

Positionspapier

Kreislaufwirtschaft als Grundlage für eine sichere und nachhaltige Rohstoff- und Energieversorgung



Kreislaufwirtschaft als Grundlage für eine sichere und nachhaltige Rohstoff- und Energieversorgung

Die Nachfrage nach Materialien für erneuerbare Energien und Batterien wird sich bis 2050 vervierfachen.¹ Die Schaffung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft ist notwendig, um planetare Ressourcen und die Umwelt zu schützen sowie den Zugang zu Rohstoffen und die Energiesouveränität zu sichern.

Um Materialkreisläufe zu schließen und weniger Primärrohstoffe der Natur zu entnehmen, müssen die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes integriert werden. Ein ganzheitlicher, nachhaltiger Ansatz beim Produktdesign, der Kosten, Lebensdauer, Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit berücksichtigt, bildet die Basis für die Kreislaufwirtschaft und macht das Produkt auch wirtschaftlich attraktiv. Diese Umstellung erfordert sektorübergreifende Innovationen in Materialien, Produkten und Produktion sowie das Einbinden digitaler Technologien. Sie bietet enorme wirtschaftliche und gesellschaftliche Chancen: Erschließung neuer Absatzmärkte, Senkung der Produktionskosten, Erhöhung der Resilienz von Lieferketten, und Schaffung neuer Arbeitsplätze in Bereichen wie Produktdesign, Reparatur und Recycling.

Aktueller Kontext und Relevanz

Zwischen 2022 und 2050 werden ca. 6,5 Milliarden Tonnen Rohstoffe für Windturbinen, Solarpaneele, Elektrofahrzeuge und andere erneuerbare Technologien benötigt. 95% des Bedarfs entfällt dabei auf Stahl, Kupfer und Aluminium. Der verbleibende Teil besteht aus kritischen Rohstoffen wie Lithium, Kobalt, Graphit oder seltenen Erden.² Die EU ist stark von Importen dieser Rohstoffe abhängig und daher sehr anfällig für Versorgungsunterbrechungen. Geopolitische Spannungen und Handelsbeschränkungen verschärfen die Lage zusätzlich. Auch herkömmliche Rohstoffe wie Aluminium sind zunehmend von Knappheit betroffen.³

Erneuerbare Technologien wurden bisher nach einem linearen Wirtschaftsmodell entwickelt, produziert und genutzt, das ausschließlich auf die optimale Funktionalität des Produkts bei der Erstnutzung ausgerichtet ist. Eine **Kreislaufwirtschaftsstrategie** für erneuerbare Technologien ist unverzichtbar, um die Nachhaltigkeit der Energieversorgung, die Robustheit der Rohstofflieferketten und die Souveränität der EU deutlich zu erhöhen. Die potenziellen Einsparungen und Vorteile sind enorm; z.B. durch die Rückgewinnung von Rohstoffen aus PV-Modulen könnten im Jahr 2050 ca. 2 Milliarden neue Module produziert werden, mit einem Wert der zurückgewonnenen Materialien von ca. \$15 Mrd.⁴ Trotzdem stagniert die *Rezyklateinsatzquote* (oder *Zirkularitätsrate*)⁵ in der EU seit 2010 bei unter 12%.⁶

Sowohl die EU als auch Deutschland haben Konzepte für die Reduzierung des Primärrohstoffverbrauchs und die Förderung einer zirkulären Energiewende verabschiedet.⁷ Es sind jedoch weitere Maßnahmen erforderlich, um sicherzustellen, dass die wirksamen Rechtsvorschriften ihr Ziel erreichen.

¹ *The energy transition is creating a historic materials transition. Here's why*, World Economic Forum, August 2024

² *Materials and Resource Requirements for the Energy Transition*, Energy Transitions Commission, July 2023

³ Materialknappheit bewältigen, Fraunhofer IWS Dresden, Presseinformation Dezember 2024

⁴ *For a Circular Energy Transition: Action plan for industry, policymakers and investors*, Green Purposes Company, Feb. 2023

⁵ Die **Zirkularitätsrate** (oder *Circular Material Use Rate*, CMU) setzt die Abfälle, die in ein Recycling gehen, ins Verhältnis zur gesamten Menge an Rohstoffen, die genutzt werden. Sie liefert einen Richtwert für den Beitrag von **Sekundärrohstoffen (Rezyklaten)** zum gesamten Rohstoffbedarf. Sie ist nicht zu verwechseln mit der Recyclingquote. Diese beschreibt, wie viel Prozent aller Abfälle in ein Recycling gehen, ohne Bezug zum gesamten Rohstoffverbrauch.

