



**CRADLE TO CRADLE  
NGO**

# ***ENERGIE*** & Cradle to Cradle

Zirkuläre Energiesysteme mit positivem  
Beitrag für Strom, Wärme und Verkehr



Branchenperspektiven, Ergebnisse und Handlungsempfehlungen  
aus dem gemeinsamen Projekt von Cradle to Cradle NGO und der



**“There is no  
*energy* crisis.  
There is only a crisis  
of ignorance.”<sup>1</sup>**

Buckminster-Fuller

---

<sup>1</sup> Fuller, R. Buckminster. "There Is No Energy Crisis, Only a Crisis of Ignorance." New York Times, op-ed, 1974. Quoted in: "Eight Billion Sustainable Billionaires," Schumacher Center for a New Economics, 8 Dec 2025.  
Die von der Erde absorbierte Sonnenenergie in einem Jahr ist ungefähr sechstausendmal größer als der heutige jährliche globale Energiebedarf der Menschheit

# INHALT

1. Einleitung.....	6
2. Cradle to Cradle-Perspektive auf Energie.....	8
3. Roundtable Strom: Eine Branche am Anfang der Kreislaufwende.....	10
3.1 Einordnung und Zielsetzung.....	10
3.2 Ergebnisse der Arbeitsgruppen beim Roundtable Strom.....	10
3.2.1 Materialität der Energieinfrastruktur.....	10
3.2.2 Geschäftsmodelle und Kooperationen.....	13
3.2.3 Regulatorische Rahmenbedingungen.....	14
4. Roundtable Wärme: Der unterschätzte Teil der Energiewende .....	15
4.1 Einordnung und Zielsetzung .....	15
4.2 Ergebnisse der Arbeitsgruppen beim Roundtable Wärme .....	15
4.2.1 Materialität der Energieinfrastruktur .....	15
4.2.2 Geschäftsmodelle und Kooperationen .....	16
4.2.3 Regulatorische Rahmenbedingungen .....	18
5. Roundtable Verkehr: Vom Energieverbraucher zum aktiven Teil des Energiesystems .....	20
5.1 Einordnung und Zielsetzung.....	20
5.2 Ergebnisse der Arbeitsgruppen beim Roundtable Verkehr .....	20
5.2.1 Materialität der Energieinfrastruktur.....	20
5.2.2 Geschäftsmodelle und Kooperationen.....	23
5.2.3 Regulatorische Rahmenbedingungen.....	24
6. Botschaften, Bildung und Allianzen für ein C2C-Energiesystem.....	26
6.1 Wovon wir sprechen: C2C als Kommunikationsaufgabe .....	26
6.2 Narrative und Botschaften: Von Kosten zu Qualität und Systemwert.....	27
6.3 Strukturelle Hebel: Bildung, Allianzen und sichtbare Praxis.....	28
7. Handlungsempfehlungen.....	29
Anhang.....	33
Praxisbeispiele Strom .....	33
Praxisbeispiele Wärme .....	35
Praxisbeispiele Verkehr .....	37

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kreisläufe nach Cradle to Cradle .....	8
Abbildung 2: Drei Ebenen eines C2C-Energiesystems .....	9
Abbildung 3: Treiber für negative und positive Veränderungen in der Natur als Bewertungsmaßstab für Investitionen .....	12
Abbildung 4: Produktverkauf und Wärme-as-a-Service im Vergleich .....	17
Abbildung 5: Kurzfristkosten versus Lebenszykluskosten im Vergleich .....	19
Abbildung 6: Carbon Tunnel Vision – der Tunnelblick auf CO <sub>2</sub> .....	21
Abbildung 7: Digitale Produktpässe als Voraussetzung für C2C-Geschäftsmodelle .....	23
Abbildung 8: Bildung, Allianzen und Kommunikation als strukturelle Hebel .....	28
Abbildung 9: Die standardisierte Zelle als systemischer Hebel für Strom, Wärme und Verkehr .....	31

# Einleitung

# 01

Der Aufbau eines resilienten und kreislauffähigen Energiesystems ist eine zentrale Gestaltungsaufgabe unserer Zeit. Erneuerbare Energien werden ausgebaut und Mobilität wird elektrifiziert. Doch die reine Umstellung der Energiequellen reicht nicht aus. Wenn Materialien nicht im Kreislauf geführt werden, Infrastrukturen Ressourcen verbrauchen statt als Wertstofflager zu dienen und Systeme lediglich im Betrieb Emissionen reduzieren, dann bleibt die Entwicklung hin zu einem zukunftsfähigen Energiesektor unvollständig.

**Die wirtschaftliche Notwendigkeit ist eindeutig.** Der russische Angriff auf die Ukraine 2022 ließ die deutschen Ausgaben für fossile Energieimporte auf 146 Mrd. Euro steigen und machte die Verletzlichkeit importabhängiger Energiesysteme spürbar. Die aktuelle Eskalation im Nahen Osten infolge des Iran-Konflikts zeigt, dass diese Abhängigkeit keine historische Ausnahme war, sondern eine strukturelle Schwäche. Dabei sind die Ausgaben auch in ruhigeren Jahren erheblich: Fossile Energieimporte kosteten Deutschland seit 2008 im Schnitt 81 Mrd. Euro pro Jahr, das sind fast 1.000 Euro pro Kopf.<sup>2</sup> Die gesamten Investitionen in erneuerbare Energien lagen 2023 bei rund 37 Mrd. Euro, also weniger als die Hälfte.<sup>3</sup> Jeder in

Klimaschutz und einen anderen Umgang mit Ressourcen investierte Euro bringt indes einen volkswirtschaftlichen Nutzen von 1,8 bis 4,8 Euro.<sup>4</sup>

Über die Höhe des Nutzens entscheidet auch die Geschwindigkeit: ein schnellerer und tieferer Wandel erzeugt die geringsten Gesamtkosten für das Energiesystem, und damit auch für öffentliche und private Haushalte, während jede weitere Investition in fossile Infrastruktur Kapital und Emissionen für Jahrzehnte bindet.<sup>5 6</sup> In einer aktuellen Studie stellen die Boston Consulting Group und der Bundesverband der Deutschen Industrie dar, dass die **Kosten der Energiewende durch konsequent zirkuläres Handeln bis 2045 um 38 Mrd. Euro gesenkt** werden könnten.<sup>7</sup>

Unser Energiesystem der Zukunft sollte also von **Beginn an auch auf Kreislauffähigkeit ausgerichtet sein. Hier setzt Cradle to Cradle (C2C) an.** C2C versteht Produkte als Teil biologischer und technischer Kreisläufe. Materialien für ein Produkt werden so ausgewählt, dass sie gesund sind, nach der Nutzung in hochwertige Kreisläufe zurückgeführt und immer wieder verwendet werden können. Energie stammt aus erneuerbaren Quellen und bei der Produktion wird die Qualität

von Luft, Boden und Wasser geschützt oder verbessert. Ziel ist ein positiver Beitrag für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft.

Für den Energiesektor bedeutet das: **Anlagen, Netze, Speicher, Gebäude und elektrisch angetriebene Fahrzeuge oder Maschinen sind Teil eines Stoff- und Wertschöpfungssystems. Nur wenn Materialien gesund, Komponenten kreislauffähig und Geschäftsmodelle auf Rücknahme und Wiederverwendung ausgelegt sind, entsteht ein System, das wirksam auf eine Circular Economy mit ökologischem, ökonomischem und sozialem Mehrwert einzahlt.**

Die Auseinandersetzung mit Materialkreisläufen in der Energiewirtschaft hat in Wissenschaft und Praxis in den vergangenen Jahren zugenommen. Die Internationale Energieagentur widmet sich dem Thema in ihrem Bericht „Recycling of Critical Minerals“ (2024) sowie im Global Critical Minerals Outlook 2025 und hält fest, dass ein zirkulärer Ansatz integraler Bestandteil einer belastbaren Versorgungsstrategie für Energiemineralien sein muss.<sup>8</sup> Auch Unternehmen haben begonnen, kreislauffähige Konzepte für Batterien, Solarmodule und Infrastrukturkomponenten zu entwickeln. Einige davon stellt dieser Report vor. **Dennoch bleibt der Abstand zwischen dem, was möglich ist, und dem, was systematisch umgesetzt wird, groß.**

Emissionsminderung, Effizienz und Versorgungssicherheit bleiben wichtig. Doch ohne konsequente Kreislaufführung entstehen neue Ressourcenabhängigkeiten und künftige Entsorgungsprobleme. Ein C2C-Energiesystem setzt daher früher an: Es fragt nach Materialwahl und Produktdesign, nach Rücknahmestrukturen und Geschäftsmodellen, nach regulatorischen Rahmenbedingungen und sektorübergreifender Kooperation. So entsteht ein belastbares Fundament für eine Circular Economy, die über Ressourceneffizienz hinausgeht.

