



INSTITUT FÜR
INNOVATION UND
TECHNIK

VDI
VDE
IT

Circular Economy als strategisches Konzept für Hochtechnologieentwicklung

Mischa Bechberger, Sebastian Delbrück, Vera Fiehler, Antje Zehm,
Guido Zinke

Circular Economy als strategisches Konzept für Hochtechnologieentwicklung

1 Hochtechnologien auf dem Weg zur Zirkularität

Ob Mikroelektronik in Smartphones, Batteriezellen für die Elektromobilität, Wasserstofftechnologien für die Energieversorgung von morgen, Hightech-Anwendungen im Gesundheitssektor oder KI-gestützte Produktionssysteme: Hochtechnologische Entwicklungen sind zentrale Treiber der Transformation unserer technologischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Strukturen. Zugleich stellen steigende Anforderungen an Effizienz und Nachhaltigkeit (sowie Kreislauffähigkeit) bestehende Produktions- und Wertschöpfungsmodelle zunehmend infrage. An die Stelle linearer Wertschöpfungsketten treten daher verstärkt vernetzte, zirkuläre und ressourcenschonende Strukturen, die technologische Innovation mit einer effizienteren Nutzung von Materialien, Energie und Wissen verbinden. In dieser Transformation hin zu einer zirkulären Wirtschaftsweise (Circular Economy) liegt ein zunehmend wichtiger Innovations- und Wettbewerbsfaktor.

Gerade in Hochtechnologiesektoren stoßen lineare Wirtschaftsmodelle nicht nur aus Effizienzbestrebungen, sondern oftmals auch im Kontext von Resilienz- und Souveränitätsaspekten an ihre Grenzen. Die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen, geopolitische Risiken, regulatorische Anforderungen und der Dekarbonisierungsdruck forcieren zirkuläre Ansätze. Damit erweitert sich auch das Verständnis von Circular Economy: Über ihre umwelt- und nachhaltigkeitspolitische Bedeutung hinaus wird sie zunehmend als innovations- und industriepolitischer Ansatz

für eine resiliente und wettbewerbsfähige Technologieentwicklung und Wertschöpfung verstanden.

So entsteht ein strategisches Innovationsfeld, das völlig neue Geschäftsmodelle, technologische Entwicklungen und industriepolitische Perspektiven eröffnet. Und zwar über den gesamten Innovationsprozess: vom (kreislauffähigen) Produktdesign über ressourceneffiziente Extraktions- und Produktionsverfahren bis hin zu neuen Up- und Recyclingtechnologien, digitalen Produktpässen, datenbasierten Rückführungs- und Redesign-Prozessen, einhergehend mit material-, produkt-, technologie-, industrie- und unternehmensübergreifenden digitalen, „physischen“ und strukturellen Plattformlösungen. Besonders in technologieintensiven Branchen entstehen hier erhebliche Innovationspotenziale.

Das vorliegende Impulspapier sensibilisiert für die wachsende Bedeutung einer High-Tech-Circular Economy für Souveränität und Resilienz von Wertschöpfungsketten in Hochtechnologien und zeigt innovationspolitische Implikationen auf. Sowohl Anlass, aber vor allem auch der Rahmen ist hierfür die aktuelle Regulierungsdynamik: So hat die Europäische Union mit dem Critical Raw Materials Act (CRMA¹) verbindliche Zielsetzungen formuliert: bis 2030 sollen mindestens 25 Prozent des jährlichen Verbrauchs strategischer Rohstoffe durch Recycling innerhalb der EU gedeckt werden. Der CRMA markiert den Beginn einer regulatorischen Entwicklung, die durch den Clean Industrial Deal² und den angekündigten Circular Economy Act³ auf EU-Ebene weitere Dynamik erfahren dürfte. Auch das aktuelle Beschluss-

1 Europäisches Gesetz zu kritischen Rohstoffen (Europäische Union). Online verfügbar unter: https://commission.europa.eu/topics/competitiveness/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_de, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

2 Clean Industrial Deal (European Union): https://commission.europa.eu/topics/competitiveness/clean-industrial-deal_en, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

3 Circular Economy – Environment (European Union): https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy_en, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

papier des Koalitionsausschusses⁴ unterstreicht die strategische Bedeutung der Kreislaufwirtschaft für Wettbewerbsfähigkeit, Versorgungssicherheit und Rohstoffsouveränität und bekräftigt den politischen Willen, die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie zügig umzusetzen.

Entscheidend ist dabei, dass Unternehmen Circular Economy als strategischen Bestandteil ihrer Rohstoffversorgung, Innovationsfähigkeit und Sicherstellung ihrer langfristigen Wettbewerbsfähigkeit betrachten. Mit dem Ausbau des europäischen Binnenmarkts für Sekundärrohstoffe und zunehmenden regulatorischen Anforderungen an zirkuläre Wertschöpfung ist davon auszugehen, dass Circular Economy mehr und mehr eben dieser integrale Bestandteil des unternehmerischen Handelns und Denkens wird.

Die Integration von Circular Economy-Ansätzen in Geschäftsmodellen, Produkten sowie Technologie- und Wertschöpfungsketten ist dabei keine rein organisatorische und häufig auch nicht nur individuelle Implementierungsaufgabe eines Unternehmens. Vielmehr setzt sie erhebliche Forschungs- und Innovationsleistungen voraus, um Lösungen für Unternehmen als auch entlang von Technologie- und Lieferketten in den Innovationsökosystemen, in den sich die Unternehmen bewegen, zu ertüchtigen. Dies geht natürlich auch mit erheblichen Investitionen einher, die nicht unmittelbar in konkreten Erträgen für die Unternehmen münden. Der Innovationspolitik kommt daher eine Schlüsselrolle zu. Sie muss die Voraussetzungen schaffen, um Unternehmen zur Entwicklung und Skalierung zirkulärer Technologien und Geschäftsmodelle anzureizen, indem sie direkt unterstützt und eben auch Möglichkeits- bzw. Erprobungsräume und entsprechende Rahmenbedingungen schafft.

