



© Ansgar van Treeck

Innovative Recyclingtechnologien

Chancen, Herausforderungen und Gute-Praxis-Beispiele des Recyclingmarkts

Dr.-Ing. Ulrike Lange
VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Effizienz Forum Wirtschaft
Steinfurt, 24.08.2022

VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE)

- Fokus auf Ressourceneffizienz in der **betrieblichen Praxis** durch Anbindung an den VDI
- Kompetenzzentrum für **bedarfsgerechte Aufbereitung** von **technischem RE-Wissen** für **KMU**
- Setzung von Standards durch Entwicklung von **VDI-Richtlinien** zur Ressourceneffizienz in Zusammenarbeit mit dem VDI e. V.



[Fotos: VDI ZRE Web Videomagazin]

VDI ZRE – Produkte und Schwerpunkte

RESSOURCEN-CHECKS

Ergebnis 3 von 6

Steigern Sie kontinuierlich die Materialeffizienz der Vorbehandlungsprozesse in Ihrem Unternehmen?

Ihre Antwort: Wir haben Potenziale erkannt und versuchen den Einsatz von Reinigungsmitteln und Prozesschemikalien zu reduzieren.

3

Checkliste

Beispiele

Ergebnis 4 von 6

Haben Sie bereits Prozessoptimierungen zur Steigerung der Materialeffizienz vorgenommen?

Ihre Antwort: Ja, wir arbeiten kontinuierlich an Materialeinsparungen durch Optimierung unserer Prozesse.



KOSTENRECHNER

Dazu steht ein ZIP-Download zur Verfügung. Alternativ kann der Kostenrechner auch auf CD bestellt werden.

Aufbau des Rechners

Das Tool besteht aus drei Modulen, die je nach Bedarf einzeln oder aufeinander aufbauend angewandt werden können.

Kostenstrukturrechner



Dieses Modul erlaubt dem Nutzer, die Kostenstruktur in seinem Betrieb darzustellen. Dem Anwender soll dabei aufgezeigt werden, welche Bereiche in seinem Betrieb die Kostentreiber sind und welchen Anteil Material- und Energiekosten im Unternehmen haben. Zusätzlich kann die betriebliche Kostenstruktur mit den jeweiligen Branchendurchschnitten (Statistisches Bundesamt) verglichen werden. Kostenstrukturrechner

STUDIEN & KURZANALYSEN

VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 18

Ressourceneffizienz durch Remanufacturing - Industrielle Aufarbeitung von Altteilen



INNOVATIONSRADAR

Innovationsradar

Neue Technologien und Prozesse

Intensive Forschung und praxistaugliche Lösungen sind der Schlüssel für ein ressourceneffizientes Meßgen. Der Innovationsradar enthält Informationen zu neuesten Technologieentwicklungen und optimierten Prozessen, die das Potenzial haben, den Material- und Energieverbrauch zu senken.

Filtern nach: Alle Technologiebereiche

Alle Lösungsansätze

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Rückgewinnung von abgelagerten Feinsanden mittels neuer, innovativer Verfahren

Bausätze und Bauprodukte / Werkstoffherstellung

Mit Mitteln des Umweltinnovations-Programms wird die Dörrertrag Quarz GmbH & Co. KG eine Feinsand-Rückgewinnungstechnologie in Verbindung mit innovativen Sandaufbereitungsverfahren entwickelt.

FILME

Zentrum Ressourceneffizienz

RESSOURCE EFFIZIENTIV

Themen / Filmprojekte / Übers. In English

Mit Wasser Energie sparen - Abwasserzirkulation in Kreislaufbetrieben

Abwasserzirkulation spart bis zu 90% Wasser. Kreislaufbetriebe können bis zu 90% Wasser sparen. Abwasserzirkulation spart bis zu 90% Wasser. Kreislaufbetriebe können bis zu 90% Wasser sparen.