**Das Projekt „Energie & Cradle to Cradle“** von Cradle to Cradle NGO und der E.ON Foundation greift diesen Ansatz auf. **In drei Roundtable zu Strom, Wärme und Verkehr sowie ergänzenden Recherchen wurden Potenziale und systemische Hebel für kreislauffähige C2C-Lösungen identifiziert.** Die Aufteilung in diese drei Bereiche folgt den zentralen Verbrauchssektoren des deutschen Energiesystems. Zugleich stehen diese Bereiche nicht isoliert nebeneinander: Ihre Kopplung ist selbst ein zentraler Hebel, den dieser Report herausarbeitet.

An allen Roundtable nahmen Fachleute aus (Energie-)Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft teil. Nach kurzen Inputs erarbeiteten die Teilnehmenden in kleineren Diskussionsrunden zentrale Handlungsfelder für die zirkuläre Transformation des jeweiligen Bereichs anhand von Leitfragen: Welche Material- und Designkriterien braucht eine kreislauffähige Energieinfrastruktur? Welche Geschäftsmodelle und Kooperationen ermöglichen zirkuläre Lösungen? Welche regulatorischen Rahmenbedingungen fördern oder behindern die Umsetzung? Die Roundtable waren als offenes Diskursformat angelegt: **Die in diesem Report dokumentierten Ergebnisse spiegeln Perspektiven, Beobachtungen und Ideen der Teilnehmenden wider. Sie stellen keinen abgestimmten Konsens dar und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.**

Die folgenden Kapitel stellen die Ergebnisse dar, formulieren aus den Diskussionsinhalten abgeleitete Handlungsempfehlungen für ein Energiesystem, das resilient ist und positive Wirkung entfaltet, und führen am Ende einige Praxisbeispiele aus den unterschiedlichen Bereichen auf.

<sup>2</sup> KfW Research: „Jedes Jahr importiert Deutschland fossile Brennstoffe im Wert von durchschnittlich 81 Milliarden Euro.“ Fokus Volkswirtschaft Kompakt Nr. 251. April 2025. [www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Volkswirtschaft-Kompakt/One-Pager-2025/VK-Nr.-251-April-2025-fossile-Importe.pdf](http://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Volkswirtschaft-Kompakt/One-Pager-2025/VK-Nr.-251-April-2025-fossile-Importe.pdf). Abgerufen am 24. April 2026.

<sup>3</sup> Umweltbundesamt / Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat): „Erneuerbare Energien in Deutschland – Daten zur Entwicklung im Jahr 2023.“ Hintergrundpapier, März 2024. [www.umweltbundesamt.de/publikationen/erneuerbare-energien-in-deutschland-2023](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erneuerbare-energien-in-deutschland-2023). Abgerufen am 24. April 2026.

<sup>4</sup> Kernfert, Claudia: „Zwei Jahrzehnte Klimakostenforschung: Präventiver Klimaschutz als volkswirtschaftlicher Vorteil.“ DIW Wochenbericht 38/39 2025, S. 613–619. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin), September 2025. [www.diw.de/de/diw\\_01.c.974540.de/publikationen/wochenberichte/2025\\_38\\_3/zwei\\_jahrzehnte\\_klimakostenforschung\\_praeventiver\\_klimaschutz\\_als\\_volkswirtschaftlicher\\_vorteil.html](http://www.diw.de/de/diw_01.c.974540.de/publikationen/wochenberichte/2025_38_3/zwei_jahrzehnte_klimakostenforschung_praeventiver_klimaschutz_als_volkswirtschaftlicher_vorteil.html). Abgerufen am 14. April 2026.

<sup>5</sup> International Energy Agency (IEA): „World Energy Outlook 2025.“ IEA, Paris, November 2025, insbesondere Szenariovergleich Net Zero Emissions by 2050 (NZE) und Current Policies Scenario (CPS). [www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025](http://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025). Abgerufen am 16. April 2026.

<sup>6</sup> Löschel, Andreas / Kernfert, Claudia et al.: „Grüne Transformation in Deutschland: Nur mit echter Energiewende ein ökologischer und ökonomischer Erfolg.“ Wirtschaftsdienst, Bd. 104, H. 5, 2024, S. 303–309. [www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2024/heft/5/beitrag/gruene-transformation-in-deutschland-nur-mit-echter-energie-wende-ein-oekologischer-und-oekonomischer-erfolg.html](http://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2024/heft/5/beitrag/gruene-transformation-in-deutschland-nur-mit-echter-energie-wende-ein-oekologischer-und-oekonomischer-erfolg.html). Abgerufen am 14. April 2026.

<sup>7</sup> Boston Consulting Group (BCG) im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI): „Wachstum, Wettbewerbsfähigkeit und Resilienz: Chancen der Circular Economy für die deutsche Industrie.“ 5. Mai 2026. [bdi.eu/de/articles/presse/kreislaufwirtschaft-880-milliarden-euro-wertschoepfungspotenzial-fuer-die-deutsche-industrie](http://bdi.eu/de/articles/presse/kreislaufwirtschaft-880-milliarden-euro-wertschoepfungspotenzial-fuer-die-deutsche-industrie). Abgerufen am 6. Mai 2026.

<sup>8</sup> IEA: „Recycling of Critical Minerals.“ Paris 2024. [www.iea.org/reports/recycling-of-critical-minerals](http://www.iea.org/reports/recycling-of-critical-minerals). Abgerufen am 24. April 2026. Sowie: IEA: „Global Critical Minerals Outlook 2025.“ Paris 2025. [www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025](http://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025). Abgerufen am 24. April 2026.

# Cradle to Cradle- Perspektive auf Energie

# 02

Cradle to Cradle (C2C) beginnt nicht bei der Optimierung bestehender Lösungen, sondern bei der Frage, wie Produkte und Systeme von Grund auf neu gedacht werden können. Produkte und Infrastrukturen werden so entworfen, dass sie von Anfang an gesund (toxikologisch unbedenklich), kreislauffähig und positiv wirksam sind. Materialien werden so eingesetzt, dass sie als biologische oder technische Nährstoffe zirkulieren können (siehe Abb. 1). Energie stammt aus erneuerbaren Quellen. Ziel ist nicht Schadensbegrenzung, sondern ein Mehrwert für Umwelt, Wirtschaft und

Gesellschaft. Übertragen auf Strom, Wärme und Verkehr heißt das: Die Qualität der Energiequellen und der nachgelagerten Systeme und Infrastrukturen ist entscheidend. Klassische Debatten fokussieren häufig auf Verbrauch, Effizienz und CO<sub>2</sub>-Einsparung. Die C2C-Perspektive erweitert diesen Blick.

### DREI EBENEN EINES C2C-ENERGIESYSTEMS

**MATERIALEBENE:** Es geht nicht nur um die Nutzung sauberer, erneuerbarer Energiequellen wie Solar, Wind, Wasser, Geothermie und Biomasse, sondern auch um alle Materialien, die zur Gewinnung, Umwandlung, Speicherung und Verteilung eingesetzt werden. Diese Materialien sollen im Nutzungskontext toxikologisch unbedenklich, der Biosphäre oder der Technosphäre<sup>9</sup> zugeordnet und so gestaltet sein, dass sie am Nutzungsende ohne Qualitätsverlust wiederverwendet werden können. Downcycling wie das Zerkleinern komplexer Verbundstoffe zu minderwertigen Füllstoffen gilt dabei ausdrücklich nicht als ausreichende Lösung.

