Dieses Material ist Teil eines Projekts, das im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon 2020 der Europäischen Union unter der Fördervereinbarung Nr. 101036854 finanziert wurde.

CIRCULAR FOAM

Kunststoffe neu denken

Arbeitsbuch zu Nachhaltigkeitsherausforderungen, Circular-Economy-Lösungen und Szenarioanalyse

Einführung

Dieses Arbeitsbuch enthält eine Serie von drei Modulen, die im Rahmen des von der EU finanzierten Forschungsprojekts „CIRCULAR FOAM – Systemic expansion of territorial CIRCULAR Ecosystems for end-of-life FOAM" (https://circular-foam.eu/) erstellt wurden. Sie sollen das Lernen und die Ausbildung von Menschen aus verschiedenen Disziplinen der Wissenschaft an Universitäten sowie von Personen aus der Praxis in der Industrie unterstützen. Die Module können unabhängig voneinander oder nacheinander durchgearbeitet werden. Das erste Modul bietet eine allgemeine Einführung in die Nachhaltigkeitswissenschaft. Es dient als Wissensgrundlage, insbesondere für das zweite Modul, das sich mit dem Konzept der Kreislaufwirtschaft sowie mit R-Strategien wie Reduce, Reuse oder Recycling befasst. Das letzte Modul befasst sich mit der qualitativen Szenarioanalyse, erläutert die Methode und gibt einen Überblick darüber, wie und wo sie angewendet werden kann.

Weitere Informationen zu diesen Themen und prägnante Beispiele finden Sie in den Ergebnissen des Projektes CIRCULAR FOAM. Deliverable 1.5 wendet die qualitative Szenarioanalyse auf den Projektumfang an und analysiert so die Zukunft des Kunststoffrecyclings und mögliche Kreislaufsysteme für Hochleistungskunststoffe, Kühlschränke und Baumaterialien.

Während die Deliverables 1.1-1.6 überwiegend regionale und sozioökonomische Analysen enthalten, finden sich quantitative Umwelt- und Wirtschaftsanalysen in den Deliverables 7.1-7.8. Darüber hinaus befassen sich andere Ergebnisse eingehender mit Aspekten wie chemischem Recycling, Design und Logistik sowie der wirtschaftlichen Verwertung der Ergebnisse.

Die Inhalte der Module wurden im Rahmen des Seminars „Future Skills" an der Ruhr-Universität Bochum im Sommersemester 2025 entwickelt und angewendet (Einzelheiten siehe Deliverable 8.5[1]).

Es gibt drei Arten von Kästen, die sich durch das gesamte Arbeitsbuch ziehen und zusätzliche Informationen liefern:

Dieses Feld enthält Definitionen und wichtige Details, Hinweise und weitere Informationen zum Thema.

Die Box veranschaulicht das Thema und die Methoden anhand von Übungen, die einzeln oder in Gruppen durchgeführt werden können, um das Verständnis zu vertiefen.

Diese Box enthält weitere Literatur, um tiefer in die wissenschaftliche Forschung und aktuelle Diskussionen zu diesem Thema einzutauchen.

[1] Abrufbar auf: https://circular-foam.eu/

Dieses Material ist Teil des Projekts „CIRCULAR FOAM – Systemic expansion of regional CIRCULAR Ecosystems of End-of-Life FOAM“. Das Projekt wurde im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon 2020“ der Europäischen Union unter der Fördervereinbarung Nr. 101036854 gefördert.

Der Inhalt dieses Dokuments gibt ausschließlich die Ansichten der Autor:innen wieder, und die Europäische Kommission haftet nicht für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen.

Bibliografische Angaben:

Veröffentlichungsdatum: 31. August 2025

Hauptverfasser:innen und Übersetzung ins Deutsche: Julia Uhlig, Dr.-Ing. David Piorunek, Jana Wegener, Dr. Jan-Hendrik Kamlage

Ruhr-Universität Bochum (RUB), Bochum, Deutschland

Website: https://circular-foam.eu/

Nachhaltigkeitsherausforderungen der Kunststoffwirtschaft

Kunststoffe, in der Fachsprache als synthetische Polymere bezeichnet, sind eine Materialklasse, die seit ihrer modernen industriellen Entwicklung zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Art und Weise revolutioniert hat, wie Produkte entworfen, hergestellt und verwendet werden können (Rasmussen, 2018). Heute stellt ihre Herstellung einen bedeutenden Aspekt der chemischen Industrie und Technologie in der modernen Gesellschaft dar (ebenda) und trägt somit in hohem Maße zur sozioökonomischen Entwicklung von Ländern weltweit bei.

Aufgrund ihrer vielfältig einstellbaren mechanischen und funktionalen Eigenschaften sowie ihres hohen Leistungs-Kosten-Verhältnisses werden Kunststoffe in allen Verbraucher- und Industriemärkten eingesetzt, z. B. für Anwendungen in Verpackungen, Textilien, Haushaltsgeräten und Alltagsprodukten, Industriemaschinen, elektrischen und elektronischen Geräten, Transportwesen oder Bauwesen (Stegmann et al., 2022).

Trotz der technischen und wirtschaftlichen Vorteile der Kunststoffwirtschaft gibt es mehrere ökologische Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Lebenszyklus von Kunststoffen. So gelangen beispielsweise Millionen Tonnen von Kunststoffen in Form von Makro-, Mikro- und Nanokunststoffen in die Ozeane und Süßwasserreservoirs, terrestrische Umgebungen, biologische Systeme und Nahrungsnetze (Bank und Hansson, 2022; Ellen MacArthur Foundation et al., 2016). Darüber hinaus trägt die Kunststoffwirtschaft erheblich zu den globalen Treibhausgasemissionen (THG) bei, die den Klimawandel vorantreiben, da sie bis heute überwiegend aus endlichen fossilen Ressourcen wie Gas und Öl hergestellt und am Ende ihrer Lebensdauer (EoL) oft verbrannt werden (Bachmann et al., 2023). Leider wird je nach Region nur ein kleiner Teil von 5 bis 20 % recycelt, und das oft zu minderwertigen Materialien und Anwendungen (Amadei et al., 2025; Sheldon und Norton, 2020).

Eine weitere Dimension, die die Herausforderungen der ökologischen Nachhaltigkeit verschärft, ist die erwartete zukünftige Entwicklung und Zunahme der Kunststoffproduktion, -verwendung und -abfallerzeugung. Auf globaler Ebene schätzen Stegmann et al. (2022), dass sich die jährliche Kunststoffproduktion bis zum Jahr 2050 mehr als verdoppeln wird und somit auch die Abfallerzeugung diesem Trend folgt. Sie zeigen auch, basierend auf plausiblen Szenarioannahmen, dass sich der Großteil der verwendeten Kunststoffe im Bauwesen ansammeln wird, wo neben anderen technischen Kunststoffen auch Polyurethan-Hartschaum (PUR) für Dämmzwecke verwendet wird. Ein weiterer Blick auf den prognostizierten Kunststoffverbrauch bis 2050 wurde kürzlich von Dokl et al. (2024) geworfen, der zeigt, dass die Europäische Union ihren jährlichen Kunststoffverbrauch bis 2050 bei etwa 70-80 Megatonnen (Mt) stabilisieren könnte, vorausgesetzt, es gibt erhebliche Verbesserungen in Bezug auf die Recycling-Infrastruktur, die Recycling-Technologie und die Recyclingquoten.

„1. Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der Gegenwart gerecht wird, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zu beeinträchtigen, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen. Sie umfasst zwei Schlüsselkonzepte:

- das Konzept der „Bedürfnisse“, insbesondere der Grundbedürfnisse der Armen dieser Welt, denen oberste Priorität eingeräumt werden sollte; und
- die Vorstellung von den Beschränkungen, die der Stand der Technik und die soziale Organisation der Umwelt auferlegen, um gegenwärtige und zukünftige Bedürfnisse zu befriedigen.

[...]

3. Entwicklung beinhaltet einen fortschreitenden Wandel von Wirtschaft und Gesellschaft. Ein in physischer Hinsicht nachhaltiger Entwicklungsweg könnte theoretisch sogar in einem starren sozialen und politischen Umfeld verfolgt werden. Physische Nachhaltigkeit kann jedoch nur gewährleistet werden, wenn die Entwicklungspolitik Aspekte wie Veränderungen beim Zugang zu Ressourcen und bei der Verteilung von Kosten und Nutzen berücksichtigt. Selbst der enge Begriff der physischen Nachhaltigkeit impliziert die Sorge um soziale Gerechtigkeit zwischen den Generationen, eine Sorge, die logischerweise auf die Gerechtigkeit innerhalb jeder Generation ausgedehnt werden muss.” (Eigene Übersetzung aus dem Englischen, WCED, 1987, S. 41)

Der kurze Überblick über den Kompromiss zwischen den techno-ökonomischen Vorteilen und den ökologischen Herausforderungen der Kunststoffwirtschaft zeigt, dass das überwiegend auf fossilen Brennstoffen basierende Geschäftsmodell der Kunststoffwirtschaft für die Umwelt absolut nicht nachhaltig ist. Aus diesem Grund fordern immer mehr Wissenschaftler:innen, Politiker:innen, NGOs und Industrieinitiativen gleichermaßen systemische und wirkungsvolle Veränderungen. Beispielhaft dafür ist die Industrieagenda „The New Plastics Economy – Rethinking the Future of Plastics“, die bereits 2016 einen „neuen Ansatz“ forderte.