Aktuelle Themen:

- Aluminium: Oberflächeneffizienz und Wasser sparen
- Kunststoffverarbeitung: Wasser sparen in der Kunststoffverarbeitung
- Berater: Ein großer Teil der Leistungen in Deutschland sind aus dem Ausland. Wie können Sie die Effizienz steigern?
- Firmenströme: Wie können Sie die Effizienz steigern?

QUALIFIZIERUNG & VERANSTALTUNGEN

Zentrum Ressourceneffizienz

Seminare / Online / Online Anmerkung

SEMINAR

Qualifizierung Ressourceneffizienz 2014

Die zunehmende Verknappung natürlicher Ressourcen und die steigenden Preisen für Energie und Wasser zwingen Unternehmen, ihre Produktionen effizienter zu gestalten. Dieser Kurs ist für alle Unternehmen geeignet, die ihre Produktionen effizienter gestalten wollen.

Die Ergebnisse von mehr als 3.000 Unternehmen in den Bereichen Energieeffizienz, Wassereffizienz und Abfallmanagement sind in diesem Kurs dargestellt. Die Teilnehmer können sich von den besten Unternehmen inspirieren lassen und lernen, wie sie ihre eigenen Unternehmen effizienter machen können.

Der effiziente Einsatz von Material und Energie spart bei der Produktion Kosten. Effizienz ist ein wichtiger Wettbewerbsvorteil. Dieser Kurs zeigt, wie Sie die Effizienz in Ihrem Unternehmen steigern können.

Die angebotenen Kurse geben einen grundlegenden Einblick in die Themen der Ressourceneffizienz und zeigen, wie Sie die Effizienz in Ihrem Unternehmen steigern können.

Erfahren Sie Praktiken und Praktiken, die seit Jahren Erfolge in der RE in KMU erbracht haben, verteilte anhand von konkreten Beispielen hinsichtlich der wichtigsten Methoden zur Effizienzsteigerung in produzierenden Unternehmen.

efm imu new

VDI-HANDBUCH RESSOURCENEFFIZIENZ

Methodische Grundlagen der Bewertung von Ressourceneffizienz

Branchenleitfaden Kennzahlen

Produktionsorientierter Umweltschutz

Richtlinien zu Einzeleintragen

Richtlinien-Screening (im Rahmen der künftigen Überprüfung)

bestehend

In Bearbeitung

März 2011

in Kooperation mit dem VDI e.V.



Innovative Recyclingtechnologien

STUDIEN & KURZANALYSEN

VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 18

Ressourceneffizienz durch Remanufacturing -
Industrielle Aufarbeitung von Altteilen



Innovative Recyclingtechnologien



STUDIEN & KURZANALYSEN

VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 18

Ressourceneffizienz durch Remanufacturing -
Industrielle Aufarbeitung von Altteilen



Juni 2007,
Lissabon,
40 °C...
Gülle!

Kurzanalyse Innovative Recyclingtechnologien

Ziel der Kurzanalyse:

Erfassung von aktuellen Innovationen und künftigen Technologieentwicklungen im Recycling folgender Fraktionen:

- Kunststoffe
- Batterien und Akkumulatoren
- Solarmodule
- Technologiemetalle



Kurzanalyse Innovative Recyclingtechnologien

Inhalt der Kurzanalyse:

Einleitend werden je Fraktion

- gesetzlichen Herausforderungen,
- marktwirtschaftlichen Herausforderungen
- Herausforderungen in der Praxis dargestellt.

Aufbauend darauf werden je Fraktion

- Aktuelle Innovationen und Technologieentwicklungen vorgestellt.