Besonders im Umgang mit biogenen Rohstoffen gilt das Prinzip der Kaskadennutzung: Materialien wie Holz sollten zunächst stofflich genutzt werden, bevor sie am Ende ihres Nutzungszyklus energetisch verwertet werden. Die unmittelbare Verbrennung hochwertiger Rohstoffe, etwa durch Holzpelletheizungen, senkt die Wertschöpfungstiefe, hat eine schlechte Klimabilanz sowie negative Ökosystemauswirkungen.<sup>10</sup>

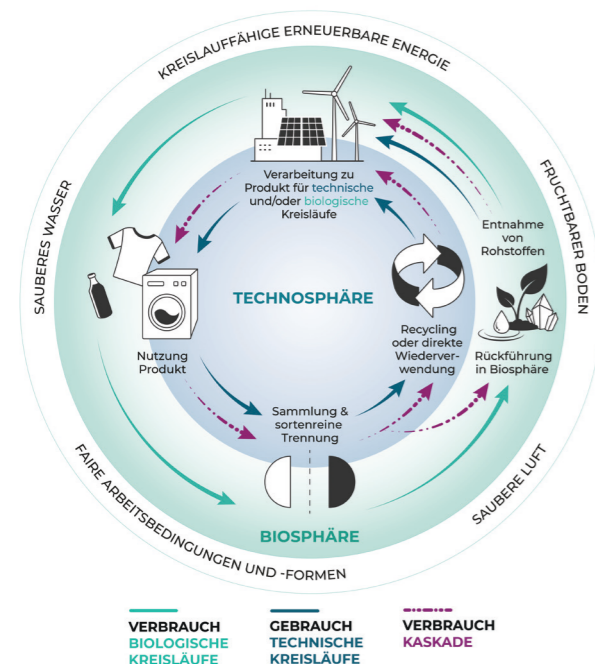


Abb. 1: Kreisläufe nach Cradle to Cradle  
Quelle: Eigene Darstellung. Cradle to Cradle NGO, Berlin 2024.

<sup>9</sup> Als Biosphäre wird die Gesamtheit aller Lebensräume von Organismen auf der Erde bezeichnet. Wir Menschen haben innerhalb der Biosphäre technische Kreisläufe geschaffen: die Technosphäre. Produkte und Materialien, die in die Biosphäre gelangen, müssen biologisch abbaubar sein. Alle Produkte und Materialien, die nicht biologisch abbaubar sind, dürfen ausschließlich in der Technosphäre zirkulieren. Produkte, die aus biologisch abbaubaren und nicht biologisch abbaubaren Materialien bestehen, müssen so designt und hergestellt sein, dass sich die unterschiedlichen Materialien rückstandslos trennen lassen und innerhalb ihrer jeweiligen Sphären zirkulieren können. Produkte der Biosphäre können auch so designt sein, dass sie mehrmals im technischen Kreislauf verwendet werden, bevor sie abgebaut oder wieder der Biosphäre zugeführt werden (Kaskade).

<sup>10</sup> Umweltbundesamt (UBA): „Biomasse: Beste Ökobilanz bei Nutzungskaskade.“ Pressemitteilung Nr. 07/2014. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 17. Februar 2014. [www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/biomasse-beste-oekobilanz-bei-nutzungskaskade](http://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/biomasse-beste-oekobilanz-bei-nutzungskaskade). Abgerufen am 17. April 2026.

**SYSTEMISCHE NUTZUNGSEBENE:** Energie wird nicht isoliert betrachtet, sondern im Kontext ihrer Nutzung. Entscheidend ist dabei die Gesamtbilanz: Erzeugung und Verbrauch sollten räumlich und zeitlich näher zusammengebracht werden, durch dezentrale Strukturen, Quartierslösungen und die intelligente Nutzung von Überschüssen. Kurze Wege können Verluste minimieren, Resilienz stärken und regionale Wertschöpfung fördern. Entsteht an einem Standort jedoch ein sehr hoher Energieüberschuss, kann sich auch ein längerer Transport lohnen, wenn der Energiegewinn höher ist als der Energiebedarf des Transports und die dafür genutzte Infrastruktur ihrerseits kreislauffähig und materialgesund ist.

Zugleich müssen Pfadabhängigkeiten offen benannt werden. Wenn beispielsweise Müllverbrennungsanlagen an Fernwärmenetze gekoppelt sind, entsteht ein ökonomischer Druck, Restmüllströme aufrechtzuerhalten. Solche Strukturen stehen einer konsequenten Kreislaufführung entgegen.

**QUALITATIVE WIRKUNGSEBENE:** Im Zentrum steht die Frage nach dem positiven Beitrag. Energieinfrastrukturen sollen nicht nur Emissionen

Luft-, Wasser- und Bodenqualität beitragen, Biodiversität fördern, langfristigen wirtschaftlichen Nutzen stiften und Lebensqualität steigern. Gebäude können durch die richtige Materialwahl und Begrünung Mikroklimata verbessern. Energielösungen können Menschen befähigen, selbst Teil der Transformation zu werden.

Was C2C für Produkte und Infrastrukturen fordert – zusammenhängend denken, Kreisläufe schließen, Systeme von Anfang an auf positive Wirkung auslegen – gilt ebenso für die politischen Rahmenbedingungen, die den Aufbau eines solchen resilienten Systems erst ermöglichen. Die deutsche Systementwicklungsstrategie (SES)<sup>11</sup>, im Energiewirtschaftsgesetz verankert und beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie angesiedelt, ist dafür das zentrale Instrument: Sie koordiniert die Wechselwirkungen zwischen Verbrauchssektoren, Energiewandlung sowie Infrastrukturen, wird regelmäßig aktualisiert und soll ab 2027 alle vier Jahre dem Bundestag vorgelegt werden.

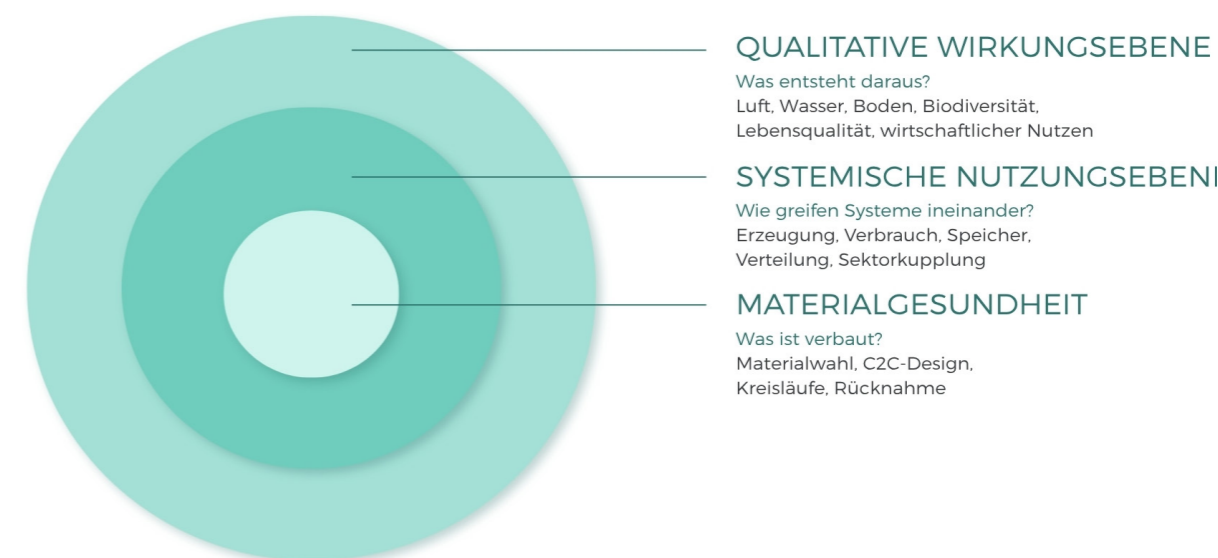


Abb. 2: Drei Ebenen eines C2C-Energiesystems  
Quelle: Eigene Darstellung. Cradle to Cradle NGO, Berlin 2026.

reduzieren, sondern aktiv zur Verbesserung von

<sup>11</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE): „Die Systementwicklungsstrategie: Ein Rahmen für die Transformation zum klimaneutralen Energiesystem.“ Dossier, zuletzt aktualisiert 2025. [www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Dossier/ses.html](http://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Dossier/ses.html). Abgerufen am 29. März 2026.

## Roundtable STROM: Eine Branche am Anfang der Kreislaufwende



# 03

### 3.1 EINORDNUNG UND ZIELSETZUNG

Der Roundtable Strom im November 2025 beleuchtete, wie sich die Umwandlung, Nutzung und Verteilung von Energie als konsequent kreislauffähiges System gestalten lässt, das auf einen ökonomischen, ökologischen und sozialen Mehrwert abzielt.

Zu Beginn wurde betont, dass die Energiewende stark auf Ausbauziele und CO<sub>2</sub>-Reduktion fokussiert ist, während die materiellen Grundlagen der Infrastruktur, wie Photovoltaik (PV)-Module,

Rotorblätter, Batterien und Netze, meist nicht kreislauffähig gedacht sind und Sondermüll sowie Ressourcenverluste zur Folge haben. Dieselbe Lücke wurde für die übergeordneten Planungsinstrumente festgestellt: Die Systementwicklungsstrategie der Bundesregierung, die Strom, Wärme und Verkehr sektorübergreifend koordinieren soll, adressiert Materialkreisläufe und Rohstoffresilienz bislang nicht.