„Um über kleine und schrittweise Verbesserungen hinauszukommen und einen systemischen Wandel hin zu einer neuen Kunststoffwirtschaft zu erreichen, müssten bestehende Verbesserungsinitiativen durch eine konzertierte, globale Kooperationsinitiative ergänzt und geleitet werden, die dem Ausmaß der Herausforderung und der Chance gerecht wird. Eine solche Initiative gibt es derzeit nicht und müsste daher unter der Leitung einer unabhängigen Koordinierungsstelle ins Leben gerufen werden.“ (Eigene Übersetzung aus dem Englischen, Ellen MacArthur Foundation et al., 2016, S. 23)

Die wesentliche Frage bleibt, wie sie kürzlich vom Europäischen Gemeinsamen Forschungszentrum (JCR, 2025) deutlich formuliert wurde: „Kann die Kunststoffbranche nachhaltiger werden?“ Eine Studie von Amadei et al. (2025) untersuchte in den 27 EU-Mitgliedsstaaten die Materialflüsse für die gesamte Wertschöpfungskette von Kunststoffen im Jahr 2022 und zeigte, dass „Verbrennung und Deponierung nach wie vor die dominierenden Abfallentsorgungsoptionen in der EU-27 darstellen“. Daher empfiehlt das JCR die Verfolgung von Schlüsselstrategien für eine kreislauffähige Kunststoff-Wertschöpfungskette:

„Eine verbesserte Sammlung und Sortierung von Kunststoffabfällen würde die Verluste von Kunststoffen in die Umwelt reduzieren, das Recycling verbessern und letztendlich eine stärker kreislauforientierte Wertschöpfungskette fördern.

Die Studie hebt hervor, dass die Kombination von mechanischem und chemischem Recycling von grundlegender Bedeutung sein könnte.

Das chemische Recycling, das derzeit nur einen vernachlässigbaren Anteil des Sektors ausmacht, kann tatsächlich die Verwertung von Materialien ermöglichen, die mit anderen Methoden nicht recycelt werden könnten.“ (Eigene Übersetzung aus dem Englischen, Joint Research Centre, 2025)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Industrieagenden und Roadmaps wie „The New Plastics Economy“ (Ellen MacArthur Foundation et al., 2016) oder „The Plastics Transition“ mit ehrgeizigen Zielen wie „Netto-Null-Emissionen bis 2050“ (Plastics Europe, 2024) im Einklang mit aktuellen wissenschaftlichen Studien zeigen, dass die Nachhaltigkeitsherausforderungen der Kunststoffwirtschaft mehr kooperative, transformative und systemische Veränderungen erfordern, um die aktuellen Umweltauswirkungen zu reduzieren und den bis zum Jahr 2050 erwarteten Anstieg zu verhindern.

Wissenschaft und Lehre

Welche Forschungsansätze sind für Ihr Fachgebiet am wichtigsten, um nachhaltige Alternativen oder Strategien hinsichtlich der Lebenszyklen und Umweltauswirkungen von Kunststoffen zu entwickeln?

Was sind aus Ihrer akademischen Perspektive die größten systemischen Hindernisse für eine umweltfreundlichere Kunststoffwirtschaft?

Wie können Ihre Forschungs- oder Lehrinitiativen die notwendigen kooperativen und transformativen Veränderungen innerhalb Ihres Fachgebiets oder mit anderen Disziplinen fördern, um diese Hindernisse zu überwinden?

Industrie

Wie kann Ihr Unternehmen die technischen Vorteile von Kunststoffen nutzen und gleichzeitig Produktdesign, Materialauswahl und Herstellungsprozesse innovativ gestalten, um die Abhängigkeit von endlichen fossilen Ressourcen deutlich zu reduzieren?

Wenn Ihr Unternehmen in der Kunststoffwirtschaft tätig ist, z. B. in Sektoren mit hohen Stückzahlen und langen Lebenszyklen, welche konkreten technischen Herausforderungen und Chancen ergeben sich aus den oben genannten Nachhaltigkeitsaspekten?

Wie kann Ihre technische Abteilung oder Ihr technisches Team aktiv zu einem systemischen Wandel hin zu mehr Nachhaltigkeit beitragen, z. B. innerhalb der Strategien, Abläufe, Lieferketten oder Produktentwicklung Ihres Unternehmens?

Welche konkreten technischen Lösungen oder Prozessoptimierungen kann Ihr Unternehmen umsetzen, um seinen CO_2-Fußabdruck und andere Umweltauswirkungen im Zusammenhang mit der Herstellung, Verwendung oder Entsorgung von Kunststoffen zu reduzieren?

Wenn Sie mehr über systemische Ansätze zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit erfahren möchten, können Sie sich mit den folgenden Konzepten und entsprechenden Studien befassen:

- Sustainable Development Goals (SDGs) (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2025)
- Planetary Boundaries and Health (World Economic Forum et al., 2025)
- Ecological Footprint and Overshoot Day (Global Footprint Network, 2025)

Circular Economy und R-Strategien

Circular Economy

Herausforderungen im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit sind für Ansätze der Circular Economy (Kreislaufwirtschaft, CE) von grundlegender Bedeutung, da CE-Strategien häufig darauf abzielen, den Verbrauch natürlicher Ressourcen zu reduzieren, Abfall und Emissionen zu minimieren oder das Recycling von Stoffen und die Rückgewinnung von Energie zu fördern. Systemische Kreislauflösungen gehen sogar über Recycling und Rückgewinnung hinaus und konzentrieren sich auf eine intelligentere Produktnutzung und -herstellung, die Verlängerung der Lebensdauer von Produkten und deren Teilen sowie die Schaffung nützlicher Anwendungen für Materialien (Potting et al., 2017).

Für den Begriff „Circular Economy“ gibt es Schlüsselkonzepte und Ansätze, die sowohl von Wissenschaft als auch Industrie vorgeschlagen und untersucht wurden. Aus systemischer Sicht kann die Circular Economy als Vision eines Wirtschaftssystems verstanden werden, das einen Paradigmenwechsel anstrebt – indem es das lineare End-of-Life-Konzept (EoL) (von der Wiege bis zum Abfall) durch ein Kreislaufsystem ersetzt, das den Wert von Materialien und Produkten so lange und so hoch wie möglich entlang der gesamten Wertschöpfungskette erhält. Darüber hinaus sollten CE-Lösungen im Einklang mit einer nachhaltigen Entwicklung ein ausgewogenes Verhältnis zwischen wirtschaftlichen Interessen, Umweltschutz und Aspekten der sozialen Gerechtigkeit schaffen (Bachmann et al., 2023; Kirchherr et al., 2023).

In der Wissenschaft hat das Interesse an CE deutlich zugenommen, insbesondere zwischen den Jahren 2014 und 2024, wie aus dieser Abbildung ersichtlich ist:

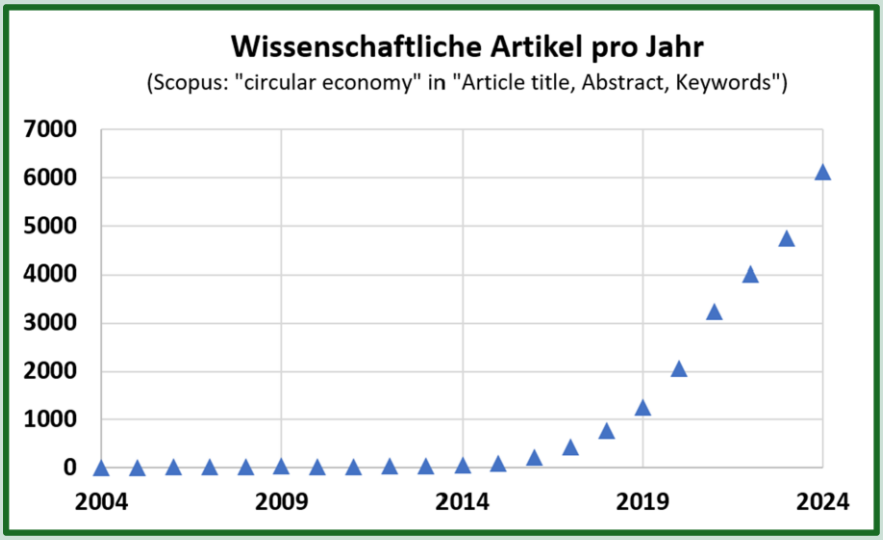


Abbildung 1: Wissenschaftliche Artikel über Circular Economy zwischen 2004 und 2024, basierend auf SCOPUS

Ein ganzheitlicheres Beispiel für ein CE-Konzept, das sich auf dieses systemische Zusammenspiel konzentriert, ist das Cradle-to-Cradle-Konzept (C2C) von (McDonough und Braungart, 2002), das in Abbildung 2 (Müller, 2022) visualisiert ist. Aus der C2C-Perspektive besteht das übergeordnete Ziel für das Material-, Produkt- und Systemdesign darin, vollständig geschlossene biologische oder technische Materialkreisläufe anzustreben. Auf der linken Seite, die den biologischen Kreislauf darstellt, sollten regenerative und ökologisch positive Prozesse die Circular Economy während der gesamten Herstellung und nach dem Verbrauch fördern, bis die Produkte wieder zu organischen Nährstoffen werden. Auf der rechten Seite erfordert der technische Kreislauf besser koordinierte CE-Strategien und -Maßnahmen, z. B. für die Demontage und Trennung, bevor Produktteile wiederverwendet oder technische Nährstoffe recycelt werden können. Zentrale Motivationen für beide Kreisläufe sind auch, die Lebensdauer von Materialien und Produkten so effektiv und effizient wie möglich zu verlängern sowie systemische Leckagen und Umweltauswirkungen, z. B. von giftigen oder gefährlichen Stoffen oder Treibhausgasemissionen, zu minimieren.

Darüber hinaus unterscheidet sich die Rolle des „Verbrauchers" oder „Nutzers" je nach regenerativem oder technischem Geschäftsmodell erheblich. Im Rahmen des biologischen Kreislaufs müssen sich Verbraucher:innen im Idealfall weniger Gedanken über den Verbrauch und die Entsorgung ihrer grünen Produkte machen, da diese beispielsweise als biologisch abbaubare Nährstoffe oder für biochemische Prozesse konzipiert sind, ohne schädliche oder gesundheitsgefährdende Stoffe in die Umwelt freizusetzen (Braungart et al., 2007). Als Teil des technischen Kreislaufs ist die Beteiligung der Nutzer:innen entscheidend für das Sammeln und Sortieren von Teilen des Produkts oder des gesamten Produkts, um die hochwertigen Materialkreisläufe zu schließen und passende CE-Lösungen anzuwenden. Für Designer:innen und Ingenieur:innen erfordert dies ein Umdenken in Bezug auf Material-, System- und Produktdesign, indem „die Art und Weise, wie wir Dinge herstellen, neu gestaltet wird" (ebenda) – Produkte und Prozesse müssen nicht nur für die Wirtschaft, sondern gleichermaßen für die Umwelt und die Gesellschaft vorteilhaft und positiv sein.