Anhand von drei exemplarisch ausgewählten Hochtechnologiebranchen – Batteriefertigung, Mikroelektronik und der industriellen Gesundheitswirtschaft – werden nachfolgend relevante Herausforderungen zur Umsetzung von Circular-Economy-Ansätzen skizziert. Die gewählten Industrien sind in besonderem Maße von globalen Rohstoffabhängigkeiten, komplexen Lieferketten, hohen regulatorischen Anforderungen und steigenden Erwartungen an die Resilienz geprägt. Dies ist insbesondere auf ihren hohen Bedarf an spezialisierten und teilweise kritischen Rohstoffen und Vorprodukten, die starke internationale Arbeitsteilung sowie die hohen Anforderungen an Qualität, Sicherheit und technologische Leistungsfähigkeit zurückzuführen.

2 Ausgewählte Technologiefelder im Fokus

2.1 Batteriefertigung

Bedeutung des Technologiefeldes



Batterien (vor allem Lithium-Ionen-Batterien, LIB) sind die Schlüsseltechnologie für zahlreiche strategische Zukunftsbranchen: Sie sind entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit der Elektromobilität und das

Gelingen der ökologischen Transformation im Mobilitätssektor, genauso wie für eine effiziente Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem. Darüber hinaus sind sie integraler Bestandteil weiterer High-Tech-Branchen wie Robotik, humanoiden Systemen und Drohnen (sowohl in zivilen wie militärischen Bereichen). In all diesen Anwendungsfeldern bestimmt leistungsfähige und effiziente Energiespeichertechnik über Innovationsdynamik, industrielle Wertschöpfung und technologische Souveränität.

Bei der Produktion moderner Batterien stehen kritische Rohstoffe (bzw. darauf basierende Zwischenprodukte) wie insbesondere Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan und Graphit im Mittelpunkt. Der weltweite Wettbewerb um den Zugang zur Primärförderung dieser Rohstoffe nimmt seit Jahren zu. Umso wichtiger wird es, Sekundärrohstoffe aus dem Recycling gebrauchter Antriebsbatterien wiederzuverwerten. Auch aus ökonomischer Sicht, kommt dem Recycling von Batterien eine immer wichtigere Rolle zu: Bis zu 40 Prozent der gesamten Wertschöpfung eines Elektrofahrzeugs entfallen allein auf die Antriebsbatterie, wobei hier insbesondere die Kathoden- und Anodenmaterialien, aber auch die Zellproduktion und die Modul-/Packproduktion eine wichtige Rolle spielen. Entsprechend relevant ist daher die Frage, wie dieser bedeutende Anteil an der Wertschöpfung in der EV-Produktion integriert werden soll (z. B. Zukauf der Komponenten / Materialien oder Eigenproduktion), genauso auch das Wie und Wo der Rohstoffrückgewinnung von End-of-Life-Batterien und die Rückführung dieser wertvollen Materialien in den Kreislauf.

Herausforderung im Bereich Circular Economy

Vor allem aufgrund dieser Herausforderungen sind in den vergangenen Jahren bereits wichtige Voraussetzungen in Richtung einer verstärkten Kreislaufführung geschaffen worden, insbesondere durch regulative Vorgaben hauptsächlich auf europäischer Ebene im Rahmen der EU-Batterieverordnung, des Critical Raw Material Act (CRMA), des REsourceEU Action Plan⁵ sowie dem geplanten Circular Economy Act (CEA, voraussichtlich Herbst 2026).

⁴ Ergebnisse des Koalitionsausschusses: Ein Programm für Aufschwung und Beschäftigung, 02.07.2026 (Bundesregierung); <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975228/2445592/b2d92763d7006427377e3d0df4102c57/2026-07-02-koalitionsausschuss-data.pdf>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

⁵ REsourceEU Action Plan (European Commission): https://single-market-economy.ec.europa.eu/document/download/e9ac2181-0dc7-4e61-a964-ba0a-39c2aea8_en, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

Bei Anwendung dieses Prinzips auf das Technologiefeld Batterien wird deutlich, dass hinsichtlich der Kreislaufführung noch erhebliche Herausforderungen bestehen, insbesondere in Bezug auf:

- **Kritische (Batterie-)Rohstoffe:** Europa sieht sich mit einer starken außereuropäischen Abhängigkeit von kritischen Batterierohstoffen (v. a. Lithium, Kobalt, Mangan, Nickel, Kupfer und Graphit) und deren Verarbeitungskapazitäten konfrontiert, insbesondere von China, das weite Teile der Batterie-Wertschöpfungskette dominiert. Gleichzeitig erlebt die weltweite Nachfrage nach Batterien ein sehr dynamisches Wachstum und erhöht dadurch den Bedarf an kritischen Batterierohstoffen massiv.
- **Rasanter technologischer Wandel:** Insbesondere der Trend zu Lithium-Eisenphosphat (LFP)-Batterien – aber auch die unvorhergesehene Langlebigkeit der aktuellen/modernen Batterien erschweren langfristige Investitions- und Recyclingstrategien.
- **Technisch komplexes Recycling:** Das Recycling von LIB ist technisch komplex, kapitalintensiv und stark abhängig von Rohstoffpreisen.
- **Fehlende Kapazitäten in Europa:** Aktuell fehlen in Europa teilweise ausreichende Recycling- und Raffinierungskapazitäten.

In Bezug auf Batterien für Elektrofahrzeuge stehen dem in jüngster Zeit vor allem auf europäischer Ebene verabschiedeten Maßnahmenbündel im Sinne eines kreislaufführenden Batterie-Ökosystems zahlreiche Umsetzungshindernisse entgegen: An erster Stelle liegt dies an einem deutlich langsameren Auf- und Ausbau der Batteriezellfertigung in Europa als noch vor ein paar Jahren prognostiziert. Das hat direkte Auswirkungen auf das Batterierecycling. So stehen für die Rückführung von Primärmaterialien in den Nutzungskreislauf sowohl weniger Altbatterien als auch (weniger) Produktionsabfälle zur Verfügung.