Kurzanalyse Innovative Recyclingtechnologien

Inhalt der Kurzanalyse:

Fachgespräch dient der Zementierung
der Ergebnisse der Kurzanalyse

- Fachgespräch 24. Februar 2022:
„Innovative Recyclingtechnologien von Industriebatterien“
- **16 Teilnehmern** aus Forschung, Industrie, Politik und fachlichen Netzwerken.
- Die Teilnehmer des Fachgesprächs diskutierten über Herausforderungen bezüglich der **notwendigen Hochskalierung der Recyclingkapazitäten** vorrangig von Lithium-Ionen-Batterien



Entwicklungen im Kunststoffrecycling



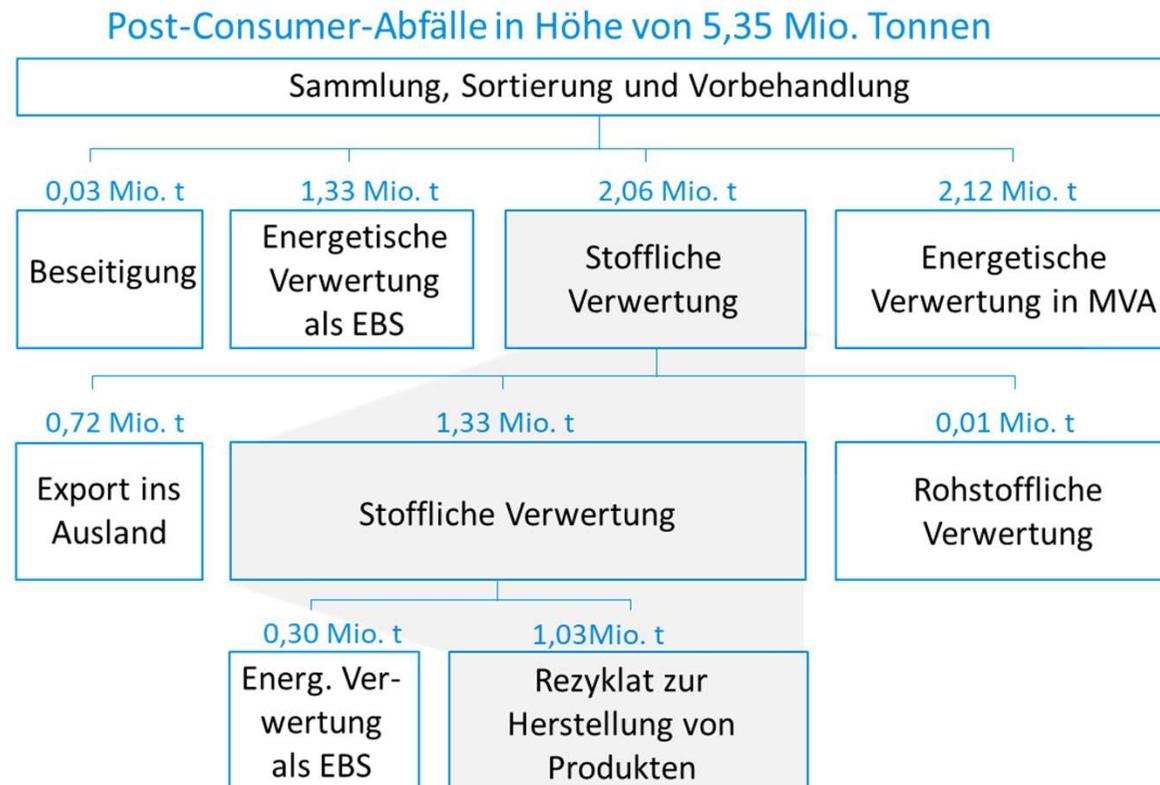
Aktuelle Recyclingsituation

	Gesamt-Kunststoffabfälle		Post-Consumer-Abfälle		Abfälle aus Produktion und Verarbeitung	
	Mio. Tonnen	%	Mio. Tonnen	%	Mio. Tonnen	%
Stoffliche Verwertung	2,93	46,6	2,06	38,6	0,87	92,6
davon rohstoffliche Verwertung	0,01	0,2	0,01	0,3	0,00	0,00
davon werkstoffliche Verwertung	2,92	46,4	2,05	38,3	0,87	92,6
Energetische Verwertung	3,21	52,8	3,25	60,8	0,06	6,4
Beseitigung/Deponierung	0,04	0,6	0,03	0,6	0,01	1,0
Abfallaufkommen insgesamt	6,28	100	5,35	100	0,94	100

→ **Recyclingquoten** für Kunststoffabfälle (stoffliche Verwertung von Produktionsabfällen und Post-Consumer-Abfällen) bei knapp **47 Prozent**.