### 3.2 ERGEBNISSE DER ARBEITSGRUPPEN BEIM ROUNDTABLE STROM

#### 3.2.1 Materialität der Energieinfrastruktur

In dieser Breakout-Session wurde diskutiert, welche Anforderungen C2C an Materialien für Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie stellt und ob und wie diese Anforderungen bereits in der Praxis umgesetzt werden. Im Mittelpunkt standen Designkriterien, der Umgang mit problematischen Stoffen, die Rolle von Vielfalt und Nutzungsszenarien sowie die Frage, wie Material- und Systemdesign zusammengedacht werden können.

Zu Beginn wurde klargestellt, dass Energie nie immateriell ist: **Jede Energieumwandlung erfordert Anlagen und Materialien, deren Kreislauffähigkeit mitgedacht werden muss.** Leitgedanken sind Vielfalt statt monolithischer Lösung, das Verständnis aller eingesetzten Stoffe als

Nährstoffe für künftige Nutzung sowie eine strenge Definition des Begriffs "erneuerbar", die nicht nur die Energiequelle, sondern auch die eingesetzten Materialien einschließt. Zentral ist dabei die Unterscheidung zwischen Verbrauch und Gebrauch: **Biosphärenmaterialien** (z. B. Holz, Biomasse, Pyrolysekohle, Schmierstoffe auf Biobasis) werden bewusst verbraucht und sollen Boden- und Nährstoffkreisläufe regenerativ unterstützen; **Technosphärenmaterialien** (z. B. Metalle, Kunststoffe, Keramiken, aber auch mehrfach nutzbare biobasierte Stoffe) werden idealerweise nur gebraucht und anschließend hochwertig zurückgewonnen.

Intensiv diskutiert wurden Elemente wie Blei oder Cadmium in PV-Technologien, bei denen

**pauschale Verbote** als wenig hilfreich benannt wurden, da sie zu dogmatischen Grabenkämpfen führen. **Entscheidend ist das Nutzungsszenario:**

- Gelangt ein Stoff in die Biosphäre<sup>12</sup> (Emissionen in Luft, Wasser, Boden oder Hautkontakt), ist ein für diese Nutzung geeigneter Ersatz zu suchen oder das Design so anzupassen, dass keine Exposition entsteht.
- Bleibt der Stoff in der Technosphäre<sup>12</sup> (z. B. fest in einer Modulschicht, die am Ende sortenrein separiert wird), kann er bei entsprechendem C2C-Design verantwortlich eingesetzt werden. Dabei muss die Rückführung in den technischen Kreislauf über ein passendes Geschäftsmodell garantiert sein.

Als Beispiel wurde die Debatte im PV-Bereich genannt, in der neue Zellkonzepte mit Bleiverbindungen oft reflexhaft abgelehnt werden, ohne Nutzen-Risiko-Abwägung im konkreten Design zu betrachten. Gleichzeitig wurde betont, dass Rückführungswege für viele Technosphärenmaterialien noch unterentwickelt sind und bereits im Design ein Vorgriff nötig ist: Anlagen so bauen, dass eine spätere hochwertige Trennung technisch möglich ist, auch wenn das passende zirkuläre Geschäftsmodell parallel dazu erst aufgebaut wird und die Recyclinginfrastruktur erst nachgelagert entsteht.

Bei **Leitungen und Masten** wurde hervorgehoben, dass diese vergleichsweise überschaubare Materialsysteme darstellen: Hochspannungsmasten aus Stahl und Leitungsseile aus Aluminium oder Kupfer verfügen über etablierte Rückgewinnungswege und lassen sich am Nutzungsende hochwertig zurückführen. Das gilt zumindest dann, wenn die jeweiligen Legierungen klar zuordenbar sind.

Bei **Speichern** wurde der Übergang von schwermetallhaltigen Systemen hin zu Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien sowie perspektivisch Natriumionen- bzw. Salzspeichern als Trend genannt. Lithium-Eisen-Phosphat reduziert Giftigkeitsrisiken, während Natrium-/Salzsysteme die Chance bieten, auf vergleichsweise unkritische, weit verfügbare Stoffe wie Natriumchlorid zurückzugreifen. Gleichzeitig wurde betont, dass Speichermaterialien nur im Kontext ihrer Nutzung und

Rücknahme bewertet werden können. Die Frage der Rücknahme und des Recyclings von Speicher-materialien wird im Kontext von E-Fahrzeugen und europäischen sowie internationalen Batterielieferketten in Kapitel 5.2.1 ausführlicher behandelt.

Ein wiederkehrendes Thema war **Design for Disassembly (Design für Demontage)**: Anlagen sollten so konstruiert sein, dass Komponenten und ihre Materialien sortenrein getrennt werden können, statt in untrennbaren Verbunden zu enden. Genannt wurden hier u. a. PV-Module mit klar trennbaren Schichten sowie Windenergieanlagen und andere Großkomponenten, bei denen noch zu oft auf Verbundmaterialien gesetzt wird, die nur downgecycelt werden können.

Parallel wurde auf **passive und niedrigtemperaturbasierte Speichermöglichkeiten** hingewiesen, die oft übersehen werden: Gebäudemassen, das Erdreich oder salzbasierte Speicher können Wärme oder Energie zwischenspeichern, ohne dass neue komplexe Materialsysteme entwickelt werden müssen. Hier sehen die Teilnehmenden Potenzial, Materialeinsatz und Komplexität zu reduzieren, indem Tragstruktur und Speicherfunktion gemeinsam im Design verankert werden.

**Materialwahl und Systemdesign sind dabei nicht zu trennen:** Erneuerbare Erzeugung, die nicht dort stattfindet, wo Energie gebraucht wird, erzeugt unnötige Kapazitäten und damit unnötigen Materialeinsatz. Intelligente Verteilung (lokal, quartiersbezogen und über Übertragungsnetze) ist deshalb auch eine Materialfrage. Präzise Bedarfsanalysen auf Quartiersebene reduzieren Überdimensionierung und machen Abschaltungen vermeidbar.

Abschließend wurde kritisch auf die starke **Fixierung der Energiedebatte auf CO<sub>2</sub>-Emissionen** hingewiesen: Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ist wichtig, greift aber zu kurz, wenn er andere systemische Kriterien wie Materialgesundheit, Biodiversität, Ressourcensicherheit, Reparierbarkeit und die Qualität von Recycling überlagert. Die Gruppe plädierte dafür, Materialität, Nutzungsszenarien, Energieverteilung und regulatorische Rahmen künftig gemeinsam zu denken und regenerative Material- und Energiesysteme zum Leitbild zu machen.

<sup>12</sup> Als Biosphäre wird die Gesamtheit aller Lebensräume von Organismen auf der Erde bezeichnet. Wir Menschen haben innerhalb der Biosphäre technische Kreisläufe geschaffen: die Technosphäre. Produkte und Materialien, die in die Biosphäre gelangen, müssen biologisch abbaubar sein. Alle Produkte und Materialien, die nicht biologisch abbaubar sind, dürfen ausschließlich in der Technosphäre zirkulieren. Produkte, die aus biologisch abbaubaren und nicht biologisch abbaubaren Materialien bestehen, müssen so designt und hergestellt sein, dass sich die unterschiedlichen Materialien rückstandslos trennen lassen und innerhalb ihrer jeweiligen Sphären zirkulieren können. Produkte der Biosphäre können auch so designt sein, dass sie mehrmals im technischen Kreislauf verwendet werden, bevor sie abgebaut oder wieder der Biosphäre zugeführt werden.

