalten und weiterzumachen. Vielen Dank für die Zuversicht und den großen familiären Rückhalt, den ich erfahren durfte.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Kunststoffe als Verpackungsmaterial	3
2.1. Verpackungen	3
2.1.1. Definitionen von Verpackungen und Verpackungsbegriffen	3
2.1.2. Aufgaben und Funktionen einer Verpackung	6
2.1.3. Die Einordnung der Verpackung in die gesamte Verpackungsprozesskette	7
2.2. Aufkommen und Arten von Verpackungen	9
2.3. Definition von Kunststoffen	10
2.3.1. Kunststoffadditive	12
2.3.2. Verarbeitung von Kunststoffen	13
2.4. Gesetzliche Grundlage	15
2.5. Recyclinggerechtes Design von Verpackungen	19
3. Kunststoffverpackungsabfälle und deren Recycling	22
3.1. Mengen angefallener Kunststoffverpackungsabfälle	22
3.2. Entsorgungs- und Verwertungswege von Kunststoffverpackungsabfällen	24
3.2.1. Verwertung von Leichtverpackungsabfall	26
3.2.2. Verwertung von Pfandflaschen	29
3.3. Mechanische Kunststoffaufbereitung zu Sekundär-rohstoffen am Beispiel des PET-Recyclings	30
3.3.1. Eingangsmaterial der mechanischen Aufbereitung	31
3.3.2. Mechanische Aufbereitungsanlagen zur Sortierung von Kunststoffverpackungsabfällen	34
3.4. Reinheiten und Qualitäten	42
3.5. Ausbeute und Verlust	44
4. Forschungsfrage	47
5. Material und Methoden	49
5.1. Versuchsmaterial	49
5.1.1. PET Getränkeflaschen aus dem Pfandsystem	50

5.1.2. PS-Kunststoffkörper aus dem Leichtverpackungsabfall.....	55
5.2. Methodenentwicklung	57
5.3. Durchführung von Analysen.....	60
5.4. Statistische Repräsentanz	62
6. Ergebnisse der Versuche	64
6.1. Messergebnisse PET-Flaschen	64
6.2. Messergebnisse PS-Verpackungen	67
6.3. Überprüfung der statistischen Repräsentanz	70
7. Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	71
8. Einordnung der Ergebnisse in den Gesamtkontext.....	80
9. Zusammenfassung	82
10. Literaturverzeichnis	85
Anhang.....	95
Kurzzusammenfassung	135
Abstract.....	136
Lebenslauf.....	137