

---

## Vorwort

Die Behandlung und Verwertung von Abfällen war weltweit zunächst eine Umweltschutzmaßnahme. Seit einigen Jahrzehnten verlagerte sich der Schwerpunkt auf die Wiedergewinnung der Wertstoffe und deren Rückführung in den Wirtschaftskreislauf. Dafür hat sich international der Begriff Recycling durchgesetzt (engl. recycling; franz. recyclage; span. reciclaje; ital. riciclaggio).

Nach wie vor bietet dieser Begriff eine Reihe von Interpretationsmöglichkeiten. Mit der letzten Revision der Europäischen Abfallrahmenrichtlinie und deren Umsetzung in deutsches Recht als Kreislaufwirtschaftsgesetz im Jahre 2012 (KrWG) wurde der Begriff Recycling für den Europäischen Raum konkretisiert. Jenseits juristischer Auslegungen kann unter Recycling der gesamte Prozess verstanden werden, der die Sammlung von Abfällen, die Durchführung von Vorbehandlungsmaßnahmen, die mechanische Aufbereitung zu Sekundärrohstoffen und deren Verarbeitung zu neuen Grundstoffen und Werkstoffen umfasst.

Die bereits historische Bedeutung des Recyclings wird allerdings deutlich an der Verwertung von Altmetallen, die seit der Gewinnung und Nutzung von Metallen praktiziert wird. Das war durch die spezifischen Eigenschaften der Metalle möglich.

Metalle und Metalllegierungen erfahren während ihres Gebrauchs nur wenig Verschleiß und sind häufig sehr korrosionsbeständig. Das führt zu einem geringen Wertverlust, d. h. die Aufwendungen für die Gewinnung der Erze und die Metall-Herstellung, wie Arbeitskraft, Kapital, Energie und Hilfsstoffe gehen nicht verloren. Eine erneute Nutzung nach Umarbeitung ist häufig mit geringem zusätzlichem Aufwand durch Umformen oder Umschmelzen möglich. Das gilt in besonderem Maß für die Edelmetalle (Gold, Silber, u. a.), aber auch für Eisen und die Nichteisenmetalle (Kupfer, Blei, Zinn u. a.) sowie deren Legierungen (z. B. Bronze, Messing). Die Wertbeständigkeit der Metalle begründete letztlich ihre Verwendbarkeit als Tauschwert (Bronzestücke, Edelmetallmünzen).

Andere Materialien wie Flüssigkeiten (Öle, Beizen usw.) sind nach Aufarbeitung ebenfalls weiter verwendbar. Die Nutzung von Altpapier existiert seit Erfindung des Papiers. Beschriebene Pergamente wurden im Mittelalter z. B. als Bucheinband erneut genutzt und stellen heute wertvolle historische Dokumente dar. Eine lange Tradition hat auch die Verwertung von Altglas durch Umschmelzen. Die Mehrfachnutzung von Holz, Textilien und Wasser in Haushalten und Industrie ist ebenfalls weit verbreitet. In Zeiten der Rohstoffknappheit oder wirtschaftlicher Krisen wurde Recycling oft als bedeutende gesellschaftspo-

litische Maßnahme durchgeführt. Das betraf z. B. das Sammeln von Edelmetallschmuck im 1. Weltkrieg oder das Einschmelzen von Bronzedenkmälern und Glocken im 2. Weltkrieg.

Im Rahmen der weltweiten Umweltdiskussion der vergangenen Jahrzehnte hat das Recycling aber eine noch deutlich erweiterte Bedeutung als Umweltschutzmaßnahme gewonnen. Durch diese „Verwertung von Abfällen“ wird z. B. die Deponierung von Müll reduziert und der Schadstoffeintrag von festen Stoffen, Flüssigkeiten und Gasen in den Boden, in Flüsse und Grundwasser sowie in die Atmosphäre verringert. Außerdem ermöglicht das Recycling häufig eine erhebliche Einsparung von Energie gegenüber der Primärproduktion. Recycling liefert damit einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und damit der globalen Erwärmung. Immer komplexere Produktionsprozesse und Produkte, immer kürzere Produktlebenszyklen und der Einsatz einer immer größeren Zahl begrenzt verfügbarer Rohstoffe verschärfen die Herausforderungen für hocheffiziente Recyclingverfahren und -strukturen.

In den letzten Jahrzehnten ist ein umfangreiches Schrifttum zu verschiedenen Teilgebieten des Recyclings entstanden, von Zeitungen und Fachzeitschriften über Tagungsbände bis zu ergänzungsfähigen Loseblatt-Sammlungen und Fachbüchern. Für die Ausbildung von Studierenden fehlte aber eine Monografie, die Zugang und Überblick zu den wichtigsten Grundlagen und Verfahren sowie zu wesentlichen Praxisbeispielen der Recyclingtechnik lieferte. Mit der Publikation des Fachbuchs für „Recyclingtechnik“ (H. Martens) wurde diese Lücke im Jahre 2011 erstmals gefüllt. Die Resonanz auf dieses Buch veranlassten Verlag und Autor, nun eine aktualisierte Fassung mit kolorierten Abbildungen herauszugeben. Durch die Einbindung eines zweiten Autors (D. Goldmann) konnte eine 2. Auflage in aktualisierter und erweiterter Fassung als Lehrbuch erarbeitet werden.