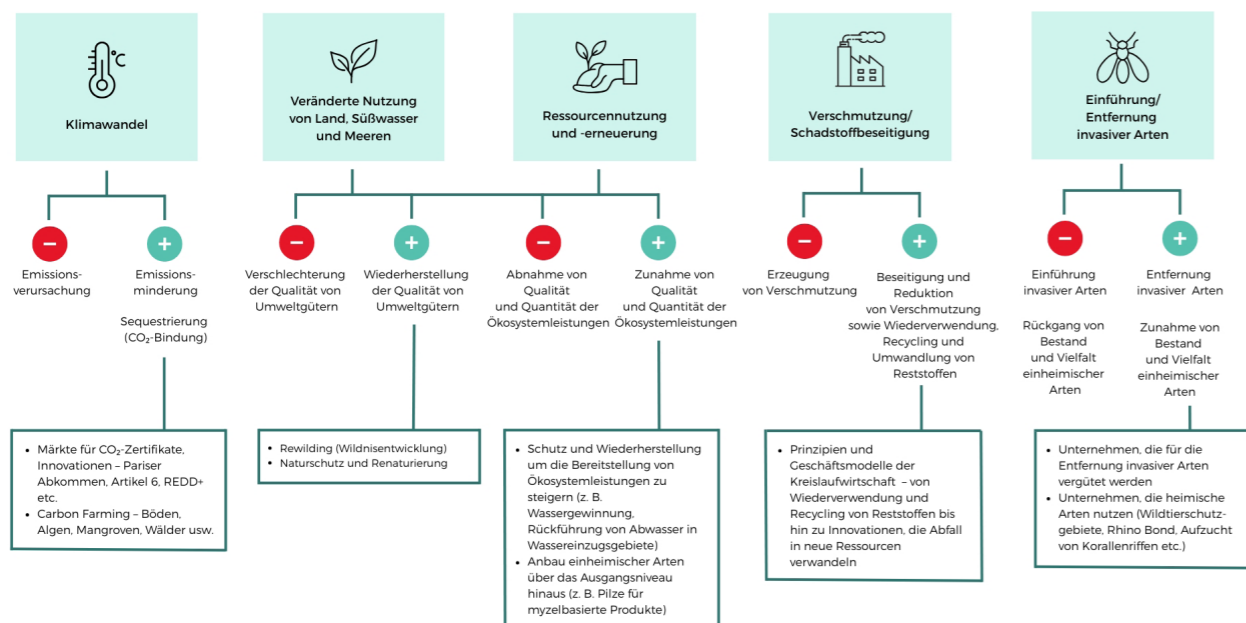


Abb. 3: Treiber für negative und positive Veränderungen in der Natur als Bewertungsmaßstab für Investitionen  
 Quelle: TNFD – Taskforce on Nature-related Financial Disclosures: „Drivers of nature change reflecting negative and positive impact.“ 2023.  
 tnfd.global. Abgerufen am 24. April 2026.

Dieser Anspruch wird auch in der Finanzwirtschaft immer deutlicher formuliert. Investoren beginnen, ihre Kapitalflüsse nicht mehr allein nach Klimakriterien zu steuern, sondern zunehmend auch **Biodiversität, Wasserverbrauch und Zirkularität als Finanzrisiken einzupreisen** (siehe Abb. 3). Die britische Bank Barclays etwa hat im Rahmen des TNFD-Frameworks<sup>13</sup> eine systematische Risikoanalyse für rund 9.000 Stromerzeugungsanlagen von etwa 40 Energieunternehmen durchgeführt. Hintergrund ist eine sich verändernde Finanzierungslogik: Unternehmen, die naturbasierte Risiken nicht managen und offenlegen, müssen künftig mit schlechteren Kreditkonditionen und höheren Kapitalkosten rechnen.<sup>14</sup>

**ERGEBNISSE**

- Materialität als entscheidender Faktor der Energiewende: PV-Module, Rotorblätter, Speicher und Netzinfrastruktur bestimmen, ob Energieanlagen später Rohstofflager oder Sondermüll sind. Biogene Stoffe sollen Boden- und Nährstoffkreisläufe regenerativ unterstützen, technische Stoffe möglichst genutzt statt verbraucht und dann hochwertig zurückgewonnen werden.

- Pauschale Verbote greifen zu kurz; entscheidend für die Materialwahl ist das konkrete Nutzungsszenario und ob Exposition in der Umwelt ausgeschlossen und Rückführung gewährleistet werden kann.
- Energieinfrastruktur konsequent für Demontage auslegen; als Maßstab gilt hochwertige Wiederverwendung auf gleichem oder höherem Qualitätsniveau, nicht Downcycling zu minderwertigen Produkten.
- Passive und niedertemperaturbasierte Speicher (Erdreich, Salzspeicher) sowie Mehrfachnutzung von Bauteilen (PV als Fassade, Dachhaut oder Geländer) stärker nutzen, um Materialeinsatz und Komplexität zu verringern.
- Den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck als alleinigen Maßstab überwinden und stattdessen auf ganzheitlich positiven Impact abzielen. Materialgesundheit, Biodiversität, Ressourcensicherheit, Reparierbarkeit und Recyclingqualität müssen dafür systematisch mitgedacht werden, auch weil Investoren diese Kriterien zunehmend in Finanzierungsentscheidungen einbeziehen.

<sup>13</sup> Das Taskforce on Nature-related Financial Disclosures (TNFD) ist ein internationales, marktgetriebenes Rahmenwerk für das Management und die Offenlegung naturbasierter Risiken und Chancen. Seit 2023 haben sich über 500 Unternehmen und 129 Finanzinstitutionen mit zusammen 17,7 Billionen Dollar verwaltetem Vermögen zur Berichterstattung nach TNFD verpflichtet. Weitere Informationen: tnfd.global. Abgerufen am 24. April 2026.

<sup>14</sup> Gareil, A. et al.: „Do investors care about biodiversity?“ Review of Finance, Vol. 28, Nr. 4, 2024, S. 1151-1186. doi.org/10.1093/rof/rfae010. Abgerufen am 24. April 2026.

**3.2.2 Geschäftsmodelle und Kooperationen**

Breakout-Session 2 erörterte, unter welchen Bedingungen kreislauffähige Geschäftsmodelle im Stromsektor wirtschaftlich tragfähig werden. Im Mittelpunkt stand die Frage nach Eigentum und Verantwortung: Wer trägt das Risiko für Materialqualität, Rücknahme und Recycling und wer profitiert davon? Die Diskussion zeigte, dass zirkuläre Lösungen dort entstehen, wo Investitionen geteilt und Services statt reiner Produktverkäufe in den Vordergrund gestellt werden.

Ein Kernpunkt ist die **gemeinsame Umsetzung und Risikoteilung**: Einzelne Organisationen scheuen oft die alleinige Investition in neue, zirkuläre Infrastrukturen, während Konsortien aus Energieunternehmen, Kommunen und Finanzpartnern solche Projekte gemeinsam tragen können. Besonders diskutiert wurde der **Übergang vom Produkt- zum Service-Modell**: Wenn Komponenten wie Batterien im Eigentum des Herstellers bleiben, entsteht ein starker Anreiz, sie reparierbar, modular und hochwertig recycelbar zu gestalten und nach Erstnutzung weiterzuverwenden.

**Kooperationen** wurden von den Teilnehmenden als strategisch wichtige Komponente bei der Umsetzung neuer Geschäftsmodelle gesehen – etwa durch die Qualifizierung von Demontage- und Recyclingbetrieben als Teil der Wertschöpfungskette oder durch gemeinsam erarbeitete digitale Produktpässe, die Materialströme bündeln und wirtschaftlich nutzbar machen. Damit Materialien am Nutzungsende tatsächlich hochwertig zurückgeführt werden, braucht es neben technische Lösungen, auch kooperativ organisierte **Rückführungssysteme**: Vereinbarungen zwischen Herstellern, Betreibern und Recyclingunternehmen, die Verantwortung und wirtschaftliche Anreize entlang der gesamten Kette klar verteilen. Aber auch im Sinne von Organisationsmodellen wie Bürgerwindparks oder Genossenschaften, die aus Betroffenen Beteiligte machen und die Akzeptanz wie auch die Kapitalbasis von Projekten erhöhen.

Wichtig ist bei engeren Kooperationen, dass **Einkaufs- und Lieferverträge** nicht allzu starr definiert sind. Zu viele Spezifikationen könnten Innovation blockieren, während flexiblere, ergebnisorientierte Verträge Raum für neue Lösungen schaffen. Diskutiert wurden Modelle,

bei denen das Eigentum an kritischen Komponenten wie Batterien oder PV-Modulen beim Hersteller, Serviceanbieter oder bei Dritten, etwa Banken oder sonstigen Investoren, verbleibt. Sie könnten über Leistungs- oder Verfügbarkeitsverträge vergütet werden (Power-/Energy-as-a-Service). Wichtig dabei ist, dass der Rückfluss von Komponenten am Nutzungsende vertraglich gesichert ist und damit zirkuläre Geschäftsmodelle ermöglicht werden (Second-Life-Nutzung<sup>15</sup>, kontrolliertes Recycling).