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle#hohe-verwertungsquoten>

Aktuelle Recyclingsituation



Das entspricht einer Recyclingquote von **19,2 Prozent** bezogen auf die Menge der Post-Consumer-Abfälle.

Quelle: <https://www.conversio-gmbh.com/de/news>

© VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH



VDI-Green Paper

Circular Economy für Kunststoffe neu denken

Wie die Transformation zur zirkulären
Wertschöpfung gelingen kann



Quelle: VDI-Round Table Circular Economy, URL: <https://www.vdi.de/themen/politischer-dialog/dialog-events/vdi-round-table-circular-economy>

© VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Marktwirtschaftliche Herausforderungen

- (a) Es existieren keine vergleichbaren Wettbewerbsbedingungen zwischen Rezyklaten und Kunststoffen aus fossilen Rohstoffen.
- (b) Es existiert eine Disbalance von Angebot und Nachfrage im Markt für Rezyklate.
- (c) Es herrscht eine fragmentierte Wertschöpfung in der Kunststoffwirtschaft vor
- (d) Es bestehen technologische Grenzen und Zielkonflikte.
- (e) Die politische Regulierung ist bislang auf Abfall ausgerichtet.
- (f) Der Handlungsdruck auf die Kunststoffbranche ist durch die öffentliche Kommunikation hoch



Marktwirtschaftliche Herausforderungen

Es existiert eine **Disbalance von Angebot und Nachfrage im Markt für Rezyklate.**

Standardisierung von Kunststoffrezyklaten

In den letzten Jahren haben sich **Zertifizierungen** etabliert, die Kunststoffrezyklate nach gewissen Kriterien bewerten.

- beispielsweise Zertifikate wie EuCertPlast und flustix RECYCLED von DIN CERTCO.
- **DIN SPEC 91446** „Klassifizierung von Kunststoff-Rezyklaten durch Datenqualitätslevel für die Verwendung und den (internetbasierten) Handel“
- die Norm dient als Grundlage für eine folgende europäische Norm und fördert damit den global ausgerichteten Kunststoffmarkt.



Marktwirtschaftliche Herausforderungen

- (a) Es existieren keine vergleichbaren Wettbewerbsbedingungen zwischen Rezyklaten und Kunststoffen aus fossilen Rohstoffen.
- (b) Es existiert eine Disbalance von Angebot und Nachfrage im Markt für Rezyklate.
- (c) Es herrscht eine fragmentierte Wertschöpfung in der Kunststoffwirtschaft vor
- (d) Es bestehen technologische Grenzen und Zielkonflikte.
- (e) Die politische Regulierung ist bislang auf Abfall ausgerichtet.
- (f) Der Handlungsdruck auf die Kunststoffbranche ist durch die öffentliche Kommunikation hoch



Marktwirtschaftliche Herausforderungen

Es herrscht eine fragmentierte Wertschöpfung in der Kunststoffwirtschaft vor

Gründung des **Rezyklat-Forum**

- aktuell 58 Mitglieder, überwiegend Händler, Hersteller, Entsorger und Verpackungshersteller.
- Entwicklung von Maßnahmen und Strategien zu vier Fachbereichen: Stammdatenmanagement, Technologie und Recyclingfähigkeit, Endverbraucher-Kommunikation und Verpackungsreduzierung
- Beispiel: im Bereich Stammdatenmanagement konnte die Abbildung der Recycling-Anteile von Verpackungsmaterialien im Global Data Synchronisation Network (GSDN) umgesetzt werden. → Produktpässe

Quelle: <https://www.forum-rezyklat.de/fuer-unternehmen/>

© VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH



Stand der Technik - Sortierung

KONDITIONIERUNG

Vorzerkleinerer,
Gebindeöffner und
Dosiermaschinen für die
Konditionierung des
Inputmaterials