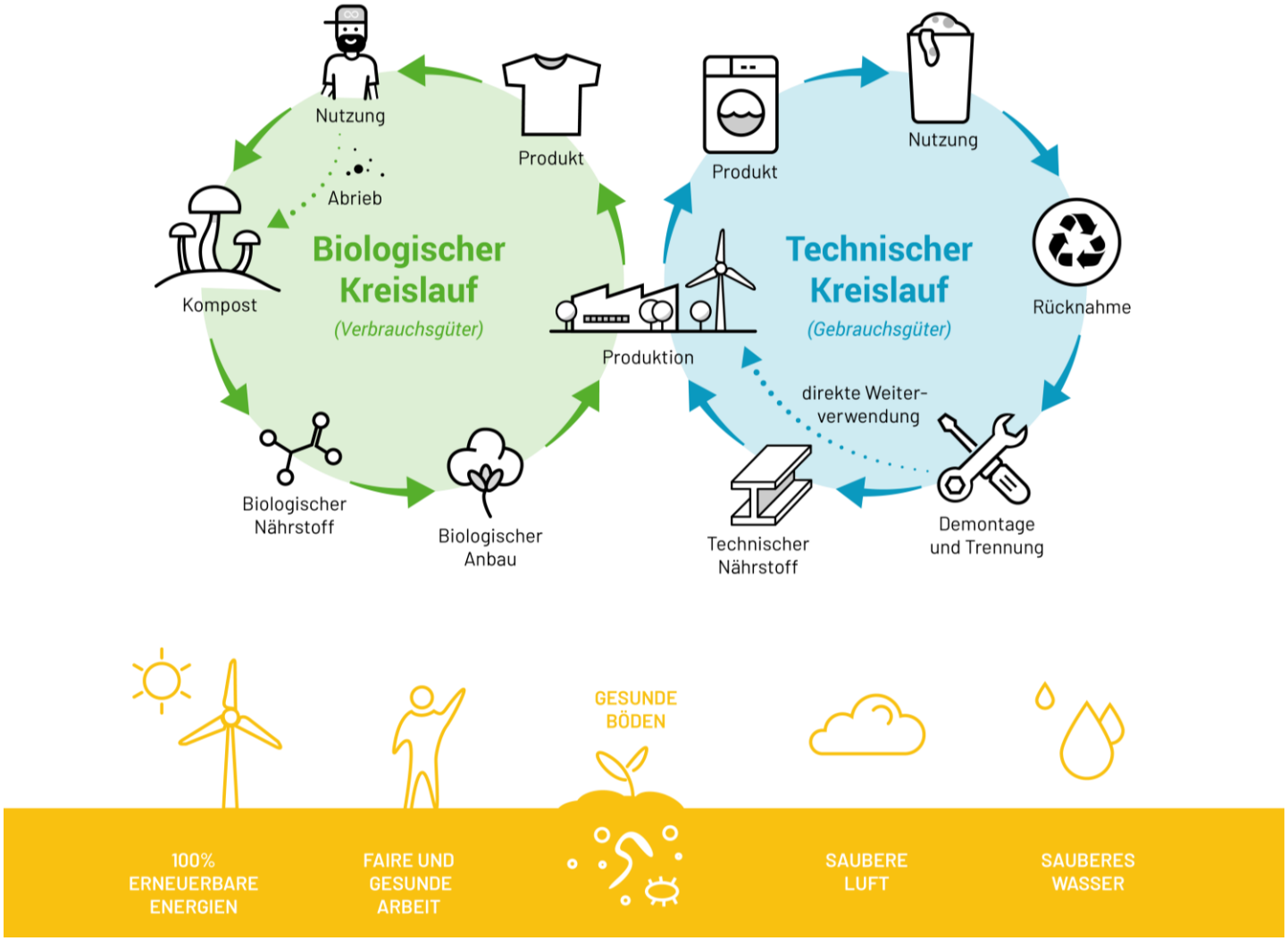


Abbildung 2: „Cradle to cradle“, Visualisierung eines Systemdiagramms von Circular Economy (Müller, 2022, basierend auf: Braungart & McDonough)

R-Strategien

R-Strategien wie Reduce, Reuse oder Recycle haben sich als CE-Ansätze etabliert, die Wissenschaft, Verbraucher:innen, Unternehmen und politischen Entscheidungsträger:innen gleichermaßen dabei helfen können, Herausforderungen im Bereich der Nachhaltigkeit anzugehen und sie zu inspirieren, zirkuläre Lösungen zu finden. Die Logik der R-Strategie bietet einen niederschwelligen Einstieg in CE-Konzepte. Sie kann z. B. dazu anregen, lineare Geschäftsmodelle grundlegender zu überdenken – beispielsweise Produkte zu teilen oder zu mieten, anstatt sie zu kaufen. Sie kann Ihnen auch dabei helfen, konkrete Ideen für zirkuläre Lösungen zu entwickeln, die spezifische Herausforderungen der Nachhaltigkeit angehen – wie die Reduzierung der Verbrennung von Kunststoffabfällen durch neue Recyclingverfahren. Die wissenschaftliche und/oder industrielle Entwicklung, Umsetzung und Bewertung potenzieller zirkulärer Lösungen kann dann darauf aufbauen und Ihnen helfen, das Nachhaltigkeitsproblem gründlicher zu untersuchen.

Die Leitfrage kann lauten:

Welche R-Strategie eignet sich am besten, um Ihre Nachhaltigkeitsherausforderung zu lösen, indem Sie Produkte intelligenter nutzen und herstellen, die Lebensdauer von Produkten und deren Teilen verlängern und/oder nützliche Anwendungen für Materialien schaffen (vgl. Potting et al., 2017)?

Wenn Sie sich eingehender mit der akademischen Diskussion über CE-Konzepte befassen und sich einen guten Überblick über die wissenschaftliche Literatur verschaffen möchten, können Sie die Studie „Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions" von Kirchherr et al. (2023) hinzuziehen, aus der das folgende Zitat stammt:

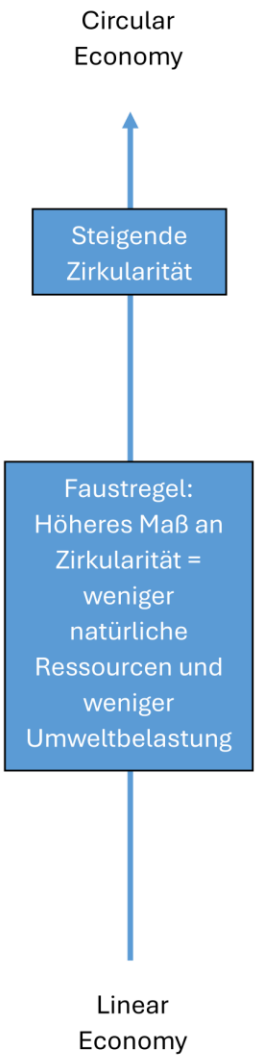
„Es hat sich ein Konsens hinsichtlich der Grundprinzipien der Circular Economy herausgebildet: 70 bis 80 Prozent der Artikel erkennen „Reuse" und „Recycling" als die beiden Grundprinzipien der Circular Economy an, ähnlich wie in der Analyse von 2017. Vor allem fordert ein zunehmender Anteil der Definitionen nun auch grundlegende systemische Veränderungen, um den Übergang zur Circular Economy zu fördern. Daher scheint die Circular Economy weniger durch schrittweise Veränderungen umgesetzt werden zu können." (Eigene Übersetzung aus dem Englischen, Kirchherr et al., 2023, p.9)

Ein guter Ausgangspunkt, um R-Strategien besser zu verstehen und auszuwählen, kann der Politikbericht „Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain" (Potting et al. (2017) sein. Die Autor:innen entwickelten einen konzeptionellen Rahmen, der die Rolle von Innovation bei der Umstellung

auf Circular Economy bewertet, und wandten ihn auf verschiedene hypothetische und praktische Fälle an, darunter Kunststoffverpackungen sowie elektrische und elektronische Geräte. Ein wichtiges Ergebnis des Berichts ist eine Liste von 10 R-Strategien, die in einer Prioritätsreihenfolge von hoher Circular Economy (niedrige R-Zahl) bis zu geringer Circular Economy (hohe R-Zahl) aufgeführt sind und der „Ladder van Lansink" für die Abfallbehandlung ähneln (WasteOnline, 2022). Das Prinzip und die Haupthypothese dieses Rahmens ist, dass mehr Circular Economy im Allgemeinen zu mehr Umweltvorteilen führt.

Die nach Rangfolge geordneten R-Strategien wurden in drei CE-Strategiekategorien eingeteilt. Die erste Gruppe „intelligentere Produktnutzung und -herstellung" mit der höchsten Kreislaufpriorität umfasst Refuse (R0), Rethink (R1) und Reduce (R2). Die mittlere Kategorie besteht aus R-Strategien, die „die Lebensdauer von Produkten und deren Teilen verlängern" durch Reuse (R3), Repair (R4), Refurbish (R5), Remanufacture (R6) und Repurpose (R7). Die „nützliche Verwendung von Materialien" umfasst Recycle (R8) und Recover (R9), die bereits etablierte industrielle Kreislauflösungen zum Schließen von Materialkreisläufen und zur Rückgewinnung von Wärmeenergie sind (Kirchherr et al., 2023). Ein Auszug aus der Darstellung des R-Strategie-Rahmens von Potting et al. (2023, S. 5) ist in Abbildung 3 zu sehen, die auch Definitionen für jede der Strategien enthält.

Sehen Sie sich das Rahmenwerk der R-Strategien von Potting et al. (2017) genauer an. Anhand der Fallstudien „Kunststoffverpackungen" und „Elektro- und Elektronikgeräte" (Potting et al., 2017, S. 23–28) können Sie sich mit dem Rahmenwerk vertraut machen und mehr über konkrete Beispiele erfahren, z. B. wie man als Verbraucher:in Plastikflaschen ablehnen oder wiederverwenden kann oder wann man Kühl- und Gefrierschränke wiederaufbereiten sollte.