Die Gruppe betonte, dass es nicht reicht, einzelne Produkte zirkulärer zu machen, wenn sie an lineare Marktlogiken gekoppelt bleiben. Als Leitgedanke wurde Dematerialisierung hervorgehoben: Geschäftsmodelle sollten Anreize setzen, Anlagen **einfacher und bedarfsorientierter** auszulegen – etwa durch präzisere Last- und Bedarfsanalysen, die Überdimensionierung vermeiden.

**ERGEBNISSE**

- Mehr Kooperation entlang der Wertschöpfungskette ist notwendig, von Produktion und Betrieb über Demontage und Recycling bis zu Finanzierung und Vertrieb, damit Investitionen, technische Risiken und Erlöse aus Sekundärrohstoffen geteilt werden.
- Rücknahme- und Zweitnutzungsmodelle (Second Life) müssen klar geregelt sein, sodass definierte Pfade für Weiterverwendung und anschließendes Recycling bestehen, statt Altanlagen in Exportmärkte abfließen zu lassen.
- Liefer- und Leistungsbeziehungen stärker ergebnisorientiert gestalten (z. B. Energieverfügbarkeit bereitstellen, statt Geschäftsmodelle auf reiner Komponentenlieferung aufzubauen), um Raum für innovative, zirkuläre Lösungen in der Ausführung zu haben.
- Demontage- und Recyclingunternehmen früh als Partner einbinden und ihre Leistungen vertraglich absichern, damit Design- und Geschäftsentscheidungen schon zu Beginn auf hochwertige Rückführung ausgerichtet werden können.
- Beteiligungsmodelle (z. B. Bürgerenergie, Genossenschaften) nutzen, um lokale Akzeptanz, die Kapitalbasis und die langfristige Verantwortung für Anlagen zu stärken.

<sup>15</sup> Damit ist die zweite Nutzungsphase einer Batterie nach ihrem ursprünglichen Einsatz in einem Produkt oder Fahrzeug gemeint. Gebrauchte Batterien aus Elektrofahrzeugen können als Energiespeicher wiederverwendet werden, bevor sie, soweit möglich, recycelt werden.

### 3.2.3 Regulatorische Rahmenbedingungen

Breakout-Session 3 befasste sich mit der Frage nach den notwendigen regulatorischen Rahmenbedingungen, die einen an C2C orientierten Stromsektor fördern könnten.

Die aktuelle Rechtslage (Energiewirtschafts-, Energie- und Steuerrecht, Netzentgelte) erschwert lokale und quartiersbezogene Lösungen, so die Teilnehmenden. Sobald Strom erzeugt und verteilt wird, greifen **komplexe Entgelt- und Abgabenregimes**, die gemeinsame Nutzung und flexible Verteilung heute unattraktiv machen. Viele Akteure beschrieben das Regelwerk als verfahren, komplex und kostenintensiv und sehen darin einen Hauptgrund für Abregelung von Anlagen, ineffiziente Nutzung erneuerbarer Erzeugung und mangelnde Kopplung von Erzeugung, Speicher und Verbrauch im Quartier.

Als wichtiger Schritt wurde die jüngste Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes genannt, insbesondere der neue Paragraph 42c, der erstmals die **gemeinschaftliche Gebäudeversorgung** ermöglicht. Dies eröffnet die Perspektive, gestufte Systeme aufzubauen: kleine Speicher in Wohneinheiten zur Eigenstromoptimierung und zentrale Speicher für Restmengen innerhalb eines Objekts. Die Ausweitung dieses Prinzips auf echtes **quartiersübergreifendes Energy Sharing** unter Nutzung des öffentlichen Netzes wird aktuell im Rahmen der Systementwicklungsstrategie diskutiert.

Perspektivisch sahen die Teilnehmenden zusätzliche Spielräume durch EU-Instrumente wie den Net-Zero Industry Act, der eine klimafreundliche Industrieproduktion und den Ausbau sauberer Technologien beschleunigen soll, sowie durch die laufende Diskussion um nodale bzw. zonale Strompreissysteme, die bessere Signale für lokale Erzeugung und Netzentlastung geben könnten.

Unklarheiten bestanden bei der Definition von „Recyclingfähigkeit“ und „Rezyklierbarkeit“: Es reicht aus Sicht der Gruppe nicht, pauschale Quoten (z. B. „70 % recycelt“) zu fordern, wenn nicht geregelt ist, auf welchem Qualitätsniveau und für

welche Anwendungen Materialien zurückgeführt werden. Für PV-Module, Rotorblätter und andere Komponenten fehlen klare, **EU-weit abgestimmte Anforderungen an hochwertige Kreislauf-führung** sowie Rahmenbedingungen für digitale Produktpässe, die Materialien international nachvollziehbar machen.

Fehlende oder nicht durchgesetzte **Handelsregeln** erschweren den Absatz europäischer, zirkulär designter Produkte. Die Gruppe sah dringenden Handlungsbedarf auf EU-Ebene, etwa durch faire Wettbewerbsregeln und Berücksichtigung von Materialgesundheit in Beschaffungsrichtlinien.

Die Gruppe betonte, dass Regulierung **dezentrale Lösungen, Speicher und intelligente Verteilung explizit mitdenken** muss, statt nur den Übertragungsnetzausbau zu fördern.

#### ERGEBNISSE

- Vereinfachung und Entflechtung von Energie- und Steuerrecht für lokale Energiegemeinschaften sowie Quartierslösungen umsetzen, einschließlich fairer, reduzierter Netzentgelte für lokale Nutzungspfade.
- Präzisere, qualitätsbezogene Definitionen von „recyclbar“ im EU- und nationalen Recht verankern, ergänzt um Anforderungen an hochwertige Wiederverwendung und die Nutzung digitaler Produktpässe.
- EU-weit abgestimmte industrie- und handelspolitische Maßnahmen (z. B. Net-Zero Industry Act) konkretisieren, um kreislauffähige EU-produzierte Technologien gegenüber stark subventionierten, linearen Importen zu stärken.
- Systematisches Mitdenken von Speichern in Gesetzgebung und Planung (z. B. im Energiewirtschaftsrecht und in Bebauungs- und Energieplänen), damit Speicher als zentrale Elemente von C2C-Energiesystemen genutzt werden können.

## Roundtable WÄRME: Der unterschätzte Teil der Energiewende



# 04

### 4.1 EINORDNUNG UND ZIELSETZUNG

Der Roundtable Wärme behandelte einen Teil der Energiewende, bei dem von einem hohen C2C-Potenzial ausgegangen werden kann.

Ziel des Treffens war es, zentrale Fragen zur Rolle der Wärme in einer zirkulären Energiewende zu

diskutieren: Wie kreislauffähig ist der Wärmesektor heute, wie lassen sich Infrastrukturen und Geräte zukunftsfähig gestalten und welche Rahmenbedingungen braucht es dafür?

### 4.2 ERGEBNISSE DER ARBEITSGRUPPEN BEIM ROUNDTABLE WÄRME

#### 4.2.1 Materialität der Energieinfrastruktur

In der ersten Breakout-Session stand die Materialität von Wärmesystemen im Fokus: Wie müssen Erzeugung, Netze und Speicher designt sein, damit sie mit C2C vereinbar sind?

Diskutiert wurde, dass Wärmeerzeuger, Wärmepumpen, Speicher und Rohrleitungen als sogenannte **Materialbanken** verstanden werden sollten: modular, demontierbar und reparierbar und so gestaltet, dass ihre Materialien nach Nutzungsende hochwertig wiederverwendet oder recycelt werden können. Statt einer abstrakten Forderung nach Langlebigkeit plädierten die Beteiligten für **klar definierte Nutzungsdauern**, bei denen kritische Komponenten – insbesondere Elektronik, Steuerung und Software – gezielt austausch- und upgradefähig sind, während Gehäuse und mechanische Hauptkomponenten deutlich länger genutzt werden.

In der Biosphäre<sup>9</sup> sollen biogene Rohstoffe vor allem so eingesetzt werden, dass Kreisläufe geschlossen und Ökosystemleistungen gestärkt werden, beispielsweise durch die Nutzung von Bioabfällen und Reststoffen zur Herstellung von Biokohle oder Terra Preta<sup>16</sup> und die Rückführung von Nährstoffen in den Boden. Erst **nach mehreren Nutzungszyklen** (siehe Kapitel 2, Kaskadennutzung) sollen solche **biogenen Materialien zur Energiegewinnung** dienen, statt sofort verbrannt zu werden. Lokale biogene Reststoffe aus Kompostierung, Landwirtschaft oder kommunalen Bioabfällen wurden indes als sinnvolle, C2C-nahe Ressourcen betrachtet, sofern sie in systemische Ansätze integriert sind, in denen Wärme- und Stoffkreisläufe gemeinsam gedacht werden.