Gleichzeitig ist die regulative Ebene davon betroffen: So stehen der Erfüllung beispielsweise der Rezyklatziele gemäß der EU-Batterieverordnung, aber auch dem Recyclingziel des CRMA insbesondere die fehlenden Raffinierungskapazitäten von Schwarzmasse (ein Stoffgemisch, das bei der mechanischen Zerkleinerung von LIB entsteht und aus dem wichtige Batterierohstoffe wie v. a. Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan und Graphit zurückgewonnen werden können) in Europa entgegen.

Dies wiederum hat vor allem mit den hohen Investitionssummen für die Errichtung von Raffinierungszentren von Schwarzmasse (sog. Hubs), entsprechenden bereits existierenden Hub-Kapazitäten von asiatischen Playern (v. a. in China und Südkorea), aber auch dem noch nicht vollständig durchgesetzten Exportverbot von Schwarzmasse in Nicht-OECD-Ländern etc. zu tun. Bereits heute verlassen mindestens 60 Prozent der europäischen Schwarzmasse die EU, was einem Materialwert von rund 150 Millionen Euro pro Jahr entspricht. Ändert sich an der aktuellen Situation nichts Grundlegendes, könnten bis 2030 bis zu 200 kt Schwarzmasse jährlich die EU verlassen, was einem wiederverwertbaren Batteriematerial von rund 1,7 Millionen Autos und einem Materialwert von 1,1 Mrd. EUR entspricht. Darüber hinaus haben europäische Recyclingunternehmen Schwierigkeiten, im globalen Wettbewerb zu bestehen, da sie insbesondere mit höheren Energiekosten und längeren Projektlaufzeiten konfrontiert sind.

Regulatorischer Rahmen

Das Fundament, das die gesamte Wertschöpfung von Batteriezellen – von der Materialauswahl über das Design und die Kennzeichnung bis hin zur Rücknahme und dem End-to-End-Recycling – strukturiert und die Voraussetzungen für ein kreislaufführendes Batteriesystem in Europa festlegt, ist vielfältig:

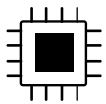
- Die **EU-Batterieverordnung**⁶ setzt hierbei verbindliche Vorgaben für die Zusammensetzung, Kennzeichnung, Rücknahme und das Recycling von Batterien und definiert konkrete Rezyklat- sowie Recyclingquoten, die Hersteller einhalten müssen.
- Parallel dazu richtet der **CRMA** sein Augenmerk gezielt auf die Sicherung des Zugangs zu kritischen Rohstoffen, fördert strategische Rohstoffprojekte und treibt den Ausbau europäischer Verarbeitungs- und Raffineriekapazitäten voran.
- Der **RESourceEU-Action-Plan** stärkt den europäischen Binnenmarkt für Sekundärrohstoffe, unterstützt die Wiederverwendung und erhöht die Recyclingquoten in verschiedenen Wirtschaftszweigen – einschließlich der Batteriewertschöpfungskette.
- Ergänzt wird das Regelwerk durch den geplanten **Circular Economy Act (CEA)**, der voraussichtlich im Herbst 2026 in Kraft tritt und das bestehende EU-Rahmenwerk zur Circular Economy weiter ausbauen soll, insbesondere durch verstärkte Vorgaben für die Gestaltung, Nutzung und das Ende-zu-Ende-Recycling von Batterien.

⁶ Verordnung (EU) 2023/1542 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juli 2023 über Batterien und Altbatterien (Europäische Union): <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj?locale=de>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

Trotz dieser vielversprechenden Initiativen stehen der Praxis jedoch die zuvor genannten Umsetzungshindernisse gegenüber. Diese müssen gezielt adressiert werden, um die ambitionierten politischen Ziele in eine greifbare industrielle Realität zu überführen.

2.2 Mikroelektronik

Bedeutung des Technologiefeldes



Die Mikroelektronik bildet das Rückgrat moderner Gesellschaften und Volkswirtschaften und ist die zentrale Voraussetzung für zahlreiche Schlüsseltechnologien, wie z. B. Künstliche Intelligenz. Diese strategische Bedeutung wird auch durch industriepolitische Bestrebungen Deutschlands und der Europäischen Union deutlich, wenn Kompetenzaufbau und Produktionskapazitäten in Europa gestärkt werden und Teile der Wertschöpfung verstärkt im europäischen Markt verankert werden. Mit derartigen Nearsourcing- und Reshoring-Ansätzen soll die Abhängigkeit von geografisch stark konzentrierten Produktionsstandorten und außer-europäischen Zulieferern verringert werden – immer vor dem Hintergrund, Lieferketten resilienter zu gestalten und den Zugang zu strategisch wichtigen Technologien und Komponenten langfristig abzusichern.

Gleichzeitig zeichnet sich diese Industrie durch eine stetig ansteigende Nachfrage nach elektronischen Geräten und mikroelektronischen Komponenten aus, die den Ressourcenbedarf erheblich in die Höhe treibt. Die Herstellung erfordert eine Vielzahl spezialisierter Rohstoffe und Materialien, darunter Edelmetalle sowie verschiedene kritische Rohstoffe, deren Gewinnung und Verarbeitung teilweise mit erheblichen ökologischen und sozialen Belastungen verbunden sind. Die Verlagerung und der Ausbau von Produktionskapazitäten in Europa reduzieren diese Rohstoffabhängigkeiten dabei nicht zwangsläufig: Auch eine regional stärker verankerte Halbleiterproduktion bleibt auf globale Rohstoff- und Vorproduktströme angewiesen. Umso stärker gewinnen neben der Diversifizierung von Bezugsquellen auch Ressourceneffizienz, die Rückgewinnung strategischer Materialien und der Aufbau zirkulärer Wertschöpfungsstrukturen an Bedeutung.