Produkt einsparen oder klüger nutzen und herstellen	R0 Refuse	Überflüssigmachen des Produkts: seine Funktion anders bereitstellen
	R1 Rethink	Überdenken von Produktdesign oder -nutzung, um das Produkt intensiver zu nutzen
	R2 Reduce	Reduzieren des Ressourcenverbrauchs und Erhöhen der Effizienz in Produktion oder Nutzung
Lebensdauer von Produkten oder Komponenten erhöhen	R3 Reuse	Wiederverwenden durch Dritte in Originalfunktion
	R4 Repair	Reparieren und Warten von (defekten) Produkten zum Herstellen des Originalzustands
	R5 Refurbish	Aufarbeiten und Aktualisieren alter Produkte
	R6 Remanufacture	Wiederaufbereiten alter Teile für dieselbe Funktion in neuen Produkten
	R7 Repurpose	Umfunktionieren alter Teile für andere Funktionen in neuen Produkten
Materialien sinnvoll wiederverwenden/ verwerten	R8 Recycle	Recycling von Materialien zur stofflichen Verwertung in neuen Produkten
	R9 Recover	Verbrennen von Abfällen zur Energienutzung

Abbildung 3: R-Strategien in der Reihenfolge ihrer Priorität (Potting et al., 2017, S. 5; Übersetzung basierend auf Prosperkolleg o.D.)

Wissenschaft und Lehre

Angesichts des deutlich gestiegenen akademischen Interesses an CE zwischen 2014 und 2024: Haben Sie bereits in Forschungsprojekten an CE-Herausforderungen gearbeitet oder CE-Konzepte und -Literatur in der Lehre verwendet? Welche Aspekte der Erforschung/Lehre von CE sind am schwierigsten? Warum?

Was halten Sie von der folgenden Aussage: „CE-Lösungen sollten im Einklang mit einer nachhaltigen Entwicklung ein faires Gleichgewicht zwischen wirtschaftlichen Interessen, Umweltschutz und Aspekten der sozialen Gerechtigkeit schaffen"? Stimmen Sie zu? Stimmen Sie nicht zu? Bitte diskutieren Sie aus Ihrer fachlichen Sicht, ob ein faires Gleichgewicht erreichbar ist, und/oder diskutieren Sie mögliche Kompromisse gemeinsam mit Ihrem Team/Ihren Studierenden.

Wie kann das Cradle-to-Cradle-Konzept (C2C), das vollständig geschlossene biologische oder technische Materialkreisläufe anstrebt, in Bildungseinrichtungen effektiv eingesetzt werden, um die unterschiedlichen Rollen der Verbraucher:innen und die spezifischen Designanforderungen für Produkte in jedem Zyklus zu veranschaulichen?

Welche Arten von Fallstudien oder praktischen Übungen aus Ihrem Fachgebiet fallen Ihnen ein, ähnlich den Beispielen „Kunststoffverpackungen" und „Elektro- und Elektronikgeräte" in Potting et al. (2017)? Bereiten Sie passende Beispiele vor und diskutieren Sie diese mit Ihrem Forschungsteam bzw. Ihren Studierenden unter Verwendung der Leitfrage: „Welche R-Strategie eignet sich am besten, um Ihre Nachhaltigkeitsherausforderung zu lösen?"

Wie kann die akademische Gemeinschaft zur interdisziplinären wissenschaftlichen Entwicklung, Umsetzung und Bewertung potenzieller Kreislauflösungen auf der Grundlage spezifischer R-Strategien beitragen, insbesondere solcher, die in der Industrie weniger häufig angewendet werden, wie „Refuse" (R0), „Rethink" (R1) und „Reduce" (R2)?

Industrie

Wie interpretiert und implementiert Ihr Unternehmen derzeit Ansätze der „Circular Economy“, insbesondere im Hinblick auf die Reduzierung des Verbrauchs natürlicher Ressourcen, die Minimierung von Abfall und Emissionen oder die Förderung des Recyclings von Stoffen und der Rückgewinnung von Energie?

Inwiefern könnten die Produktdesign- und Fertigungsprozesse Ihres Unternehmens unter Berücksichtigung des Cradle-to-Cradle-Konzepts (C2C) neu bewertet werden, um vollständig geschlossene biologische oder technische Materialkreisläufe zu erreichen? Ist dieses idealistische Konzept anwendbar? Wenn nicht, warum? Mit welchen wirtschaftlichen, ökologischen oder sozialen Herausforderungen würden Sie konfrontiert sein, wenn Sie Ihr Geschäftsmodell oder die von Ihnen verwendeten/hergestellten Materialien und Produkte überdenken würden?

Wie geht Ihr Unternehmen mit der Herausforderung um, Verbraucher:innen und Nutzer:innen von Produkten einzubeziehen, um deren Beteiligung an der Sammlung und Sortierung von Teilen zur Schließung wertvoller Materialkreisläufe sicherzustellen? Profitieren sie von Ihrem Geschäftsmodell, vielleicht in wirtschaftlicher, ökologischer oder psychologischer Hinsicht? Wenn nicht, warum, und wie könnten Sie es vielleicht ändern?

Welche Herausforderungen oder Chancen sehen Sie in der Umstellung von inkrementellen Veränderungen in den Nachhaltigkeitsbemühungen hin zu grundlegenderen systemischen Veränderungen, die für eine umfassende Anwendung verschiedener R-Strategien in Ihrer Wertschöpfungskette erforderlich sind?

Wie untersucht und implementiert Ihr Unternehmen über etablierte industrielle Lösungen wie Recycle (R8) und Recover (R9) hinaus aktiv R-Strategien mit höherer Priorität wie Refuse (R0), Rethink (R1) und Reduce (R2), um eine „intelligentere Produktnutzung und -herstellung” zu erreichen?

Welche R-Strategien aus der Kategorie „Verlängerung der Lebensdauer von Produkten und deren Teilen” – Reuse (R3), Repair (R4), Refurbish (R5), Remanufacture (R6) oder Repurpose (R7) – bieten das größte Potenzial für Umweltvorteile und wirtschaftlichen Wert innerhalb Ihres aktuellen Produktportfolios, und welche Schritte sind vielversprechend und realisierbar, um diese zu integrieren?

Wenn Sie hochwertige, komplexe und/oder technische Materialien herstellen oder verwenden – wie beispielsweise fortschrittliche Legierungen, Verbundwerkstoffe oder Hochleistungskunststoffe/Polymere – welche R-Strategie passt am besten zu Ihrem Materialsystem und Lebenszyklus? Warum? Welche Kompromisse und/oder Synergien sehen Sie für die Anwendung einer bestimmten R-Strategie in Bezug auf die wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Nachhaltigkeitsziele Ihres Unternehmens?

Wie stellen Sie und Ihr Unternehmen sicher, dass hochwertige Materialien so gesammelt, getrennt und behandelt werden, dass ihr Materialwert erhalten bleibt und sie in hochwertigen Anwendungen wiederverwertet werden können, anstatt für minderwertige Zwecke verwendet zu werden?

Qualitative Szenarioanalyse

Die Szenarioanalyse ist eine Methode, die in verschiedenen Kontexten und Bereichen eingesetzt wird, beispielsweise im interdisziplinären Feld der Zukunftsforschung im wissenschaftlichen Kontext oder als strategisches Entscheidungsinstrument in Bereichen wie Krisenmanagement, Politikgestaltung und Wirtschaft. Sie kann als transdisziplinäres Anwendungsgebiet klassifiziert werden und Zukunftsmethoden gewinnen aufgrund der dynamischen und sich schnell verändernden globalen Situation zunehmend an Popularität und Relevanz (Greeuw et al., 2000, S. 6; Bradfield et al., 2005, S. 796). Die Szenario-Methodik befasst sich mit erwarteten strukturellen Entwicklungen in der Zukunft und deren Auswirkungen. Es gibt viele verschiedene Ansätze, Definitionen und Techniken, was zu einer Vielfalt möglicher, auf bestimmte Themen zugeschnittener Methodenentwürfe führt (Bishop et al., 2007; Bradfield et al., 2005, S. 795; Gausemeier et al., 1998; Kosow & Gaßner, 2008, S. 9, 18; van Notten et al., 2003, S. 424).

Ein Szenario ist eine plausible, begründete und mögliche Darstellung der Zukunft. Szenarien erheben keinen Anspruch auf Vorhersagbarkeit, Selbstverwirklichung oder Vollständigkeit. Der Fokus liegt nicht nur auf einem plausiblen Bild und dem systematischen Weg dorthin, sondern auch auf mehreren alternativen Wegen und Bildern, die skizziert und begründet werden sollten. Sie zeigt alternative Entwicklungsmöglichkeiten auf und liefert Entscheidungsregeln.

Das Ziel der Szenarioanalyse besteht daher darin, mehrere mögliche Entwicklungen bis zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft zu beschreiben (Geschka & Schwarz-Geschka, 2012, S. 3; Kosow & Gaßner, 2008, S. 9).

Ansätze: Qualitativ vs. quantitativ vs. mixed

Es gibt verschiedene Ansätze, die zur Entwicklung von Szenarien verwendet werden können, sodass es keinen einzigen, universell anwendbaren Ansatz gibt. Grundsätzlich wird zwischen systematisch-formalisierten und kreativ-narrativen Ansätzen unterschieden. Bei Ersteren werden die Schlüsselfaktoren klar definiert und anschließend variiert und kombiniert, um den Szenario-Trichter zu öffnen und die Szenarien zu entwickeln. Alle Einflussfaktoren des Themas werden identifiziert, um die einzelnen Faktoren zu vergleichen und ihre Wechselwirkungen zu berücksichtigen. Auf diese Weise wird für jedes Paar die gegenseitige Beziehung bestimmt. Dieser Ansatz wird auch als modellbasierter Ansatz bezeichnet, da er häufig mit Hilfe von ergänzender Software verwendet wird. Klassische Techniken dieses Ansatzes sind die Einflussanalyse, die Konsistenzanalyse und die

Cross-Impact-Analyse (Kosow & Gaßner, 2008, S. 38; van Notten et al., 2003, S. 427).

Die kreativ-narrativen Ansätze basieren auf intuitiver Logik und stellen die Szenarioentwicklung als einen Prozess dar, der weitgehend von Kreativität und dem Wissen der Teilnehmer:innen bestimmt wird. Schließlich sind Kreativität und Techniken wie Brainstorming wertvolle und wichtige Komponenten des Zukunftsdenkens (Pillkahn, 2008, S. 190).