⁶ *Circular material use rate in Europe*, European Environment Agency, January 2025

⁷ [Circular Economy Action Plan](#) der EU und das [Kreislaufwirtschaftsgesetz](#) Deutschlands

Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen

Helmholtz Energy empfiehlt die Erstellung eines **Kreislaufwirtschafts-Aktionsplans** für erneuerbare Technologien. Dieser Aktionsplan sollte auf drei Säulen basieren:

1. Entwicklung neuer **Materialien und Produkte** unter dem „*safe and sustainable by Design*“ *Konzept*⁸, bei dem das Material- und Produktdesign den **gesamten Lebenszyklus** des Endprodukts berücksichtigt (Erst- und Wiedernutzung, Reparierbarkeit und Recycling).
2. Aufbau **zirkulärer Wertschöpfungsketten** durch die Integration **digitaler Tools** wie Produktpässe oder Blockchain-Technologien. Standardisierte, interoperable *track-and-trace* Plattformen⁹ ermöglichen eine transparente Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette und die Umsetzung neuer Geschäftsmodelle.
3. Zusammenarbeit **aller relevanten Akteure der Energiewirtschaft**: Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft sowie politischer Entscheidungsträger und Investoren.

Gezielte politische Maßnahmen können allen Akteuren helfen, die **technischen, wirtschaftlichen** und **gesellschaftlichen Hindernisse** bei der Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft zu überwinden. Helmholtz Energy empfiehlt daher folgende Maßnahmen:

- **Förderung von Design-Innovationen**, die Demontage, Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit erneuerbarer Technologien berücksichtigen und die Zusammenarbeit zwischen Materialforscher:innen, Produktdesigner:innen und Recyclingexpert:innen verstärken. Das Ziel sollte sein, nicht-**kreislauffähige Materialien** zu substituieren, **Produktdesigns** an die Kreislaufwirtschaft anzupassen und **innovative Reparatur- und Recyclingtechnologien mit Praxispartnern** zu entwickeln.
- **Aufbau von Forschungsinfrastrukturen im Pilotmaßstab** zum Testen von innovativen Technologien und zur Einbindung von künstlicher Intelligenz (KI), zur Bewertung von Wechselwirkungen und zur ganzheitlichen Optimierung der Kreislaufwirtschaftsstrategien über den gesamten Produktlebenszyklus. Die Bewertung und Skalierung von Kreislaufwirtschaftsstrategien muss „*unter einem Dach*“ erforscht werden, um Wechselwirkungen entlang der Wertschöpfungskette des Produkts frühzeitig zu erkennen. Solche Infrastrukturen fördern den optimalen und raschen Technologietransfer in die Industrie.
- **Starke Impulse für die Digitalisierung der Wertschöpfungskette**. Daten, die durch digitale Instrumente wie digitale Produktpässe gewonnen werden, ermöglichen die Überwachung von Rohstoffen, Materialien und Komponenten entlang der gesamten Lieferkette und des Produktlebenszyklus. Nur so können alle Akteure entlang der Wertschöpfungskette Verantwortung für die Materialströme übernehmen und am Ende des Produktlebens eine fundierte Entscheidung treffen, ob das Produkt repariert, wiederverwendet, oder recycelt werden sollte. Die Umsetzung und Akzeptanz digitaler Technologien erfordert **klare rechtliche Rahmenbedingungen**, insbesondere im Bereich des **Datenschutzes**.
- **Klarer Rechtsrahmen und Standards**. Bestehende Gesetzgebungen⁷ müssen spezifische Rechtsvorschriften für erneuerbare Technologien festlegen; z.B. eine erweiterte Herstellerverantwortung (EPR) für die **Rücknahme von Produkten**, die Festlegung von **Standards** für ein kreislaufgerechtes Produktdesign (z.B. durch Verringerung der Materialkomplexität), die **Überarbeitung der WEEE-Richtlinie**¹⁰ und **verbindliche Rezyklateinsatzquoten**⁵ in allen Sektoren. Ein klarer und anspruchsvoller **Rechtsrahmen** ist ein Katalysator für Innovation und Wissenstransfer. Er würde auch die Entwicklung und Umsetzung neuer Geschäftsmodelle fördern und der Industrie Wettbewerbsvorteile verschaffen.