Herausforderung im Bereich Circular Economy

Aktuell ist das Technologiefeld stark durch lineare Wirtschaftsstrukturen geprägt. Globale Lieferketten sind auf Effizienz und Kostenoptimierung ausgerichtet, während Aspekte der Kreislaufführung häufig nachgelagert betrachtet werden. Elektronische Geräte weisen zudem immer kürzere Innovations- und Lebenszyklen auf, was zu einem rasanten Anstieg von Elektroschrott führt. Gleichzeitig bleiben die Rückgewinnungsquoten vieler wertvoller Materialien vergleichsweise gering. Ein Großteil

der enthaltenen Rohstoffe geht am Ende des Lebenszyklus verloren oder kann nur mit hohem technischen und wirtschaftlichen Aufwand zurückgewonnen werden.

Auch in der Mikroelektronik zeigen sich aufgrund der spezifischen Eigenschaften der Industrie bzw. ihrer Produkte besondere Herausforderungen. Insbesondere folgende Ursachen sind für die erschwerte Umsetzung zirkulärer Ansätze maßgeblich:

- Die hohe **Komplexität der Produkte** erschwert die Demontage, Reparatur und das sortenreine Recycling, da zahlreiche Materialien und Komponenten eng integriert und oft fest miteinander verbunden sind.
- Eine wesentliche Einschränkung stellt die **unzureichende Datenverfügbarkeit** zu den im Produkt verbauten Materialien dar, wodurch die Identifikation der verwendeten Rohstoffe oft nicht möglich ist. Oftmals fehlen standardisierte Informationen über die Materialzusammensetzung, was Recyclingprozesse zusätzlich erschwert.
- Die **Miniaturisierung von Bauteilen** führt dazu, dass wertvolle Rohstoffe wie seltene Metalle nur in sehr kleinen Mengen enthalten sind und technisch nur mit hohem Aufwand zurückgewonnen werden können.
- Die **Verwendung vielfältiger und teilweise toxischer Materialien**, etwa von Schwermetallen, Lösungsmitteln oder Spezialchemikalien, erhöht die Anforderungen an die sichere Produktion, Entsorgung und Recyclingprozesse erheblich.
- Ein zentrales, vorrangig technisches Problem liegt im **Produktdesign** selbst: Viele Geräte mit mikroelektronischen Bauteilen sind nicht für eine einfache Demontage oder Reparatur konzipiert. Verklebte Komponenten, integrierte Bauweisen und proprietäre Designs verhindern eine effiziente Wiederverwendung von Bauteilen bzw. Komponenten. Insbesondere die Leiterplatte und die darauf montierten Komponenten lassen sich aufgrund ihrer stoffschlüssigen Verbindungen nur mit erheblichem Aufwand voneinander trennen; eine vollständig zerstörungsfreie Separation ist nicht in allen Fällen möglich.
- Die **Designentscheidungen** stehen somit häufig im Spannungsfeld zwischen Leistungsfähigkeit, Kosten und Nachhaltigkeit: Beispielsweise sollten Elektronikkomponenten einerseits auf maximale Langlebigkeit und Zuverlässigkeit ausgelegt und konstruiert werden – beispielsweise durch schützende Einhausungen oder Verguss – und müssen andererseits den Anforderungen an ökologische

Nachhaltigkeit, die eine möglichst einfache Trennbarkeit und Wiederverwendung der einzelnen Komponenten am Ende ihres Lebenszyklus erfordert, gerecht werden.

Auch aus ökonomischer Perspektive bestehen erhebliche Herausforderungen:

- Oftmals übersteigen die **Kosten für die Rückgewinnung bzw. das Recycling** den wirtschaftlichen Wert der zurückgewonnenen Rohstoffe im Vergleich zur Primärrohstoffgewinnung. Finanzielle Anreize für die Unternehmen der Wertschöpfungskette gibt es damit kaum, zumal hohe Investitionskosten bei mitunter komplexen Trennverfahren und wirtschaftliche Risiken (geringe Rohstoffkonzentrationen in den Produkten, Volatilität der Rohstoffpreise, Schwankungen der Rücklaufmengen, schwer kalkulierbare Produktlebenszyklen, geografisch stark verteilte Güterströme etc.) weitere Hemmnisse darstellen.
- Auch die **Asymmetrie der Kosten und Nutzen**, beispielsweise für Maßnahmen zum recyclinggerechten Produktdesign, wirken sich hemmend auf die Umsetzung aus. Kosten fallen beim Hersteller an, der monetäre Nutzen hingegen wirkt sich oft erst bei nachgelagerten Wertschöpfungsstufen aus.
- In vielen Fällen **fehlen daher ausreichende wirtschaftliche Anreize für Unternehmen**, in zirkuläre Geschäftsmodelle zu investieren. Gleichzeitig sind externe Umweltkosten in den Preisen von Primärrohstoffen häufig nicht vollständig internalisiert, was die Wettbewerbsfähigkeit von Recyclinglösungen weiter schwächt.

Regulatorischer Rahmen

Auf politischer Ebene wurden in den letzten Jahren zwar verschiedene Initiativen zur Förderung der Circular Economy angestoßen, in der Praxis zeigt sich jedoch eine deutliche Umsetzungslücke:

- Regulatorische Maßnahmen sind oft fragmentiert und national unterschiedlich ausgestaltet.

– Maßgebliche Prägnanz erfahren die regulatorischen Rahmenbedingungen für die Kreislaufwirtschaft in der Mikroelektronik- und Elektronikbranche durch europäische Rechtsvorschriften, die sowohl bestehende Anforderungen als auch zukünftige Entwicklungen umfassen.

- Bereits etabliert sind die **Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE)**⁷, die Vorgaben zur getrennten Sammlung, Rücknahme und Verwertung von Elektroaltgeräten festlegt, sowie die RoHS-Richtlinie zur Beschränkung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.
- Ergänzend regelt die **REACH-Verordnung**⁸ die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe und trägt damit zu einer verbesserten Stofftransparenz sowie zur sicheren Wiederverwendung und Verwertung von Materialien bei, birgt aber auch Herausforderungen.
- Auch der 2024 in Kraft getretene **CRMA** wird eine stärkere Umsetzung des Recyclings und der Rückgewinnung strategischer Rohstoffe aus End-of-Life-Produkten gefordert, die sich auf die Branche unmittelbar auswirken werden.

Darüber hinaus befinden sich weitere regulatorische Instrumente in der Umsetzung beziehungsweise werden schrittweise wirksam.