<sup>16</sup> Eine ursprünglich im Amazonasgebiet geschaffene Mischung aus Pflanzenkohle sowie organischem Kompost oder Dung. Sie fördert Mikroorganismen, speichert Wasser und Nährstoffe langfristig und gilt als Bodenverbesserer.

Leitungsnetze und unterirdische Infrastruktur wurden als **Rohstofflager mit langfristigem Wert betrachtet**; gleichzeitig wurde darauf hingewiesen, dass vielerorts kaum bekannt ist, welche Leitungen wo liegen und aus welchen Materialien sie bestehen. Die Gruppe betonte daher die Notwendigkeit einer **besseren Dokumentation, Lokalisierbarkeit und zukünftigen Rückbaubarkeit** von Leitungen, um sie in echten technischen Kreisläufen halten zu können. Zudem wurde diskutiert, wie verschiedene Systeme verbunden werden können – etwa Biogas- und Kompostierungsanlagen, deren Abwärme genutzt werden kann und deren Gärreste als Dünger zurückgeführt werden können, oder die Kombination mit anderen Wärmequellen wie Abwasser- oder Prozesswärme.

**ERGEBNISSE**

- Wärmeanlagen und Netze als Materialbanken designen: modulare Bauweise, klare Trennbarkeit von Funktionsmodulen, einfache Demontage, Ersatz und Upgradefähigkeit über mehrere Gerätegenerationen.
- Materialgesundheit als Standard: Stoffe so wählen, dass sie im Nutzungsszenario „gesund“ sind; problematische Stoffe nur in gut kontrollierten, geschlossenen Modulen einsetzen und deren Rücknahme sichern.
- Biogene Rohstoffe zuerst als Material, dann als Energieträger nutzen; regionale Bio-Reststoffe (Kompost, landwirtschaftliche Reststoffe) in systemische Konzepte (Biokohle, Terra Preta, Biogas, Kompostierungsabwärme) einbetten statt primärer Verbrennung.
- Infrastruktur (Leitungen, Speicher) mit vollständiger Dokumentation im Sinne eines digitalen Produktpasses planen (Lage, Materialien, Nutzungsdauer, Rückbaupfade), damit spätere Rückgewinnung und Umnutzung möglich wird.

**4.2.2 Geschäftsmodelle und Kooperationen**

Die zweite Breakout-Session betrachtete den Wärmemarkt als schwieriges Terrain für zirkuläre Geschäftsmodelle: Lange Vertragslaufzeiten, regulatorische Grenzen und eine fragmentierte Wertschöpfungskette erschweren den Übergang von Produktverkauf zu Servicelogiken. Die Gruppe knüpfte an die Praxisbeispiele an (siehe Anhang) und diskutierte, welche strukturellen Hürden zirkuläre Modelle im Bestand heute noch blockieren.

Ausgangspunkt war die Beobachtung, dass hochwertige, wirklich kreislauffähige Produkte im derzeit vorherrschenden Verkaufsmodell **wirtschaftlich im Nachteil** sind gegenüber linearen Produkten, die im Anschaffungspreis günstiger sind. Solange Hersteller ihre Geräte einmalig verkaufen und danach nicht mehr in deren (Wieder-)Nutzungszyklus eingebunden sind, lohnt sich aus ihrer Sicht der Mehraufwand für modulare, reparaturfreundliche Designs nur begrenzt, weil spätere Reparatur- und Entsorgungskosten bei Kund\*innen oder Dritten liegen. Die Session betrachtete deshalb **Service- und Nutzungsmodelle** (Wärme-as-a-Service, Contracting) als Schlüssel für mehr C2C in der Wärmeversorgung.

Diese Modelle wurden, anknüpfend an die Best-Practice-Beispiele (siehe Anhang), als besonders für Gebäudeeigentümer\*innen attraktiv bezeichnet. Ihr Investitionsbedarf sinkt und sie erhalten einen verlässlichen Wärmepreis über eine definierte Laufzeit – idealerweise auf Basis erneuerbarer Wärme. Für Dienstleister wiederum sind langfristige Verträge mit planbaren Cashflows interessant; gleichzeitig müssen sie ihre Anlagen so auslegen, dass Reparaturen, Upgrades und ein späterer Rückbau wirtschaftlich darstellbar sind. Die Gruppe betonte, dass echte Servicekonzepte (siehe Abb. 4) – bei denen die Nutzung und der Service verkauft werden, nicht das Gerät – als besonders geeignet gelten, **weil sie den Kreislaufgedanken in der Wertschöpfungskette verankern** und dadurch Produktlogiken unterlaufen, die auf Verschleiß und vorzeitige Erneuerung ausgerichtet sind. Solche Servicekonzepte stoßen den Teilnehmenden zufolge im deutschen Rechtsrahmen jedoch auf **regulatorische Grenzen**: Die Wärmelieferverordnung (WärmeLV) bremst den wirtschaftlichen Wechsel von Eigenbetrieb auf gewerbliche Wärmelieferung aus und damit genau jene Modelle, die aus Sicht der teilnehmenden Fachleute besonders geeignet wären.

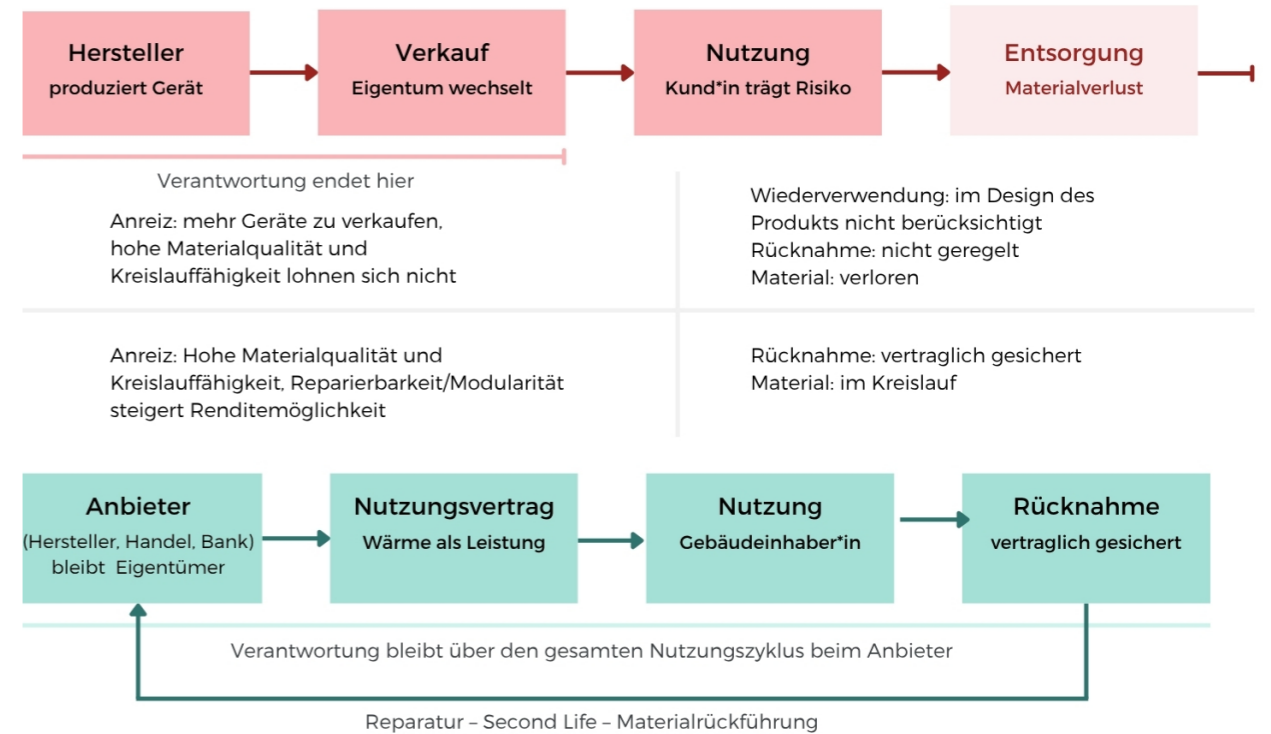


Abb. 4: Produktverkauf und Wärme-as-a-Service im Vergleich  
Quelle: Eigene Darstellung, Cradle to Cradle NGO, Berlin 2026.