⁸ [SSbD framework](#), European Commission, December 2022

⁹ *Powering the Future: Overcoming Battery Supply Chain Challenges with Circularity*, World Economic Forum, January 2025

¹⁰Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE): [WEEE Directive - European Commission](#)

Über Helmholtz Energy

Mit **Forschung von den Grundlagen bis zur Anwendung** schafft Helmholtz Energy, der Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft, die **wissenschaftlichen Voraussetzungen** für eine nachhaltige Energieversorgung, die ökonomisch und gesellschaftlich langfristig tragfähig ist. Helmholtz Energy zeichnet sich durch eine **einzigartige Kombination von systemischer Perspektive, breiter Forschung und umfangreichen Forschungsinfrastrukturen** aus.

In **interdisziplinären Programmen** entwickeln die **mehr als 2200 Forschenden** zukunftsweisende Lösungen für den nachhaltigen Umbau des Energiesystems in Deutschland und weltweit. Dafür **erforschen, entwickeln und bewerten** sie innovative Wandlungs-, Verteilungs-, und Speichertechnologien – **von der Materialentwicklung bis zu innovativen Lösungen**. Unter Einbezug aller relevanten Prozessketten für eine bezahlbare, sichere und nachhaltige Energieversorgung erarbeitet Helmholtz Energy **ganzheitliche, sektorenübergreifende** Konzepte und Lösungen für ein Energiesystem der Zukunft.

Helmholtz Energy ist entlang des ganzen Lebenszyklus von Materialien, Produkten und Technologien aktiv (siehe Abbildung 1). Wir entwickeln und integrieren **neue, kreislauffähige Materialien** und **innovative Technologien** unter den Prinzipien der Nachhaltigkeit. Zum Beispiel arbeiten wir intensiv an der Integration von Rezyklaten (sekundäre Rohstoffe⁵) in der Fertigung von Energietechnologien wie Solarmodulen, Batterien und Elektrolyseuren. Wir entwickeln auch innovative Recyclingtechnologien **zur nachhaltigen Gewinnung und Verwertung von Rohstoffen**. Durch die Zusammenarbeit mehrerer Zentren und Disziplinen verfügen wir über eine breite Expertise: von der **Rohstofferkundung und -charakterisierung** über die **Prozess- und Produktentwicklung** – vom Labor- bis zum Pilotmaßstab – bis hin zur **Systembewertung**. Dabei berücksichtigen wir sowohl die Ressourcen- und Energieeffizienz als auch die Wirtschaftlichkeit der (Rück-)Gewinnung.

An Helmholtz Energy sind folgende Helmholtz-Zentren beteiligt: das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), das Forschungszentrum Jülich (FZJ), das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB), das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT); das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) ist wissenschaftlich assoziiertes Zentrum.

Website: <https://energy.helmholtz.de>

Kontakt

Helmholtz-Vizepräsident Energie

Bernd Rech, bernd.rech@helmholtz-berlin.de

Helmholtz Energy Office

Núria González, nuria.gonzalez@kit.edu; Andrea Meyn, andrea.meyn@kit.edu; Heike Boos, heike.boos@kit.edu

Weitere Mitwirkende

Stephanie Dehnen (KIT), Olivier Guillon (FZJ), Jens Gutzmer (HZDR), Heidi Heinrichs (FZJ), Christoph Kirchlechner (KIT), Simone Raatz (HZDR), Dieter Stapf (KIT), Tobias Sontheimer (HZB), Petra Zapp (FZJ).