- Eine zentrale Rolle nimmt hierbei die **Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)**⁹ ein, die den bisherigen Anwendungsbereich der Ökodesign-Richtlinie deutlich erweitert. Künftig sollen produktspezifische Anforderungen unter anderem hinsichtlich Haltbarkeit, Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit und Rezyklatanteilen festgelegt werden.
- Ergänzt wird die ESPR durch den **Digital Product Passport (DPP)**¹⁰, der schrittweise für ausgewählte Produktgruppen eingeführt werden soll und Informationen zu Materialzusammensetzung, Reparatur, Demontage und Recycling digital verfügbar macht.

⁷ Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (Europäische Union): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX:02012L0019-20240408>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

⁸ Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) (Europäische Union): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:32006R1907>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

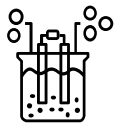
⁹ Verordnung (EU) 2024/1781 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte (Europäische Union): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32024R1781>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

¹⁰ Digital Product Passport (DPP) (Europäische Union): https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/digital-product-passport_en, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

Für Hersteller der Mikroelektronik ergeben sich daraus steigende Anforderungen an die Produktentwicklung, Materialauswahl, Dokumentation und Transparenz entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Gleichzeitig schaffen diese regulatorischen Entwicklungen Anreize für kreislaforientierte Produktdesigns und Geschäftsmodelle sowie für eine effizientere Rückgewinnung kritischer Rohstoffe.

2.3 Industrielle Gesundheitswirtschaft

Bedeutung des Wirtschaftszweiges



Auch die industrielle Gesundheitswirtschaft mit Humanarzneimitteln, Medizintechnik, Biotechnologie und digitalen Gesundheitsanwendungen gilt mit rund 1 Million Erwerbstätigen als deutsche Schlüsselindustrie. Sie ist essenzieller Bestandteil eines modernen Gesundheitssystems und hängt mit ihren überwiegend linearen Geschäftsmodellen von hohen Material- und Energieflüssen ab. Insbesondere pharmazeutische Produktionsprozesse mit ihren Bedarfen an Rohstoffen, Lösungsmitteln, Wasser sowie komplexen Liefer- und Kühlketten führen zu erheblichen Abfall-, Emissions- und Ressourcenbelastungen. Seltene Erden werden für die Herstellung benötigt. Verpackungen bestehen häufig aus mehrschichtigen Kunststoff- und Aluminiumverbunden, die nur schwer recycelbar sind.

Ähnliche Herausforderungen zeigen sich auch in der Medizintechnik. Neben einer immer besseren Versorgungsqualität steigen gleichzeitig die Anforderungen an Ressourcen- und Energieverbrauch, IT-Infrastruktur, Elektronikkomponenten und Datenverarbeitung. Das Dossier „Medizintechnik: Künstliche Intelligenz und digitale Innovationen in der Praxis“¹¹ der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH beschreibt ökologische Nachhaltigkeit, den zentralen Pfeiler einer funktionierenden Circular Economy, inzwischen ausdrücklich als gesellschaftliche, regulatorische und technologische Gestaltungsaufgabe. Besonders hervorgehoben werden nachhaltiges Produktdesign, biobasierte Materialien, datenbasierte Optimierung von Ressourcenverbräuchen sowie zirkuläre Ansätze auch im Klinikbetrieb.

Die industrielle Gesundheitswirtschaft arbeitet über die gesamte Wertschöpfungskette intensiv an Lösungen. Forschung und Entwicklung fokussieren inzwischen weniger auf lineare Produktdesigns und setzen auch auf biobasierte Lösungen, während in Produktion, Logistik und Entsorgung versucht wird, diese integriert zu betrachten.

Herausforderung im Bereich Circular Economy

Erste Ansätze zu einer Circular Economy wie die Wiederverwendung von Ethanol, Wasser oder Plastik setzen pharmazeutische Unternehmen teilweise bereits ein. An der Rückgewinnung von Wirkstoffen, dem Recycling weiterer Lösungsmittel oder wiederverwendbaren Verpackungssystemen, wird intensiv geforscht und gearbeitet.

Herausforderungen, die die Situation akut machen, sind:

- **Knappheit kritischer Rohstoffe** (z. B. Platin-Metalle, seltene Erden) könnte die Versorgungssicherheit mit lebenswichtigen Medikamenten gefährden.
- **Energieintensive Herstellung** pharmazeutischer Wirkstoffe trägt signifikant zu den CO₂-Emissionen des Sektors und damit zum Klimawandel bei.
- **Komplexe Wertschöpfungsketten und Produktarchitekturen**: Pharmazeutische Produkte benötigen viele unterschiedliche Ausgangsmaterialien wie Wirkstoffe, Hilfsstoffe, Lösungsmittel, was Recycling erschwert.
- **Hohe Investitionskosten** für Energie, digitale Lieferketten und neue Geschäftsmodelle werden häufig von Unternehmen als wirtschaftlich unsicher wahrgenommen.
- **Umwelt- und Gesundheitsrisiken**, wenn durch Produkte Chemikalien in Wasser- und Bodenökosysteme gelangen.
- **Stakeholder**, die nachweisbare Nachhaltigkeit fordern, und **Wettbewerber**, die derartige Forderungen bereits adressieren.

In der Medizintechnik ist die Situation im Vergleich weiterhin überwiegend linear organisiert. Viele Produkte – insbesondere Einwegartikel, Sensorik, Implantate oder sterile Verbrauchsmaterialien – werden aufgrund regulatorischer Vorgaben zu Sicherheit und Hygiene nach einmaliger Nutzung entsorgt. Hinzu kommen kurze Innovationszyklen sowie komplexe Materialverbunde, die Reparatur, Wiederverwendung und Recycling erschweren. Erste Ansätze für Refurbishment, modulare Gerätearchitekturen, Rücknahmesysteme oder digitale Material- und Wartungspässe existieren auch hier bereits, doch befinden sich diese überwiegend in einem noch frühen Stadium.