Gleichzeitig wird auch ein Szenario-Trichter auf die formalisierten Merkmale der Schlüsselfaktoren angewendet. In diesem Zusammenhang werden kreative Techniken und implizites Wissen bewusst eingesetzt. Der Prozess ist als partizipativer Ansatz konzipiert und folgt denselben Grundprinzipien wie der systematisch-formalisierte Ansatz. Zu den gängigen Techniken dieser Methode gehören intuitive Logik und normativ-narrative Szenarien.

Bei der Gestaltung des Szenario-Prozesses ist jedoch zu beachten, dass die Grenzen zwischen den beiden Ansätzen fließend sind. Die konkrete Gestaltung der einzelnen Analysen ist selten idealtypisch, und Techniken des einen Ansatzes können stärker formalisiert oder Techniken des anderen Ansatzes kreativer entwickelt werden, wodurch ein gemischter Ansatz („mixed“) entsteht.

Für die Durchführung einer Szenarioanalyse stehen verschiedene Ansätze und Techniken zur Auswahl. Dies liegt daran, dass der Szenarioprozess individuell an die jeweilige Situation und die zu beantwortende Forschungsfrage angepasst werden muss, weshalb es keinen universell gültigen und anwendbaren Ansatz geben kann.

Diese Wahl basiert auf drei Parametern, die für die Prozessgestaltung wesentlich sind: dem Ziel des Projekts, den verfügbaren Ressourcen und den zu erreichenden Inhalten (Bradfield et al., 2005; Kosow & Gaßner, 2008, S. 61).

Eine Übersicht über mögliche Techniken und Werkzeuge in eher qualitativen oder quantitativen Umgebungen finden Sie unter:

Kosow, H., Gaßner, R., 2008. Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse. Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien. https://www.izt.de/media/2022/10/IZT_WB103.pdf.

Zweck und Ziel der Szenarioanalyse

Die Szenarioanalyse untersucht systematisch mögliche Konsequenzen für die Gegenwart. Ihr Ziel ist es, Transformationsprozesse zu erklären und die Wahrnehmung und das Verständnis von Veränderungen zu unterstützen. Darüber hinaus untersucht sie das Potenzial für Veränderungen durch konkrete Maßnahmen und die Möglichkeiten, aufkommende Trends zu beeinflussen.

Sie basiert auf einer Reihe verschiedener Einflussfaktoren und skizziert mögliche Zukunftsszenarien in Abhängigkeit von bestimmten Annahmen. Diese Szenarien berücksichtigen erwartete Entwicklungen, ungewisse Veränderungen und neue Einflüsse, die möglicherweise zum Tragen kommen. Daher bietet sie kein vollständiges Bild der Zukunft, sondern vielmehr Einblicke in bestimmte, besonders relevante Aspekte davon.

Eine Szenarioanalyse kann verschiedenen Zwecken dienen. Es ist wichtig, vor der

Analyse die verschiedenen Alternativen zu berücksichtigen, um den Prozess zu konkretisieren und das Forschungsdesign prägnant zu gestalten (van Notten et al., 2003, S. 426).

Es lassen sich vier Hauptfunktionen für die Erstellung von Szenarien identifizieren (Kosow & Gaßner, 2009, S. 18):

- Explorative und/oder Wissenschaftsfunktion
- Kommunikative Funktion
- Zielkonkretisierungs- und -erstellungsfunktion
- Entscheidungs- und Strategiebildungsfunktion

Als erstes kann die Szenarioanalyse die Konzeption und das Verständnis des Forschungsthemas unterstützen, da sie hilft, Wissensgrenzen wie Unsicherheiten, Lücken und Komplexität zu identifizieren und Veränderungsprozesse zu erklären. Sie kann Möglichkeiten der Intervention und der Vermeidung potenziell katastrophaler Auswirkungen von Einflussfaktoren untersuchen. Dadurch vertieft sie das Wissen und deckt dessen Grenzen auf. Szenarien können als Teil eines Kommunikationsprozesses erstellt werden und dienen als Instrument, um das Verständnis eines Themas oder Problems für eine vielfältige Gruppe zu unterstützen. Sie können auch die Kommunikation und Informationslage verbessern und auf diese Weise das Verständnis erweitern. Die dritte Funktion der Szenarioanalyse besteht darin, die Entwicklung und Konkretisierung spezifischer Ziele zu unterstützen, die angestrebt oder im Auge behalten werden sollten. Sie können als Instrument dienen, um normative Idealbilder der Zukunft zu entwickeln oder um über die Wünschbarkeit zukünftiger Entwicklungen nachzudenken. Schließlich ist die Szenarioanalyse ein Instrument, das in Entscheidungs- und strategische Planungsprozesse integriert werden kann, da es hilft, Wissensgrenzen zu identifizieren und Unsicherheit sowie Komplexität zu verringern. Es schafft prägnante Handlungsalternativen und identifiziert mögliche Risiken und Chancen.

Die qualitative Szenarioanalyse ist oft transdisziplinär und bezieht relevante Interessengruppen in den Prozess ein. Dies bereichert die Analyse und erhöht die Robustheit der erstellten möglichen Szenarien.

Eine Grenze der qualitativen Szenarioanalyse besteht darin, dass sie in der Regel keine Vorhersagen oder Prognosen erstellt, da sie auf die Erstellung und Beschreibung alternativer Zukunftsszenarien in einem vorstellbaren Raum von der Gegenwart bis zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft abzielt. Unabhängig vom gewählten Ansatz beinhaltet die Szenarioanalyse immer bis zu einem gewissen Grad subjektive Entscheidungen.

Identifizieren Sie ein Forschungsthema und reflektieren Sie über den Zweck und die Grenzen der qualitativen Szenarioanalyse.

<u>Schritt 1: Forschungsthema identifizieren</u>

Überlegen Sie sich ein konkretes Forschungsthema für die qualitative Szenarioanalyse (z. B. Klimawandel, Digitalisierung, Gesundheitswesen).

<u>Schritt 2: Zweck definieren</u>

Notieren Sie drei Ziele, die Sie mit der Szenarioanalyse erreichen möchten (z. B. Wissenslücken identifizieren, Interventionsmöglichkeiten ausloten).

Schritt 3: Überlegen Sie sich die Grenzen

Überlegen Sie sich, welche subjektiven Entscheidungen Sie treffen müssen und wie Sie diese transparent gestalten können. Erörtern Sie kurz, wie die Einbeziehung von Interessengruppen die Robustheit Ihrer Szenarien erhöhen kann.

Schritt 4: Praktische Umsetzung

Entwickeln Sie ein Beispiel dafür, wie Sie die Ergebnisse nutzen können, um negative Auswirkungen zu vermeiden. Erstellen Sie eine kurze Liste mit Interventionsmöglichkeiten.

Szenario-Trichter

Szenarien sind Konstruktionen und basieren auf hypothetischen Annahmen. Eine gängige Darstellung der Szenarioanalyse ist der Szenario-Trichter.

Dieser Ansatz geht davon aus, dass eine systematische Betrachtung der Zukunft einen Raum möglicher zukünftiger Entwicklungen schafft. Mit zunehmendem Zeithorizont steigt die Anzahl der potenziellen Ergebnisse, wodurch sich dieser Raum kegelförmig oder trichterförmig ausdehnt. Betrachtet man die Entwicklungsmöglichkeiten von einem bestimmten Punkt aus und berücksichtigt dabei die verschiedenen Faktoren oder Aspekte, die das Forschungsthema prägen, so zeigt sich, dass diese Möglichkeiten mit zunehmendem Zeithorizont immer vielfältiger werden. Für jeden Einflussfaktor entstehen individuelle, faktorbezogene Trichter (Abbildung 4, linke Abbildung). Diese faktorbezogenen Trichter bilden den gemeinsamen Raum möglicher Zukünfte für das Forschungsthema. Dies wird durch den Szenario-Trichter dargestellt, dessen Grenzen die Grenzen der Möglichkeiten abgrenzen (Abbildung 4, rechte Abbildung).

Die Szenario-Methodik betrachtet den Szenario-Trichter zu einem bestimmten Zeitpunkt. Verschiedene Merkmale oder Verläufe der Faktoren bis zu diesem Zeitpunkt werden ausgewählt, kombiniert und zu Szenarien verdichtet. Die Auswahl der Faktoren und ihrer Merkmale hängt vom Wissensinteresse des Forschungsprojekts ab.

Der Szenario-Trichter, der die Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen zeigt, wird entlang der Extremszenarien gespannt, die die Grenzen der möglichen zukünftigen

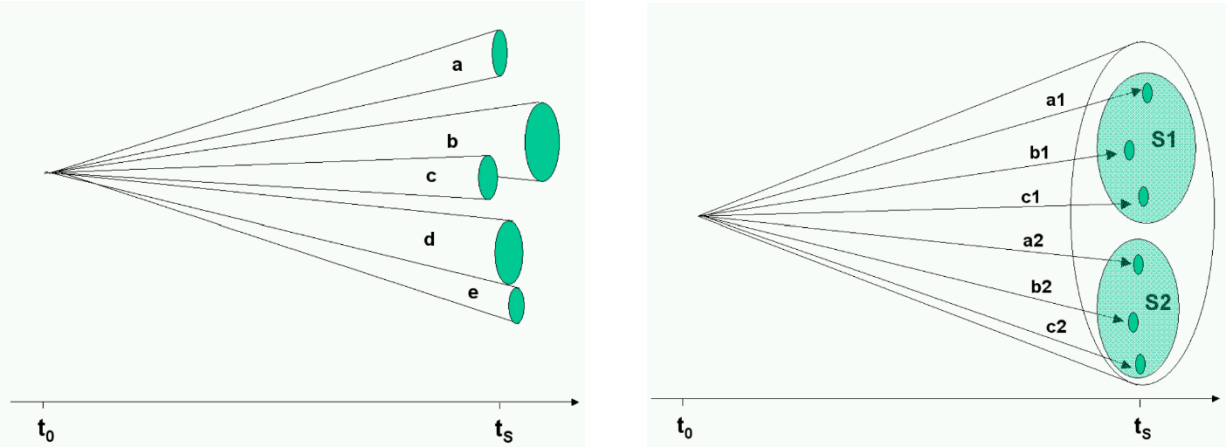


Abbildung 4: Faktorbezogene Trichter und Szenario-Trichter (Kosow & Gaßner, 2008, S. 15ff)

Entwicklungen in positiver (wünschenswert) und negativer (nicht wünschenswert) Weise darstellen.