KLASSIFIZIERUNG

Trommelsiebe und
Schwingsiebe für die
Klassierung in drei bis
fünf Korngrößen

SORTIERUNG

Magnetscheider, Wirbelstromscheider,
Windsichter, sensorgestützte
Sortiersysteme (NIR), manuelle
Klaubung und Ballistikseparatoren für
die Sortierung in unterschiedliche
Material- und Kunststofffraktionen

Restabfall

PE, HDPE, PP, PET, PS, PPK, Mischkunststoffe,
Kunststoff-Hohlkörper, Flüssigkeitskartonage,
formstabile Kunststoffe, Aluminium,
Weißblech, Folien, Rest



Innovative Sortiertechnologien

Die Herausforderung der schwarzen Kunststoffe und Sortiergrad

Sortierung durch Spektroskopie

Durch eine hochauflösende Hyper Spectral Imaging Technologie (HSI) und einer komplexeren Auswertung der Spektren können auch spektrenlose und rußgefärbte Objekte mit einer Größe von bis zu 200 Millimetern detektiert und positiv aussortiert werden.

Voraussetzung: Platzbedarf und zu amortisierende Investitionen [\(Quelle: Steinert\)](#)

Detektierbares Schwarz

Ein Unternehmen entwickelte ein schwarzes Pigment, das ein hohes Deckvermögen und Anforderungen für sensible Anwendungsbereiche wie Lebensmittelverpackungen erfüllt. Das Pigment kann über NIR-Scanner erkannt und entsprechend aussortiert werden. **Voraussetzung:** geschlossene Kreisläufe! [\(Quelle: Packaging Journal\)](#)

Fluoreszierende Marker

Marker wird entweder in das Produkt oder auf das Etikett aufgebracht und besitzt ein spezifisches Spektrum, das mittels Fluoreszenzspektroskopie ausgelesen wird.

Voraussetzung: geschlossene Kreisläufe! [\(Quelle: Polysecure\)](#)

Digitales Wasserzeichen

Das Etikett oder die Oberfläche von Verpackungen wird mehrfach bedruckt bzw. geprägt mit einem nicht wahrnehmbaren, optischen Code, der durch Farbkameras erkennbar ist. Durch die Zerkleinerung der Verpackungen wird das digitale Wasserzeichen gelöscht [\(Quelle: Digital Watermark\)](#)