¹¹ Dossier „Medizintechnik: Künstliche Intelligenz und digitale Innovationen in der Praxis“: <https://www.vdivde-it.de/themenbeitraege/dossier-medizintechnik-kuenstliche-intelligenz-und-digitale-innovationen-in-der-praxis/>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

Zusätzliche, Herausforderungen, die die Situation in diesem Sektor akut machen, sind:

- **Komplexe Wertschöpfungsketten und Produktarchitekturen:** Medizintechnische Produkte benötigen viele unterschiedliche Ausgangsmaterialien wie beispielsweise Metalle und Kunststoffe, was Recycling und Rückverfolgbarkeit erschwert.
- **Kurze Innovationszyklen und komplexe Materialverbunde** erschweren die Demontage, Reparatur und das sortenreine Recycling.
- **Hohe Investitionskosten für digitale Lieferketten und neue Geschäftsmodelle** werden häufig von Unternehmen als wirtschaftlich unsicher wahrgenommen.
- **Fehlende industrieübergreifende Rücknahme- und Recycling-Infrastruktur** sowie unzureichende Datenverfügbarkeit zu den im Produkt enthaltenen Materialien.
- **Stakeholder**, die nachweisbare Nachhaltigkeit fordern, und **Wettbewerber**, die derartige Forderungen bereits adressieren.

Regulatorischer Rahmen

In politischen Initiativen werden Humanarzneimittel und Medizintechnik unterschiedlich behandelt. So liegt bei Arzneimitteln der Schwerpunkt derzeit auf Umweltbelastungen, Lieferketten und Herstellerverantwortung; bei Medizintechnik stärker auf Wiederaufbereitung, Produktlebensdauer, Reparierbarkeit, Materialeinsatz und Rückverfolgbarkeit. Hierbei sind relevante Hebel wieder der EU Circular Economy Action Plan (CEAP), die EU-Verpackungsverordnung (PPWR)¹², die EU-Arzneimittelreform¹³ und die EU-Abwasserrichtlinie¹⁴ sowie die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie¹⁵.

Der CEAP ist für die Gesundheitswirtschaft relevant, weil dadurch zunehmend Materialkreisläufe, Produktdesign und industrielle Lieferketten und nicht nur Entsorgung adressiert werden. Die Reform der EU-Arzneimittelgesetzgebung verfolgt ausdrück-

lich das Ziel, Arzneimittel umweltverträglicher zu machen und die Belastung der Umwelt durch pharmazeutische Wirkstoffe zu reduzieren. So soll die pharmazeutische Industrie mit der EU-Abwasserrichtlinie eine finanzielle Verantwortung für Umweltwirkungen von Arzneimitteln übernehmen. Circular packaging für Arzneimittel könnte demgegenüber zukünftig ein Innovationsfeld werden, da Abfallreduktion und Recycling Sterilität, Haltbarkeit und regulatorische Anforderungen gegenüberstehen. Erst vor Kurzem, im Juni 2026, beschloss auf nationaler Ebene die Bundesregierung ein konkretes Aktionsprogramm zur Umsetzung der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie. Bis 2029 sind hierfür insgesamt 260 Mio. Euro vorgesehen. Zu den zentralen Instrumenten gehört hierbei insbesondere das Förderprogramm „Zukunft Kreislaufwirtschaft“¹⁶. Für die Medizintechnik ist dagegen auch die Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)¹⁷ relevant. Ihr Zusammenspiel mit den Sicherheits- und Zulassungsanforderungen der EU-Medizinprodukteverordnung (MDR)¹⁸ könnte sich als ein entscheidender zukünftiger Regulierungsbereich herauskristallisieren.

Die Kombination aus unterschiedlichen, bestehenden Vorgaben, den von VDI formulierten Richtlinien und den noch zu vollziehenden politischen Maßnahmen bildet somit den aktuellen regulatorischen Rahmen, innerhalb dessen die industrielle Gesundheitswirtschaft – sowohl Pharma- als auch Medizintechnikindustrie – ihre zirkulären Transformationsansätze entwickeln und implementieren muss. Insgesamt zu bedenken ist allerdings, dass diese politischen Initiativen nur begrenzte Marktwirkung entfalten, solange ein umweltfreundlicherer Arzneimittelprozess oder ein zirkuläres Medizinprodukt nicht wirtschaftlich attraktiver bzw. zumindest wettbewerbsfähig gegenüber dem linearen Modell ist.

2.4 Herausforderungen ähnlich, aber differenzierte Lösungen erforderlich

Die drei exemplarisch gewählten Technologiefelder bzw. Industrien bedienen sehr unterschiedliche Anwendungsfelder. Dennoch wird deutlich, dass bestimmte Herausforderungen bzw. Charakteristika, die Einfluss auf die Transformationsfähigkeit zu zirkulärer Wirtschaftsweise haben, ähnlich gelagert sind.

12 EU-Verpackungsverordnung (PPWR) (Europäische Union): <https://www.bundesumweltministerium.de/themen/kreislaufwirtschaft/abfallarten-und-abfallstroeme/verpackungsabfaelle/europaeisches-recht-ueber-verpackungen-und-verpackungsabfaelle>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

13 EU-Arzneimittelreform (Rat der Europäischen Union): <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/pharma-pack/>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

14 RICHTLINIE (EU) 2024/3019 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 27. November 2024 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Europäische Union): https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202403019, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

15 Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS): <https://www.bundesumweltministerium.de/themen/kreislaufwirtschaft/kreislaufwirtschaftsstrategie>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

16 Förderprogramm „Zukunft Kreislaufwirtschaft“: <https://www.bundesumweltministerium.de/pressemitteilung/mehr-kreislaufwirtschaft-staerkt-industrie-und-umweltschutz-in-deutschland>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

17 Verordnung (EU) 2024/1781 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte (Europäische Union): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32024R1781>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

18 VERORDNUNG (EU) 2017/745 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2017 über Medizinprodukte (Europäische Union): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0745>, zuletzt aufgerufen am 11.09.2026.