Stand Februar 2025

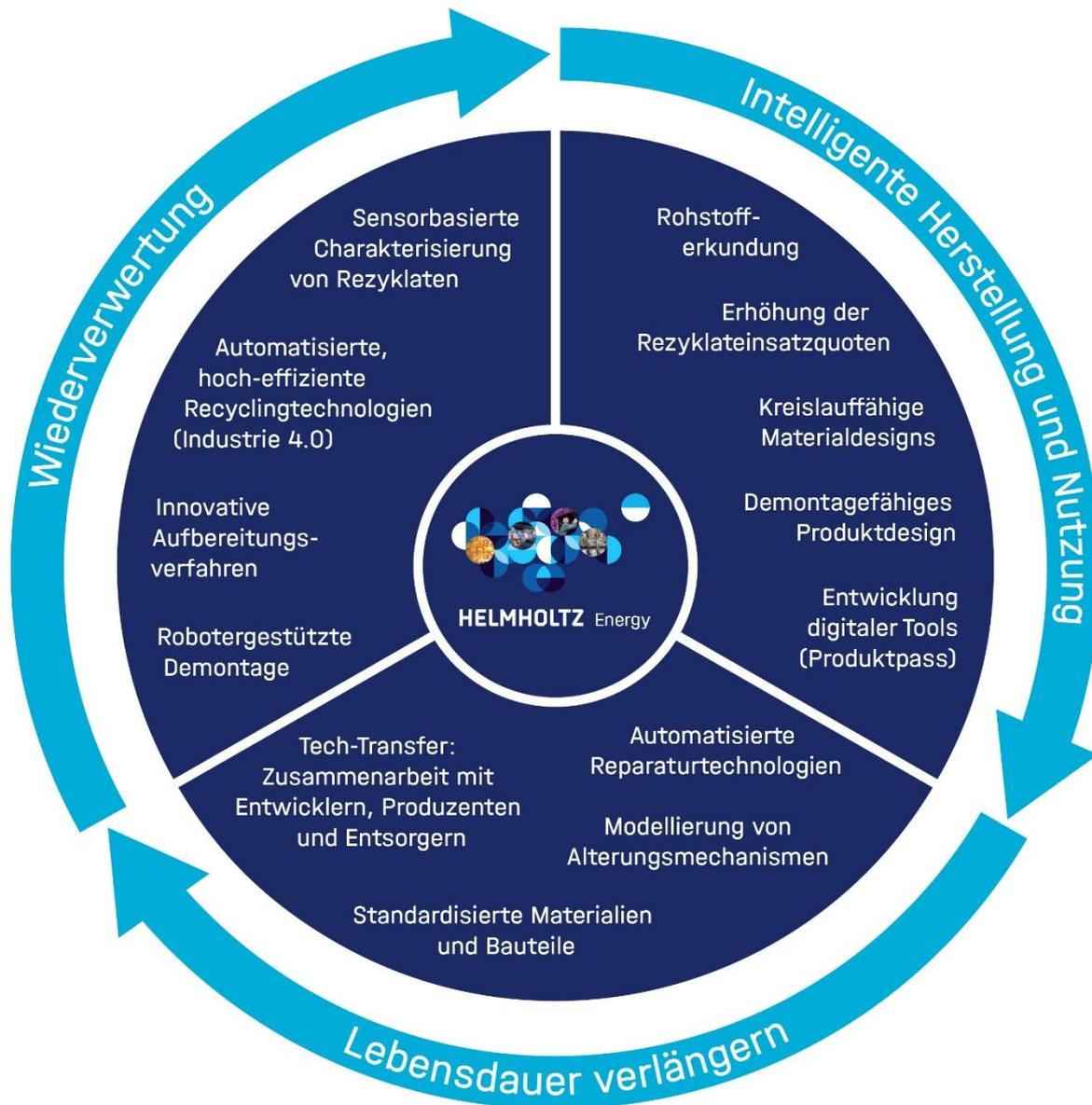


Abbildung 1: Forschungsaktivitäten von Helmholtz Energy zur Kreislaufwirtschaft.