Im Allgemeinen gibt es fast unendlich viele Zukunftsbilder, die im Rahmen der Szenarioanalyse erstellt werden können. In der Regel wird die Anzahl der Szenarien eher geringgehalten, um die Analyse überschaubar zu halten. In der Literatur variiert die Anzahl der zu erstellenden Szenarien, aber es wird allgemein empfohlen, sie zwischen vier und maximal zehn zu halten, es sei denn, das Forschungsthema selbst erfordert ausdrücklich mehr (z. B. wenn es sehr komplex und sehr unsicher ist oder wenn das Ziel darin besteht, eine breite Palette unterschiedlicher Szenarien für einen bestimmten Zweck zu erstellen). Die Anzahl sollte nicht weniger als vier betragen, da bei nur drei Szenarien die Gefahr besteht, dass man sich am mittleren Szenario orientiert. Zwei Szenarien erscheinen als zwei Extreme, eines positiv und eines negativ, was nur wenig Raum für Kreativität und eine offene Diskussion über das Forschungsthema lässt. Die Erstellung nur eines Szenarios lässt dieses als das wahrscheinlichste Szenario erscheinen (Pillkahn, 2008, S. 200).

Weitere Einführungen in das Konzept der Zukunft und Szenarien finden Sie hier:

“How to navigate our uncertain future” by April Rinne at TEDxFrankfurt (06.01.2020): https://www.youtube.com/watch?v=mlzyH8kodCs

“Coping With Uncertainty” by MindToolsVideos (28.10.2019): https://www.youtube.com/watch?v=S3CU2kOBt3s

“Futurist Peter Schwartz on planning for the unthinkable” by INSEAD (27.04.2012): https://www.youtube.com/watch?v=hzEVNeIH_Z4

Phasen der Szenarioanalyse

Im Allgemeinen lässt sich der Szenario-Prozess in fünf Phasen unterteilen, die je nach gewähltem Ansatz mit unterschiedlichen Techniken gestaltet werden (Abbildung 5; Gausemeier et al., 1998, S. 115; Kosow & Gaßner, 2008, S. 24).

In der ersten Phase wird das Szenariofeld definiert, indem der Untersuchungsgegenstand identifiziert und die Grenzen der Analyse festgelegt werden. In diesem Schritt wird umrissen, was die erstellten Szenarien erklären sollen, und es werden der Forschungsgegenstand und die Themenabgrenzung für die Entwicklung der Szenarien sowie die Grenzen für die Szenarioanalyse definiert. Darüber hinaus wird der Umfang der Analyse festgelegt, wodurch das Projekt konkretisiert wird. Es wird bestimmt, welche Perspektive für die Untersuchung eingenommen werden soll: In einem geschlossenen Gestaltungsfeld wie einer Organisation sind vor allem interne Faktoren relevant. Eine Umweltperspektive konzentriert sich vor allem auf externe Faktoren wie Umwelteinflüsse, während sogenannte System-Szenarien die Wechselbeziehungen zwischen beiden Arten untersuchen.

Es ist wichtig, ein konkretes und eindeutiges Thema mit einer klaren Definition zu wählen. Das unterstreicht die Notwendigkeit einer präzisen Beschreibung dessen, was die Szenarien erklären sollen.

BEISPIEL Beispielhafte Themen im Zusammenhang mit diesem Arbeitsbuch könnten sein:

- Die Zukunft des Kunststoff-Recyclings – Ein nachhaltiges, zirkuläres System für Hochleistungskunststoffe,
- Die Zukunft von Kunststoff-Abfallmanagement in städtischen Regionen,
- Zirkuläre Businessmodelle für die Fashionindustrie,
- Die Reduktion von Essensabfällen in Privathaushalten.

In der zweiten Phase werden Schlüsselfaktoren identifiziert, die das Szenariofeld beschreiben und Einfluss darauf haben oder auf die das Feld einen externen Einfluss

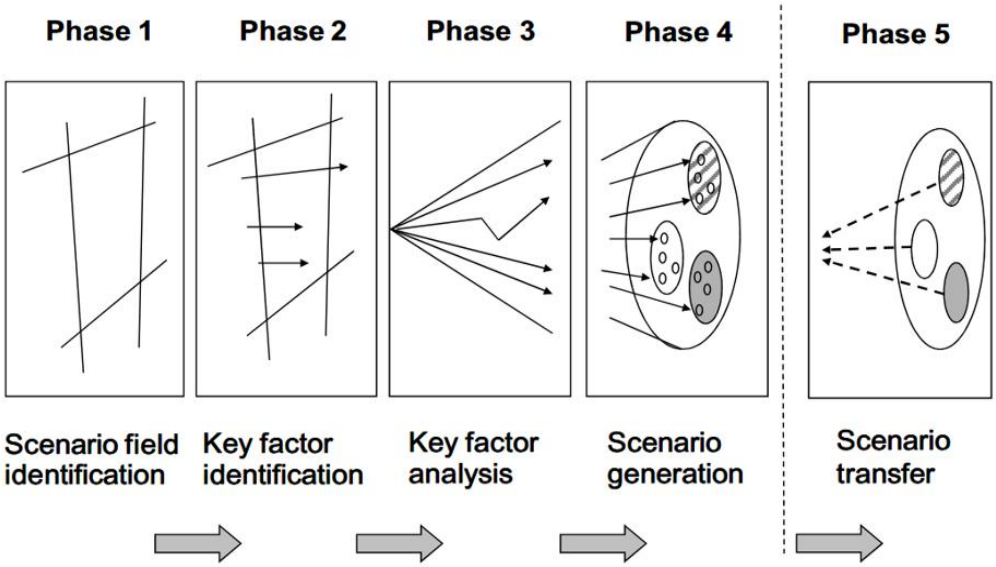


Abbildung 5: Fünf Phasen der Szenarioanalyse (Kosow & Gaßner, 2008, S. 25)

ausübt. Sie stellen die zentrale Überlegung während des Prozesses dar und können Trends, Variablen, Parameter, Entwicklungen oder sogar Ereignisse sein. Sie können mit Hilfe von eingehender Sekundärforschung oder auch partizipativ, beispielsweise durch Interviews mit Expert:innen, identifiziert werden, die auch zur externen Validierung der Ergebnisse der Sekundärforschung herangezogen werden können. Je nach Gegenstand der Szenarioanalyse kommen auch zahlreiche andere Techniken in Frage.

Ein weiteres nützliches Instrument ist die PESTEL-Analyse. Dabei handelt es sich um eine Umweltanalyse, die Einflussfaktoren anhand von sechs Kategorien identifiziert, die der Analyse ihren Namen geben: politische, wirtschaftliche, soziokulturelle, technologische, umweltgeografische und rechtliche Faktoren (Europäische Kommission, o. J.; Karadzhov & Patarchanova. 2025; Kaufmann, 2021, S. 19).

Sie kann die Erfassung und Systematisierung von Faktoren im Verlauf dieser Phase unterstützen (Wegener et al., 2025, S. 27ff).

Es ist von entscheidender Bedeutung, alle möglichen Einflussfaktoren des Themas auf eine überschaubare Anzahl der wichtigsten Einflussfaktoren zu reduzieren, die als Schlüsselfaktoren bezeichnet werden. Eine mögliche Methode, um dies zu erreichen, ist die Verwendung einer Wilson-Matrix, die im folgenden Kapitel vorgestellt wird. Die Schlüsselfaktoren sind diejenigen Faktoren, die für die zukünftige Entwicklung des Forschungsthemas am wichtigsten sind und hinsichtlich der Möglichkeiten der zukünftigen Entwicklung am unvorhersehbarsten sind (Pillkahn, 2008, S. 202).

BEISPIEL

Im Zusammenhang mit der Zukunft des Kunststoffrecyclings in der EU können beispielsweise folgende Faktoren eine wichtige Rolle spielen: globale Verantwortung und Koordination (politischer Faktor), Entwicklung digitaler Dienste und Datenverfügbarkeit (wirtschaftlicher Faktor), Bewusstsein für Kreislaufwirtschaft (soziokultureller Faktor), Design für Kreislaufwirtschaft (technologischer Faktor), Bedeutung der ökologischen Transformation für Unternehmen (umweltgeografischer Faktor) und finanzielle Anreizsysteme für die Sammlung (rechtlicher Faktor).

Eine eingehende Szenarioanalyse zum Thema „Die Zukunft des Kunststoffrecyclings – Ein nachhaltiges Kreislaufsystem für Hochleistungskunststoffe“ mit allen für die Durchführung der Analyse erforderlichen Schritten findet sich in: Wegener et al., 2025.

In der dritten Phase werden die Schlüsselfaktoren weiter analysiert und ihre möglichen zukünftigen Eigenschaften erfasst. Der Schwerpunkt liegt hier auf der Ermittlung und Beschreibung der Eigenschaften. Dieser Schritt wird in der Literatur auf unterschiedliche Weise durchgeführt und umfasst immer intuitive und kreative Aspekte, um sich verschiedene zukünftige Entwicklungen vorzustellen: Desk Research und Interviews werden häufig eingesetzt, aber auch kreativ-intuitive Ansätze wie Brainstorming-Techniken sind möglich. Zur Validierung der Ergebnisse können Interviews mit Expert:innen durchgeführt werden. Das Ziel dieser Phase ist es, mögliche Entwicklungen jedes Schlüsselfaktors zu identifizieren, die als Ausprägungen,

Prognosen oder Variationen bezeichnet werden.

BEISPIEL Im Zusammenhang mit der Zukunft des Kunststoffrecyclings könnte die Bedeutung der ökologischen Transformation für Unternehmen in Zukunft als wenig prioritär angesehen werden, was zu einem „Dienst nach Vorschrift"-Ansatz führen würde, der als erste Ausprägung angesehen werden kann. Alternativ könnte diesem Schlüsselfaktor eine hohe Priorität eingeräumt werden, was Unternehmen dazu veranlassen würde, die Rolle von Vorreitern und Change Agents zu übernehmen – die zweite Ausprägung.