Industrie	Branchenübergreifende Herausforderungen	Batteriefertigung 	Mikroelektronik 	Industrielle Gesundheitswirtschaft 
Rohstoff-abhängigkeit	Hohe Abhängigkeit von kritischen/ knappen Rohstoffen; Lieferketten-Unsicherheit	Lithium, Kobalt, Nickel, Mangan, Graphit und globale Konkurrenz um diese Rohstoffe	Seltene Erden, Edelmetalle, kritische Mineralien (z. B. Gallium, Germanium)	Platin-Metalle, Seltene Erden, diverse Chemikalien
Lineare Wertschöpfung	Dominanz linearer Geschäftsmodelle, geringe Rückgewinnungsquoten	Primär- statt Sekundärrohstoffe, wenig Recycling-Kapazität	Fokus auf Effizienz/Kosten durch hochkomplexe Produktion, nachgelagerte Kreislaufführung	Einweg-Produkte, regulatorisch bedingte Einmal-verwendung
Produkt-komplexität	Hohe Integration von Materialien erschwert Demontage & Recycling	Eng verbundene Zell- und Modularchitekturen, Schwarzmasse	Miniaturisierung, enge Materialintegration, verklebte Bauteile	Komplexe Verbunde (Pharma-Formulierungen, MedTech-Geräte)
Daten/ Transparenz	Unzureichende Informationen über Materialzusammensetzung	Fehlende Daten zu Batteriezell-Zusammensetzung	Fehlende Material-Datenbanken, geringe Rückverfolgbarkeit	Fehlende standardisierte Angaben zu Inhaltsstoffen und Komponenten
Regulatorische Herausforderungen	Fragmentierte, oft branchenspezifische Vorgaben hemmen Recycling	EU-Batterieverordnung, CRMA, RESourceEU, geplanter CEA	WEEE, RoHS, REACH, CRMA, in Planung ESPR & DPP	CEAP, MDR, PPWR

Tabelle 1: Branchenübergreifende Herausforderungen

Dazu zählen u. a.:

- stark lineare Wertschöpfungsketten,
- hohe Abhängigkeit von knappen bzw. kritischen Rohstoffen,
- komplexe Produktarchitekturen,
- kurze Innovationszyklen und
- ein intensives regulatorisches Umfeld, das häufig den Übergang zu zirkulären Geschäftsmodellen erschwert.

Gleichzeitig bringen die jeweiligen Industrie-Spezifika individuelle Herausforderungen mit sich: Zum Beispiel kämpft die Batterieproduktion vor allem mit dem Ausbau von Raffineriekapazitäten und der Integration von Schwarzmasse, in der Mikroelektronik ist die Miniaturisierung und Komplexität der Produkte ein dauerhaftes Problem und die industrielle Gesundheitswirtschaft sieht sich mit besonders strengen Sicherheits- und Hygieneregeln konfrontiert. Die Tabelle 1 stellt noch einmal die verschiedenen Herausforderungen anhand einer Auswahl von Kategorien gegenüber. Gleichzeitig erhebt die Darstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit, denn bei individueller Betrachtung der Industrien ist eine weitaus umfangreichere Auflistung nötig.

3 Innovationspolitische Implikationen

Die beschriebenen Herausforderungen führen zu einem systemischen Problem: Trotz wachsender Aufmerksamkeit und erster Initiativen gelingt es bislang nicht ausreichend, Kreislaufprinzipien umfassend in technologieintensiven Industrien zu verankern. Stattdessen dominieren weiterhin lineare Produktions- und Konsummuster, die erhebliche Folgen nach sich ziehen. Dazu zählen steigende Umweltbelastungen, eine zunehmende Verknappung kritischer Ressourcen sowie wachsende geopolitische Abhängigkeiten von rohstoffreichen Regionen. Die Transformation hin zu zirkulär-orientierten Technologieentwicklungen und letztlich zu einer zirkulären Wirtschaftsweise ist eine industrie-, innovations- und nicht zuletzt sicherheitspolitische (technologische Souveränität) Aufgabe und erfordert sowohl sektorenübergreifende Maßnahmen (z. B. verstärkte Rohstoffdiversifizierung, einheitliche Datenstandards, zielgerichtete Förderungen) als auch branchenspezifische Impulse, die den jeweiligen technischen, regulatorischen und marktbezogenen Besonderheiten Rechnung tragen.

Dabei geht es nicht allein um technologische Lösungen, sondern ebenso um wirtschaftliche Tragfähigkeit, regulatorische

Rahmenbedingungen und die Zusammenarbeit unterschiedlichster Akteure. Insofern sollten sich innovationspolitische Maßnahmen, insbesondere der Innovationsförderung, systematisch auf zirkuläre Technologiepfade ausrichten. Im Fokus sollten jeweils Maßnahmen zur Schließung der vorhandenen Lücken liegen, insbesondere beim Ausbau von Recycling- und Raffineriekapazitäten, der Entwicklung kreislaforientierten Produktdesigns, Daten- und Transparenzinfrastrukturen sowie zirkulärer Geschäftsmodelle.

Darüber hinaus braucht es Verbindungen und mehr Kohärenz zwischen der Vielzahl fragmentierter Regulierungsimpulse (EU-Batterieverordnung, CRMA, ESPR, DPP, MDR etc.), um hieraus wiederum kohärent Technologiepfade auszuprägen.

Neben einem Förderinstrumentarium sollten vor allem nachfrageseitige Instrumente entstehen (z. B. Beschaffung, Standards, regulatorische Experimentierräume), um die oben beschriebenen Umsetzungslücken zwischen ambitionierten Zielen und realer Marktdoption zirkulärer Lösungen auf größeren Skalen zu schließen.

Eine Verankerung von Circular Economy in Hochtechnologiebereichen lässt sich insbesondere über vier Achsen erreichen:

(1) Förderprogrammatik:

- Ausrichtung bestehender und neuer Programme explizit auf zirkuläre Innovationspfade, inkl. FuE, Pilotierung und Skalierung von Recyclingtechnologien, kreislaforientiertem Design und digitalen Lösungen für Rückführung und Sortierung.
- Spezifische Förderlinien für Startups und Spinoffs sowie skalierende Deep-Techs, die zentrale technologische Herausforderungen adressieren.