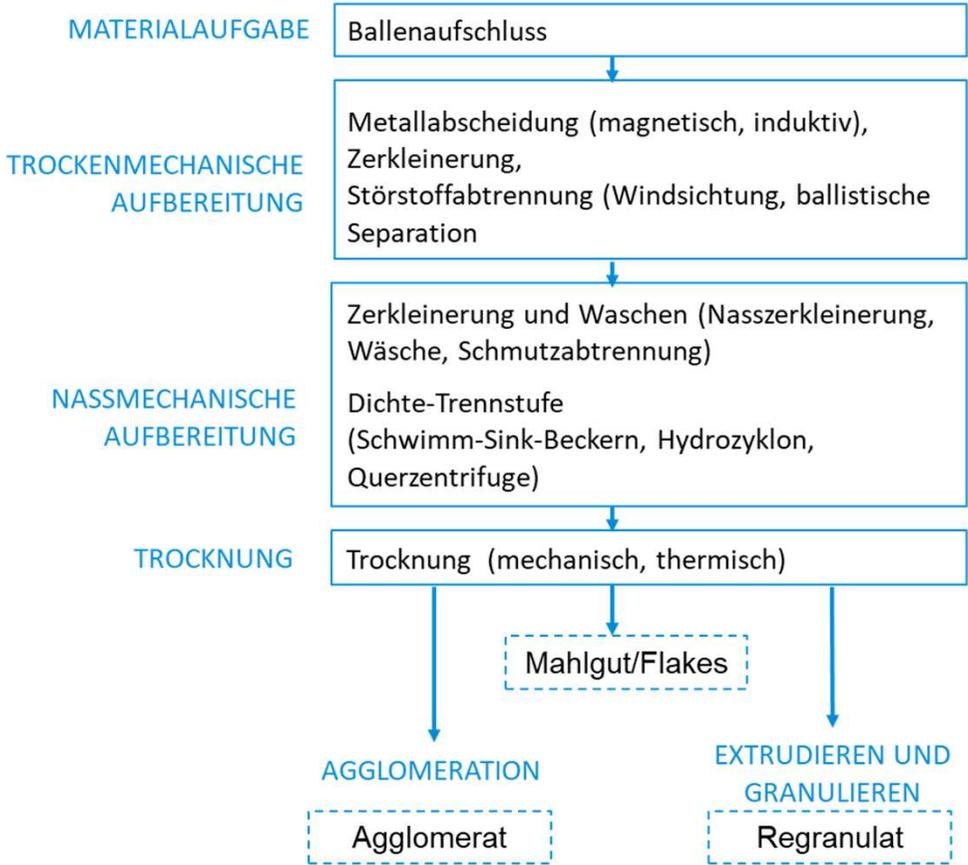


Innovative Sortiertechnologien

Vorteile der neuen Technologien, die jedoch aktuellen Stand der Technik nicht ersetzen können, sondern als Ergänzung angesehen werden

- Trennung von Food- und Non-Food-Verpackungen
- gezieltes Ausschleusen qualitätsmindernder Inhalte
- Farbsortierung
- Qualitätstransparenz

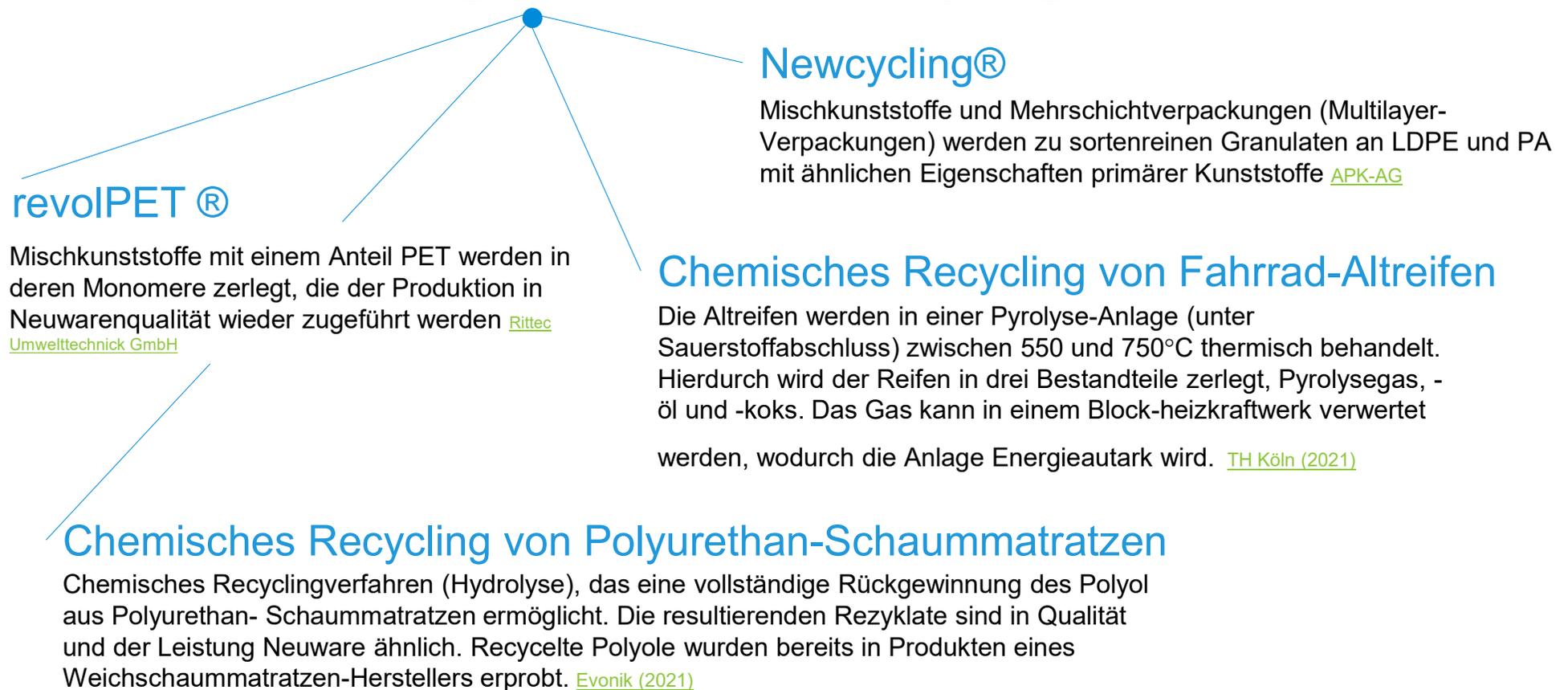
Stand der Technik – Stoffliche Verwertung