In Phase vier werden nun Szenarien entwickelt und während der Szenarioerstellung verdichtet. Hier werden neben den identifizierten Schlüsselfaktoren auch deren Ausprägungen systematisch dargestellt. Dabei werden konsistente Faktorenbündel erstellt, für die jeweils eine Ausprägung jedes Schlüsselfaktors systematisch zu konsistenten und möglichen Szenarien kombiniert wird. Ziel ist es, verschiedene Szenarien zu erstellen, die in sich konsistent, aber zwischen den verschiedenen Szenarien unterschiedlich sind und den Trichter der Szenarioanalyse veranschaulichen. Diese Phase schließt die Szenarioanalyse im engeren Sinne ab und kann mithilfe eines morphologischen Kastens durchgeführt werden, der die Analyse veranschaulicht und einen übersichtlichen Überblick über die Schlüsselfaktoren und ihre Ausprägungen gibt.

„Die allgemeine morphologische Analyse (GMA) ist eine Methode zur systematischen Strukturierung und Analyse der Gesamtheit der Beziehungen, die in mehrdimensionalen, nicht quantifizierbaren Problemkomplexen enthalten sind."

Parameter werden identifiziert und definiert, und es wird eine Reihe relevanter Werte oder Zustände zugewiesen, wodurch ein morphologischer Kasten entsteht, da die Parameter in Tabellenform gegeneinander abgeglichen werden.

Im Zusammenhang mit der Szenarioanalyse kann dies die Schlüsselfaktoren und ihre Ausprägungen veranschaulichen und dabei helfen, alle plausiblen, konsistenten und wichtigen Konfigurationen zu untersuchen (Ritchey, 2009, S. 1; Ritchey, 2001, S. 83).

Parameter A	Parameter B	Parameter C	Parameter D
Condition A1	Condition B1	Condition C1	Condition D1
Condition A2	Condition B2	Condition C2	Condition D2
Condition A3	Condition B3	Condition C3	
Condition A4		Condition C4	
		Condition C5	

Abbildung 6: Morphologischer Kasten (Ritchey, 2009, S. 3)

Die fünfte Phase ist optional und stellt den Szenariotransfer dar. Sie ist daher nicht direkt Teil der Szenarioerstellung, sondern die weitere Verwendung oder Verarbeitung der generierten Szenarien. Sie kann dazu beitragen, verschiedene Funktionen zu erfüllen, die die Szenarioanalyse erreichen sollte, und kann als Kommunikationsinstrument verwendet werden, um die verschiedenen Szenarien weiter zu übertragen, zu erklären und zu verbreiten. Mögliche Gestaltungsformen der Übertragung können Illustrationen, Erzählungen oder Videos sein. Der qualitative Szenariotransfer wird auf kreative Weise durchgeführt.

Anschauliche Darstellungen möglicher Szenariotransfers finden Sie hier: Friedrich-Ebert-Stiftung, Global Future und Internationale Organisation für Migration. Die Welt der Migration von morgen. Genf, Schweiz: FES, Global Future, IOM, 2017.

Wenden Sie die Phasen der qualitativen Szenarioanalyse auf ein überschaubares Thema an.

Schritt 1: Bestimmen Sie das Szenariofeld

Thema: Wählen Sie ein kleines, überschaubares Thema. Legen Sie den Umfang fest: Bestimmen Sie die Perspektive (interne, externe oder Systemfaktoren) und den Zeitrahmen für Ihre Analyse.

Schritt 2: Identifizieren Sie Schlüsselfaktoren

Identifizieren Sie die kritischen Faktoren Ihres Themas mithilfe von Sekundärforschung, Interviews mit Expert:innen und PESTEL-Analyse.

Schritt 3: Analyse der Schlüsselfaktoren

Beschreiben Sie auf der Grundlage Ihrer Recherchen und Interviews mögliche zukünftige Merkmale der Schlüsselfaktoren. Sie können auch Brainstorming-Techniken einsetzen, um sich verschiedene zukünftige Entwicklungen vorzustellen, und einen gemeinsamen Expert:innen-Workshop durchführen, um Ihre Ergebnisse zu validieren und zu verfeinern.

Schritt 4: Szenarien erstellen

Kombinieren Sie mithilfe eines Morphologischen Kastens systematisch die Schlüsselfaktoren und ihre Ausprägungen und wählen Sie eine überschaubare Anzahl von Szenarien (z. B. 2–3) aus, die die plausibelsten und relevantesten Zukunftsaussichten darstellen.

Schritt 5: Transfer

Skizzieren Sie auf der Grundlage Ihrer Szenarien mögliche Maßnahmen oder Empfehlungen für Ihr Thema.

Überlegen Sie, wie die Szenarien zur Entscheidungsfindung oder Strategieentwicklung genutzt werden können.

Minimal-, Standard- and Maximum-Ansatz

Laut Pillkahn (2008, S. 200) gibt es verschiedene Ansätze für die Szenarioanalyse: den Minimal-Ansatz, den Standard-Ansatz und den Maximum-Ansatz. Sie stehen für zunehmende methodische Tiefe und strukturelle Sorgfalt in der strategischen Szenarioplanung. Jeder Ansatz eignet sich für unterschiedliche Komplexitätsgrade, verfügbare Ressourcen und gewünschte Analysetiefen, von wenig komplexen, ressourceneffizienten Methoden bis hin zu hochentwickelten, forschungsorientierten Verfahren.

Der **Minimal-Ansatz** stellt die schlankeste Form der Szenarioanalyse dar und konzentriert sich ausschließlich auf die wesentlichen Schritte, die zur Gewinnung erster

Erkenntnisse erforderlich sind. Er wird in der Regel in Situationen angewendet, in denen Zeit und Ressourcen begrenzt sind oder wenn das Ziel darin besteht, sich in einem volatilen oder unsicheren strategischen Umfeld schnell zu orientieren. Bei diesem Ansatz werden nur die wichtigsten Einflussfaktoren identifiziert und zur Formulierung einer kleinen Gruppe verwendet, die oft nur aus zwei Unsicherheitsfaktoren besteht. Zu den eingesetzten Techniken gehören schnelle Sekundärrecherchen, kurze und fokussierte Expert:innen-Workshops, einfache qualitative Prognosen und eine Vier-Quadranten-Matrix. Diese Methode opfert zwar Granularität zugunsten von Geschwindigkeit und Effizienz, kann aber als Einstieg in eine aufwändigere Szenarioarbeit sehr wertvoll sein.

Der **Standard-Ansatz** beginnt in der Regel mit der systematischen Identifizierung und Analyse von Schlüsselfaktoren und Unsicherheiten, die in der Regel zwischen drei und acht Unsicherheiten umfassen. Der Entwicklungsprozess der Szenarien führt oft zu mehreren plausiblen Zukunftskonfigurationen, die noch überschaubar sind und nicht nur extreme Ergebnisse, sondern auch Zwischenmöglichkeiten umfassen. Häufig werden Methoden wie die matrixbasierte Szenarioentwicklung nach Wilson, morphologische Analysen, interdisziplinäre Gremien von Expert:innen und strukturierte Workshops eingesetzt. Der Standard-Ansatz eignet sich besonders für Anwendungen in der strategischen Unternehmensplanung, der Gestaltung öffentlicher Politik und anderen Entscheidungskontexten, in denen moderate Komplexität und Unsicherheit ohne einen vollständig ressourcenintensiven Forschungsansatz behandelt werden müssen.

Ein weit verbreitetes Instrument für den Standardansatz ist die Wilson-Matrix (Pillkahn, 2008, S. 202).

Jeder Einflussfaktor wird nach seinem Unsicherheitsgrad hinsichtlich der weiteren Entwicklung und den möglichen Auswirkungen/des Einflusses des Faktors auf die potenzielle Entwicklung des Themas bewertet.

Besonders wichtig sind die Faktoren mit einem hohen Unsicherheitsgrad und einem hohen Ausmaß an Auswirkung/Einfluss. Sie gelten als „kritische Faktoren" und werden zu den Schlüsselfaktoren der Analyse.

Faktoren mit hohem Einfluss, aber geringer Unsicherheit gelten als sichere Faktoren und sind für jedes zu erstellende Szenario gleich. Irrelevante Faktoren haben einen geringen Einfluss und können zwischen einem geringen und einem hohen Grad an Unsicherheit variieren. Sie sind ebenfalls für jedes Szenario gleich.

Die Wilson-Matrix kann in partizipativen Umgebungen zur Identifizierung der wichtigsten, sicheren und irrelevanten Faktoren sowie als allgemeines Visualisierungsinstrument verwendet werden.

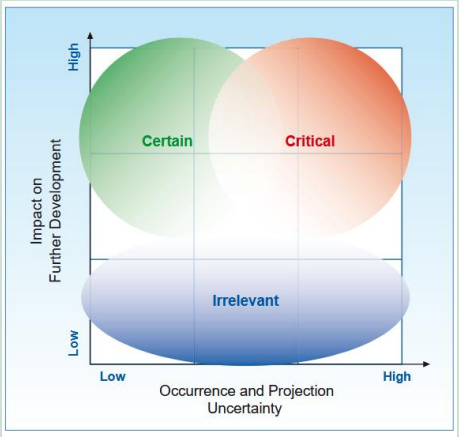


Abbildung 7: Wilson-Matrix (Pillkahn, 2008, S. 202)

Der **Maximum-Ansatz** stellt die methodisch strengste und ressourcenintensivste Form der Szenarioanalyse dar. Er wird in der Regel für Kontexte verwendet, die eine hohe Präzision, eine umfassende Abdeckung von Unsicherheiten von in der Regel mehr als acht Unsicherheitsfaktoren und die Fähigkeit zur Modellierung komplexer Zusammenhänge erfordern, wie z. B. groß angelegte politische Rahmenbedingungen, risikoreiche Unternehmensstrategien oder forschungsorientierte Vorausschauprojekte. Der Analyseprozess umfasst hier eine Vielzahl von Phasen: Identifizierung relevanter Faktoren, Durchführung einer dynamischen Systemmodellierung, Analyse von Wechselwirkungen und iterative Verfeinerung der Szenarien durch mehrere Workshops mit Expert:innen. Quantitative Methoden wie Cross-Impact-Analyse, Konsistenzanalyse, Wilson-Matrix und morphologische Analyse werden häufig mit qualitativem Fachwissen kombiniert. Das Ergebnis ist eine Reihe robuster Szenarien, die nicht nur extreme Szenario-Möglichkeiten erfassen, sondern auch nuancierte, mehrdimensionale Entwicklungen widerspiegeln. Dieser Ansatz erleichtert die frühzeitige Erkennung schwacher Signale, die Untersuchung systemischer Risiken und die Identifizierung resilienter Strategien unter Bedingungen tiefgreifender Unsicherheit.