(2) Infrastruktur:

- Aufbau und Förderung von Demonstrations- und Reallaboren, um regulatorische Anforderungen (ESPR, DPP, MDR etc.) mit technischen und organisatorischen Lösungen in realen Technologie- und Wertschöpfungsketten zu erproben.
- Diese Infrastruktur adressiert z. B. Pilot-Projekte für Batterierecycling, zirkuläre Mikroelektronik-Designs sowie Refurbishment- und Rücknahmemodelle in der Medizintechnik.

(3) Daten und Standards:

- Förderung von Dateninfrastrukturen und Standardisierung für Material- und Produktinformationen (Digital Product Passports, Datenplattformen für Sekundärrohstoffe), um

Transparenzlücken zu schließen. Ein politisch gestützter Aufbau von interoperablen Datenräumen und Produktpässen sowie von standardisierten Material- und Designanforderungen erleichtert Unternehmen und Start-ups die Entwicklung und Skalierung zirkulärer Lösungen erheblich.

- Unterstützung bei der Entwicklung und Implementierung branchenübergreifender Design-Standards für Demontage, Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit, jeweils angepasst an die Spezifika der drei Industrien.

(4) Governance:

- Aufbau und Moderation sektorübergreifender Innovationsnetzwerke, Inkubatoren/ Acceleratoren und Cluster, die Regulierung, Industrie, Forschung und Startups zusammenbringen. Besonders wirkungstark sind in der Regel Formate, die akademische Forschung, industrielle Partner und junge Unternehmen gemeinsam an marktnahen zirkulären Lösungen arbeiten lassen (z. B. Konsortialprojekte, Accelerator-Programme mit Industriepartnern).
- Nutzung ökosystemorientierter Governance-Ansätze, um lineare Geschäftsmodelle in Richtung zirkulärer Geschäftsmodelle zu transformieren und Pfadabhängigkeiten zu überwinden.

Hier sind neben den öffentlichen Dienstleistern vor allem Projektträger und Innovationsagenturen gefragt. Sie haben einen klaren Auftrag:

Circular Economy muss als strategisches Querschnittsthema zukünftiger Innovationspolitik verstanden und konsequent in technologiepolitische Förder- und Transformationsstrategien integriert werden. Dafür braucht es nicht nur technologische Kompetenz, sondern vor allem systemisches Denken, Transferstärke und die Fähigkeit, Akteure aus Forschung, Industrie, Start-ups und öffentlicher Hand entlang der gesamten Wertschöpfungskette wirksam zusammenzubringen.

Als Innovationsdienstleister begleiten wir derartige Prozesse an der Schnittstelle von Politik, Wissenschaft und Wirtschaft und verfügen über umfassende Expertise in verschiedenen Hightechbranchen sowie industriellen Transformationspfaden. Ein tiefes Verständnis für die Dynamiken technologischer Innovationssysteme ist Voraussetzung. An Relevanz zunehmend ist weiterhin, Innovations- und Transformationsprozesse nicht nur administrativ zu verwalten, sondern aktiv zu gestalten. Dazu braucht es interdisziplinäre Teams aus Natur-, Ingenieur-, Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften, die Förderprogramme, Strategieprozesse, Technologiestudien und Transfermaßnahmen für Bund, Länder und europäische Institutionen entwickeln und begleiten.

4 Ausblick

Circular Economy muss als Querschnittsthema der Innovationspolitik von technologischen Potenzialen in förderpolitische, regulatorische und transferorientierte Umsetzungslogiken übersetzt werden.

Das vorliegende Impulspapier zeigt die hierfür zu beachtenden Grundlagen für eine zirkuläre Wirtschaft am Beispiel der Hochtechnologien Batteriefertigung, Mikroelektronik sowie industrieller Gesundheitswirtschaft auf und legt das konzeptionelle Gerüst, auf dem vertiefte Analysen fußen müssen. Es gilt, Handlungsempfehlungen für die Politik zu entwickeln und gleichzeitig strategische Maßnahmen für die Industrie abzuleiten. Beispielsweise könnten kohärente Regulierungs-Roadmaps ein gangbarer Weg sein oder die Schaffung finanzieller Anreize sowie Vorgaben für eine interoperable, datenbankbasierte Standard- und Dateninfrastruktur. Unternehmen könnten sich stärker der interdisziplinären Teamstruktur verpflichtet sehen oder neuartige Formen der Kooperation erproben. Und natürlich bedarf es einer Empfehlung zur Fortentwicklung der aktuellen Forschungsagenden.

Künftige Aktivitäten müssen diese innovationspolitischen Implikationen aufgreifen und entlang der spezifischen technologischen, regulatorischen und strukturellen Rahmenbedingungen der betrachteten Industrien ausdifferenzieren und in konkrete Handlungsempfehlungen und Maßnahmen überführen.

Herausgeber

Dr. Robert Peters
Institut für Innovation und Technik (iit)
in der VDI/VDE Innovation + Technik
GmbH Steinplatz 1, 10623 Berlin

Zitation

Bechberger, Mischa; Delbrück, Sebastian; Fiehler, Vera; Zehm, Antje; Zinke, Guido (2026): Circular Economy als strategisches Konzept für Hochtechnologieentwicklung. Institut für Innovation und Technik (iit), Berlin.

Autor:innen

Dr. Mischa Bechberger
Tel.: +49 (0) 30 310078 5421
E-Mail: bechberger@iit-berlin.de

Dr. Sebastian Delbrück
Tel.: +49 (0) 30 310078 5765
E-Mail: delbrueck@iit-berlin.de

Dr. Vera Fiehler
Tel.: +49 (0) 351 486797 30
E-Mail: fiehler@iit-berlin.de

Dr. Antje Zehm
Tel.: +49 (0) 351 486797 13
E-Mail: zehm@iit-berlin.de

Guido Zinke
Tel.: +49 (0) 30 310078 217
E-Mail: zinke@iit-berlin.de

September 2026
Layout: Poli Quintana
DOI: 10.23776/2026_21
Bildnachweis:
Fahmida – stock.adobe.com