Selbstverständlich kann auch dieses Werk nicht auf alle Aspekte der Welt des Abfalls eingehen. Bewusst erfolgt eine Fokussierung auf die Recyclingtechnik nichtbiologischer Abfälle. Fragen der biologischen Abfallbehandlung, der Abfallwirtschaft, der Abwasserbehandlung oder des Umweltrechts bleiben anderen Publikationen vorbehalten.

Das vorliegende Lehrbuch „*Recyclingtechnik*“ konzentriert sich auf die Recyclingtechnologien mit ihren verfahrenstechnischen Grundlagen und auf relevante Praxisbeispiele und ergänzt diese im erforderlichen Maße durch wirtschaftliche, ökologische und abfallrechtliche Anmerkungen. Dadurch wird die Komplexität der Probleme für den Recyclingingenieur von morgen erkennbar, denn dieser muss Generalist mit breitem technischem Sachverstand sein. In 16 Kapiteln folgt auf eine allgemeine Einführung die Vermittlung verfahrenstechnischer Grundlagen. Dabei wird immer von den spezifischen Eigenschaften und den Einsatzgebieten der Werkstoffe und Materialien ausgegangen. Entscheidende Unterschiede der Recyclingfähigkeit von Metallen, Kunststoffen, Papier, Glas und Keramik werden herausgearbeitet, die typischen Recyclingverfahren für diese Stoffe beschrieben und damit der Zugang zum Recycling von hochkomplexen Altprodukten (Altautos, Elektronikschrott u. a.) eröffnet. Ergänzend dazu werden auch die Recyclingmöglichkeiten für andere wichtige Stoffe (Metallsalze, Salzlösungen, Oxide, Farben, Lacke, Lösemittel, Öle Gase) angerissen. Die Kenntnis der Grundlagen soll auch die Fähigkeit zur Bearbeitung neuer Recyclingaufgaben ermöglichen, die sich durch Einführung neuer Werkstoffe,

Werkstoffverbunde und Produkte (z. B. LCD-Displays, Photovoltaikmodule, LED-Lampen, Magnete mit Seltenerdmetallen) sowie dem damit verbundenen Anfall neuartiger Produktionsabfälle ständig ergeben. Bei der Verwertung komplexer Altprodukte kommt dem Recycling von Altfahrzeugen, Elektro- und Elektronikaltgeräten sowie Batterien eine besondere Bedeutung zu. Dies wird deshalb in speziellen Kapiteln behandelt.

Für eine möglichst vollständige Verwertung von Abfällen kann in der Regel auf thermische Abfallbehandlung und energetische Verwertung nicht verzichtet werden. Aus diesem Grunde ist dieser Thematik ein eigenes Kapitel gewidmet. Aus der im KrWG festgelegten Produktverantwortung der Hersteller von Erzeugnissen ergeben sich Schlussfolgerungen für eine recyclinggerechte Konstruktion aller Erzeugnisse. Diese Thematik wird in einem abschließenden kurzen Kapitel behandelt. Ausführliche Darstellungen zu diesen Themengebieten würden den Rahmen des Buches sprengen, es sollen aber zumindest Implikationen und Schnittstellen zu diesen Gebieten aufgezeigt werden.

Das Buch ist als einführende Literatur für Studenten an Hochschulen und Universitäten mit technischen, naturwissenschaftlichen und wirtschaftlichen Studiengängen konzipiert, wird aber auch Ingenieuren, Technikern und Betriebswirten in der Praxis und in den Umweltbehörden Einstieg und Vertiefung in Bereiche der Recyclingtechnik ermöglichen. Vielleicht findet es aber auch das Interesse einer weiteren Leserschaft, trägt damit zu einem besseren Verständnis der komplexen Zusammenhänge der Recyclingproblematik bei und kann so einen kleinen Beitrag zur Entwicklung einer ressourceneffizienten Gesellschaft leisten.

Eine wesentlich kürzere Darstellung zur Recyclingtechnik wurde von Hans Martens bereits in das „*Handbuch Konstruktionswerkstoffe*“ im Kapitel V3 (Hanser Verlag 2008 und 2014) eingebracht. Mit freundlicher Zustimmung des Hanser Verlags war es möglich, einige Tabellen und Abbildungen aus diesem Handbuch in das vorliegende umfassendere Buch zu übernehmen. Bei den betreffenden Tabellen und Abbildungen ist dann immer die Quelle [2.1] oder [3.21] angegeben.

Dem Springer Verlag danken wir für die Übernahme der 2. Auflage in den Bereich Energie und Umwelt bei Springer Vieweg. Besonderer Dank geht auch an den neuen Lektor Dr. D. Fröhlich, mit dem eine sehr konstruktive Zusammenarbeit realisiert werden konnte.

Hans Martens, Augsburg, 2015

Daniel Goldmann, Clausthal-Zellerfeld, 2015

Recyclingtechnik

Fachbuch für Lehre und Praxis

Martens, H.; Goldmann, D.

2016, XXIII, 556 S. 174 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-02785-8