Diese drei Ansätze bieten ein vielseitiges methodisches Spektrum, das es Analyst:innen ermöglicht, den Umfang, die Tiefe und die Komplexität ihrer Szenarioanalyse an strategische Bedürfnisse, die Verfügbarkeit von Ressourcen und den Entscheidungskontext anzupassen. Während der Minimal-Ansatz Geschwindigkeit und Machbarkeit in den Vordergrund stellt, schafft der Standard-Ansatz ein Gleichgewicht zwischen Praktikabilität und analytischer Tiefe, und der Maximal-Ansatz bietet ein Höchstmaß an methodischer Robustheit auf Kosten erheblicher Ressourceninvestitionen.

Denken Sie über eine aktuelle strategische Entscheidung oder Planungsherausforderung in Ihrem Unternehmen, Ihrer Forschung oder Ihrem Alltag nach. Identifizieren Sie, welcher Szenario-Ansatz am besten geeignet wäre, und begründen Sie Ihre Wahl anhand des Kontexts, der verfügbaren Ressourcen und der Komplexität der damit verbundenen Unsicherheiten.

Welche Faktoren haben Sie dazu veranlasst, diesen Ansatz zu wählen, und wie könnte der Prozess der Szenarioanalyse die Entscheidungsqualität in Ihrem speziellen Fall verbessern?

Referenzen

Amadei, A., Venturelli, S., Manfredi, S., 2025. Plastics materials flows in the EU-27 and their environmental impacts: Unveiling the European plastic value chain. Publications Office, Luxembourg.

Bachmann, M., Zibunas, C., Hartmann, J., Tulus, V., Suh, S., Guillén-Gosálbez, G., Bardow, A., 2023. Towards circular plastics within planetary boundaries. Nat Sustain 6, 599–610. https://doi.org/10.1038/s41893-022-01054-9.

Bank, M.S., Hansson, S.V., 2022. The Microplastic Cycle: An Introduction to a Complex Issue, in: Bank, M.S. (Ed.), Microplastic in the Environment: Pattern and Process. Springer International Publishing, Cham, S. 1–16.

Bishop, P., Hines, A., Collins, T., 2007. The current state of scenario development: an overview of techniques. Foresight, Vol. 9 No. 1, 5-25. https://doi.org/10.1108/14636680710727516.

Bradfield, R., Wright, G., Burt, G., Cairns, G., van der Heijden, K., 2005. The irigins and evolution of scenario techniques in long range business planning. In Futures 37, 795-812. doi:10.1016/j.futures.2005.01.003

Braungart, M., McDonough, W., Bollinger, A., 2007. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. Journal of Cleaner Production 15, 1337–1348. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003.

Dokl, M., Copot, A., Krajnc, D., Fan, Y. V., Vujanovic, A., Aviso, K. B., Tan, R. R., Kravanja, Z., Cucek, L., 2024. Global projections of plastic use, end-of-life fate and potential changes in consumption, reduction, recycling and replacement with bioplastics to 2050. Sustainable Production and Consumption Vl. 51, 498-518. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.09.025.

Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum, McKinsey & Company, 2016. The New Plastics Economy - Rethinking the future of plastics: Industry Agenda. https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf.

European Commission. N.d. https://wikis.ec.europa.eu/pages/viewpage.action?pageId=50109048.

Fink, A., Schlake, O., Siebe, A., 2001. Erfolg durch Szenario-Management. Prinzip und Werkzeuge der strategischen Vorausschau, Frankfurt am Main.

Friedrich-Ebert-Stiftung, Global Future and International Organization for Migration. Tomorrow's World of Migration. Geneva, Switzerland: FES, Global Future, IOM, 2017.

Gausemeier, J., Fink, A., Schlake, O., 1998. Scenario Management: An Approach to Develop Future Potentials. https://doi.org/10.1016/S0040-1625(97)00166-2.

Global Footprint Network, 2025. Earth Overshoot Day. https://overshoot.footprintnetwork.org/ (accessed 18 August 2025).

Greeuw, S. C.H., van Asselt, M. B.A., Grosskurth, J., Storms, C. A.M.H., Rijkens-Klomp, N., Rothman, D. S., Rotmans, J., 2000. Cloudy crystal balls. An assessment of recent European and

global scenario studies and models. Copenhagen, Denmark: EEA, Environmental issues series 17.

Haigh, N., 2019. Scenario planning for climate change - A guide for strategists. https://doi.org/10.4324/9781351016353

Hoffart, F. M., Schmitt E.-J., Roos, M., 2021. Rethinking Economic Energy Policy Research – Developing Qualitative Scenarios to Identify Feasible Energy Policies, J. sustain. dev. energy water environ. syst., 9(2), 1080331, https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d8.0331

Joint Research Centre, 2025. Can the plastics sector become more sustainable? https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/can-plastics-sector-become-more-sustainable-2025-08-11_en (abgerufen am 13. August 2025).

Karadzhov, V., Patarchanova, E., 2025. How to Create the Best PESTEL Analysis. International Journal of Digital Research Vol. 1(3), 3033-179X. https://doi.org/10.63711/ijdr.net20250301.

Kaufmann, T., 2021. Strategiewerkzeuge aus der Praxis. Analyse und Beurteilung der strategischen Ausgangslage, Berlin.

Kirchherr, J., Yang, N.-H.N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M.J., Hartley, K., 2023. Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. Resources, Conservation and Recycling 194, 107001. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001.

Kosow, H., Gaßner, R., 2008. Methods of Future Scenario Analysis. Overview, Assessment, and Selection Criteria. https://www.idos-research.de/uploads/media/Studies_39.2008.pdf.

McDonough, W., Braungart, M., 2002. Cradle to cradle: Remaking the way we make things, 1st ed. North Point Press, New York, NY, 193 pp.

Müller, F.J., 2022. Cradle to Cradle – Funktionsprinzip nach Braungart und McDonough. CC BY-SA 4.0: https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cradle_to_Cradle.png (abgerufen am 04. September 2025).

Pillkahn, U., 2008. Using Trends and Scenarios as Tools for Strategy Development, Erlangen.

Plastics Europe, 2024. The Plastics Transition: Our industry's roadmap for plastics in Europe to be circular and have net-zero emissions by 2050. https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2023/10/PlasticsEurope_Summary_24.10.pdf (abgerufen am 13. August 2025).

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., Hanemaaijer, A., 2017. Circular economy: Measuring innovation in the product chain: English translation of the report 'Circulaire economie: Innovatie meten in de keten', The Hague. https://research-portal.uu.nl/files/40538049/Circular.pdf (abgerufen am 19. August 2025).

Prosperkolleg, o.D. Produkte und Materialien mit der Hilfe der R-Strategien im Kreislauf führen. https://www.prosperkolleg.de/r-strategien/ (abgerufen am 02. September 2025).

Rasmussen, S.C., 2018. Revisiting the Early History of Synthetic Polymers: Critiques and New Insights. Ambix 65, 356–372. https://doi.org/10.1080/00026980.2018.1512775.

Ritchey, T., 2011. Modeling Alternative Futures with General Morphological Analysis. World Futures Review. DOI: 10.1177/194675671100300105

Ritchey, T., 2009. Future Studies using General Morthological Analysis. https://www.swemorph.com/pdf/futures.pdf (abgerufen am 28. August 2025).

Roos, M., Kamlage, J.-H., Schmitt, E.-J., 2022. Klimaresiliente Kommunalpolitik, Bochum.

Rotmans, J., van Asselt, M., Anastasi, C., Greeuw, S., Mellors, J., Peters, S., Rothman, D., Rijkens, N., 2000. Visions for a sustainable Europe, in: Futures Nr. 32/2000, S. 809–831. https://doi.org/10.1016/S0016-3287(00)00033-1

Sheldon, R.A., Norton, M., 2020. Green chemistry and the plastic pollution challenge: towards a circular economy. Green Chem. 22, 6310–6322. https://doi.org/10.1039/d0gc02630a.

Stegmann, P., Daioglou, V., Londo, M., van Vuuren, D.P., Junginger, M., 2022. Plastic futures and their CO_2 emissions. Nature 612, 272–276. https://doi.org/10.1038/s41586-022-05422-5.

United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2025. The Sustainable Development Goals Report 2025, New York. https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2025.pdf (abgerufen am 18. August 2025).

Van Notten, P. W.F., Rotmans, J., van Asselt, M., Rothman, D. S., 2003. An updated scenario typology, in: Futures 35/2003, S. 423-443. https://doi.org/10.1016/S0016-3287(02)00090-3

WasteOnline, 2022. The hierarchy of waste. https://wasteonline.uk/blog/the-hierarchy-of-waste/ (abgerufen am 20. August 2025).

Wegener, J., Piorunek, D., Uhlig, J., Stehr, C., Jagoda, A., Kiba-Janiak, M., Kołakowski, T., Marcinkowski, J., Zięcina, A., Białas, P., Boermans, D., Leminski, D., 2025. Report on “Dialog-based format for implementation with partners in industry, science, administration” D1.5. https://circularfoam.eu/Outcomes/Deliverables/_/CIRCULAR%20FOAM_Deliverable%201.5.pdf (abgerufen am 27. August 2025).

World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.

World Economic Forum, PIK, CDP, 2025. State of Nature and Climate 2025 - Centre for Nature and Climate: Briefing Paper. https://reports.weforum.org/docs/WEF_State_of_Nature_and_Climate_2025.pdf (abgerufen am 18. August 2025).

Wulf, T., Meißner, P., Stubner, S., 2010. A Scenario-based Approach to Strategic Planning – Integrating Planning and process Perspective of Strategy, Working Paper No. 6, Leipzig.