Innovative Verwertungstechnologien

Aktuelle Entwicklungen im chemischen Recycling



Entwicklungen im Batterierecycling



Aktuelle Recyclingsituation

	Sammel- Menge*	Recycling- effizienz	Sammel- menge*	Recycling- effizienz	Sammel- menge*	Recycling- effizienz
	2020		2019		2018	
Blei-Säure- Batterien	150.943 t ¹	81,6 % (65 %)**	205.254 t	81,9 % (65 %)	200.410 t	80,6 % (65 %)
Nickel- Cadmium- Batterien	1.048 t	79,5 % (75 %)	1.353 t	77,6 % (75 %)	1.221 t	79,1 % (75 %)
Sonstige Batterien	29.620 t	76,2 % (50 %)	22.315 t	75,5 % (50 %)	17.424 t	83,8 % (50 %)
Gesamt	181.611 t		228.922 t		219.055 t	

*gesammelte Menge, die einem Recycling zugeführt wurde, ** In Klammern: regulatorisch geforderte Mindestrecyclingeffizienz

→ Insbesondere für Lithium-Ionen-Batterien sind **neue Recyclingkapazitäten** zu schaffen. Prognosen schätzen, dass sich das **Marktvolumen von Lithium-Ionen-Batterien in Europa im Mittel bis 2030 verzehnfachen wird**

Quellen: UBA und ZVEI:

Aktuelle Recyclingsituation

Unternehmen	zurückgewonnene Rohstoffe	Input
Accurec	Lithium, Kupfer, Eisen, Nickel, Kobalt, Aluminium, Plastik	Li-Ion, Ni-Cd, Ni-Mh
Duesenfeld GmbH	Lithium, Kobalt, Nickel, Eisen, Kupfer, Aluminium,	Li-Ion
Eramet	Lithium, Kobalt, Nickel, Eisen, Kupfer, Aluminium,	Li-Ion, Alk/Zn-C
Redux	Eisen, Aluminium, Kupfer, Plastik	Li-Ion, Alk/Zn-C

Quelle: [Element Energy](#)



Ergebnisse des Fachgesprächs

Neue Batterierichtlinie erwartet im Sommer 2022:

→ Einhaltung der **ab 2030 regulatorisch geforderten Recyclingquoten** unklar:

- **maximaler Rezyklateinsatz von 5 Prozent stammend aus Altbatterien erwartbar,**
- Produktionsnahe Recyclingprozesse (Ausschüsse von bis zu 50 % bei Anfahren der Prozesse) zählen **nicht zu den End-of-Life Batterien**
- Die **Lebensdauer** von Industriebatterien liegt bei durchschnittlich 15 Jahren, durch Second-Life-Anwendung verlängerbar
- **Illegale Verbringung von E-Autos** - Anreize schaffen, Industriebatterien und die darin enthaltenen Ressourcen im europäischen Markt zu halten



Innovative Recyclingtechnologien

Aktuelle Entwicklungen in der Demontage

DeMoBat

Industrielle und automatisierte Demontage von Batteriemodulen und E-Antriebsaggregaten unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen, Entwicklung von vier Demonstratoren. ([Fraunhofer IPA](#))

DemoSens

Machbarkeit einer automatisierten, sensorgestützten und digitalisierten Demontage von Lithium-Ionen-Batterien. Ziel ist es ein Robotersystem als Pilotanlage zu entwickeln, welches eine Demontage bis auf Modul- bzw. Zellebene durchführt und eine sensorbasierte Materialerkennung und damit eine Sortierung in Fraktionen ermöglicht. ([RWTH Aachen](#) und [FH Münster](#))

DIGISORT

Messtechnik, die die Eigenschaften des Schredderguts für jedes Bruchstück on-line und in-line erfassen soll, In Kombination mit Bilddaten werden große Datensätze gewonnen und über maschinelles Lernen so verarbeitet werden, dass ingenieurtechnische Zusammenhänge über die Partikelart und -form sowie die Zusammensetzung gezogen werden können ([GreenBatt \(2022\)](#))



Innovative Recyclingtechnologien

Aktuelle Entwicklungen der Verwertungsprozesse

Demonstrationszentrum Batterie-Recycling

Das Demonstrationszentrum soll die vorindustrielle Forschung fokussieren und auf die Generierung von notwendigen Verfahrenswissen zur Weiterentwicklung des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien abzielen. Die Umsetzung der Demonstrations-, Erprobungs- und Forschungsanlage zum Batterie-Recycling ist aktuell in der politischen Diskussion bzw. im Planungsprozess

[\(Land NRW\)](#)

Graphitrückgewinnung durch Schaumflotation

Am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) wurde die Rückgewinnung von Graphit aus Altbatterien untersucht. Dazu wurde ein Konzept entwickelt, dass die Methode der Schaumflotation anwendet. Da der Prozess über die selektive Hydrophobierung erfolgt, können so die Mineralien über ihre wasserabweisende Eigenschaft und der Fähigkeit der Anhaftung an Gasblasen, über den Schaum ausgetragen werden ([Vanderbruggen, HZDR \(2021\)](#))

CROCODILE

insgesamt 24 Projektpartner, (Weiter-)Entwicklung von Aufbereitungsverfahren von insbesondere des ressourcenkritischen Kobalts: Pyro- sowie hydrometallurgische, biologische als auch elektrometallurgische Technologien stehen dabei im Forschungsfokus. Eine Pilotanlage soll beispielsweise über das Solventextraktionsverfahren (SX) Kobaltkonzentrate in verkaufsfähige Kobaltsalze überführen. Geplant ist eine Kapazität von rund 5 Tonnen Kobaltprodukt pro Tag ([Accucrec](#))



Fazit zum Batterierecycling

- Die Wertschöpfungskette für Industriebatterien ist geprägt durch ein **dynamisches Wachstum**
- Die regulatorischen Randbedingungen **reagieren angemessen früh** auf den Markt.
- Die **genaue Auslegung** von insbesondere den Recyclingquoten ist **diversen Unsicherheiten** unterworfen, die jedoch über eine geplante Revision adressiert werden sollen.



Fazit zum Batterierecycling

- Dynamische Entwicklung von innovativen Technologien, **intensive F&E.**
- Recyclinggerechtes Design notwendig
- **Demontage- bzw. Recyclingprozesse möglichst flexibel gestalten**, um adäquat auf die Variantenvielfalt der Industriebatterien reagieren zu können.



Bei Fragen und Anmerkungen

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
Bülowstraße 78
10783 Berlin

Dr.-Ing. Ulrike Lange
Tel.: +49 30 27 59 506-32
lange_u@vdi.de

www.vdi-zre.de

www.ressource-deutschland.de