Ein weiterer Schwerpunkt war die **Kooperation entlang der Wertschöpfungskette**. Aus C2C-Perspektive wäre es demnach sinnvoll, wenn Hersteller, Energieversorger, Kommunen und Immobilienwirtschaft stärker kooperieren: etwa indem Hersteller Geräte nur für definierte Nutzungszeiträume bereitstellen und deren Rücknahme vertraglich gesichert ist, wodurch sie Materialien gezielt im Kreislauf halten und Effizienzen im Bestand nutzen könnten. Die Praxis zeigt aber, dass solche Kooperationsmodelle noch selten sind und viele Projekte stark von der Eigeninitiative Einzelner abhängen, weil es kaum verbindliche Energieeinsparverpflichtungen für Unternehmen gibt.

Die Gruppe diskutierte auch Beispiele für **systemische Kopplung von Geschäftsmodellen und Infrastruktur**: So könnte man etwa bestehende Abwasserkanäle als Wärmetauscher nutzen, statt neue Systeme zu bauen, oder Rechenzentren von Beginn an so planen, dass ihre Abwärme in Quartiere integriert werden kann – inklusive vertraglicher Geschäftsmodelle zwischen Betreibern, Versorgern und Gebäudeeigentümer\*innen (siehe Praxisbeispiel im Anhang – GASAG). **Digitalisierung** wurde als Enabler gesehen, um diese Kopplung zu steuern (z. B. Nachfrage, Verfügbarkeiten, Lastmanagement), sie darf aber kein Selbstzweck sein.

**ERGEBNISSE**

- Nutzungs- und Service-Modelle (Wärme-as-a-Service, Contracting, Mietmodelle für Wärmepumpen etc.) ausbauen, bei denen Eigentum und Lebenszyklusverantwortung beim Anbieter oder Dritten liegen; das schafft Anreize für lange Nutzungsdauer, Reparierbarkeit und Wiederverwendung.
- Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette institutionalisieren: Hersteller, Versorger, Wohnungswirtschaft, Handwerk und Kommunen in Allianzen zusammenbringen (z. B. gemeinsame Rücknahme-/Reparaturangebote, standardisierte Servicepakete).
- Quartierslösungen und die Kopplung von Quellen und Senken (Rechenzentren, Industrieabwärme, Abwasser, Geothermie, Gebäude) gezielt als Geschäftsmodelle entwickeln, statt nur Einzelgebäude zu betrachten.
- Spezifische Weiterbildungen für Handwerk und Planungsbüros zu C2C-Design anbieten sowie Reparaturfähigkeit und Rückbau in Geschäftsmodellen verankern (z. B. als Vertragsbestandteil oder Qualitätskriterium).

### 4.2.3 Regulatorische Rahmenbedingungen

In der dritten Breakout-Session stand die Frage im Mittelpunkt, welche regulatorischen Rahmenbedingungen notwendig sind, um eine kreislauffähige, erneuerbare Wärmeversorgung im Sinne von C2C zu ermöglichen und welche bestehenden Regeln den Ausbau derzeit bremsen.

Zu Beginn wurde betont, dass es bereits zahlreiche Best-Practice-Beispiele für erneuerbare Wärmelösungen gibt, die jedoch oft lokal isoliert bleiben. Daraus leiteten die Teilnehmenden die Notwendigkeit eines **systematischen Wissensaustauschs** ab: Bund und Länder sollten Beispiele erfassen, auswerten und zur Nachahmung bereitstellen.

Breiten Raum nahm die sogenannte **Kostenneutralitätsvorgabe** (Neutralitätsgebot in der WärmeLV) ein: Heizkosten neuer Wärmelösungen dürfen in vermieteten Bestandsgebäuden die bisherigen Heizkosten nicht überschreiten. Als Mieter\*innenschutzinstrument gedacht, blockiert die Regelung in der Praxis häufig den Anschluss an erneuerbare Wärmenetze oder den Einsatz höherwertiger Technologien, da für sie zunächst Investitionen getätigt werden müssen, die dann das Kostengefüge verzerren. Diese Vergleichslogik bildet weder steigende CO<sub>2</sub>-Preise noch die Nutzungsdauervorteile zirkulärer Infrastruktur adäquat ab und hemmt die Transformation im Bestand, so die Runde.

Die Kostenneutralitätslogik bewertet ausschließlich den kurzfristigen Preisvergleich zwischen altem und neuem System und blendet dabei die langfristigen Kosten linearer Systeme vollständig aus. Fossile Heizinfrastruktur erzeugt **Folgekosten für Gesundheit, Umwelt und künftige Entsorgung**, die in keiner Wirtschaftlichkeitsrechnung auftauchen (siehe Abb. 5).<sup>17</sup>

Als positives Beispiel wurde aus Nordrhein-Westfalen der **Masterplan Geothermie** genannt.<sup>18</sup> Das Land ergänzt die Bundesförderung um Programme für oberflächennahe und tiefe Geothermie. Bei Erdwärmepumpen werden insbesondere die

Bohrkosten bezuschusst, um die Kostendifferenz zu Luft-Wärmepumpen zu verringern. 2024 wurden über das Programm progres.nrw insgesamt 1.250 Anlagen zur Nutzung von Erdwärme gefördert, bei einem Fördervolumen von knapp 20 Mio. Euro. Wegen der starken Nachfrage hat das Land die bereitgestellten Mittel zum ersten Jahrestag des Masterplans im April 2025 auf 40 Mio. Euro verdoppelt.<sup>19</sup> Für die tiefe Geothermie sichert das Land das Fündigkeitsrisiko ab, also das Risiko nicht ergiebiger Bohrungen, das bislang viele Investitionen verhindert hat. Neben den finanziellen Effekten wurde betont, dass die klare politische Positionierung des Landes selbst ein wichtiger **Vertrauens- und Investitionsimpuls** für den Markt ist.

Aus der Gruppe wurde darauf hingewiesen, dass Bundesförderinstrumente die **lange Nutzungsdauer bestimmter Infrastrukturen** – etwa Erdsonden mit 80 bis 100 Jahren – kaum berücksichtigen. Zusätzliche Investitionen in solche lange nutzbaren Systeme werden durch Förderobergrenzen oder kurzfristige Wirtschaftlichkeitslogiken benachteiligt. Damit geraten langfristig nutzbare, robuste Infrastrukturen gegenüber kurzfristig günstigeren Lösungen ins Hintertreffen.

Zur **Rolle der Kommunen** betonten die Teilnehmenden, dass diese bei der kommunalen Wärmeplanung und in der öffentlichen Beschaffung mehr Gestaltungsfreiheit haben, als ihnen bewusst ist. Sie könnten bereits in Ausschreibungskriterien wie recycelbare Rohrsysteme, bestimmte Qualitätsanforderungen an Materialien, modulare Systeme oder C2C-Kompatibilität festschreiben und so Innovation im Markt auslösen. Personelle und finanzielle Engpässe sorgten vor allem bei kleineren Kommunen dafür, dass die für Wärmeplanung zuständigen Personen zusätzlich andere Aufgaben bearbeiten, sodass Zeit und Kapazität fehlen, sich mit neuen technischen und rechtlichen Optionen auseinanderzusetzen. Daher braucht es neben

Rechtsanpassungen auch Unterstützungsstrukturen für kommunale Kapazitäten.

Die Gruppe diskutierte am Beispiel Dänemarks, wie die **Verpflichtung zu Endenergieeinsparung für Energieunternehmen**<sup>20</sup> dazu führte, dass Wärmenetzbetreiber ihre Übergabestationen flächendeckend mit Mess- und Regeltechnik ausgerüstet haben, um ineffiziente Gebäude zu identifizieren und gezielt energetische Beratung anzubieten. Aus Sicht der Teilnehmenden zeigt das Beispiel, wie ein anderer regulatorischer Ansatz (Verpflichtungen statt ausschließlich Förderung) Innovation und Effizienz im Wärmesektor anstoßen kann.

Immer wieder kam die Runde auf **Sichtbarkeit und Priorisierung von Wärme im politischen Diskurs** zurück. Wärme muss als zentraler Teil der Energiewende begriffen und entsprechend in Gesetzgebung, Förderlandschaft und Kommunikation berücksichtigt werden, statt hinter Strom- und Mobilitätsthemen zurückzustehen. Politik soll sich klar zu bestimmten Technologien (z. B. Geothermie, erneuerbare Wärmenetze) bekennen, um Investitions- und Planungssicherheit zu schaffen, gleichzeitig aber C2C-Aspekte wie Materialgesundheit und Kreislauffähigkeit explizit in Förder- und Ordnungsrecht verankern.

#### ERGEBNISSE

- Das Kostenneutralitätsgebot bei der Umstellung auf gewerbliche Wärmelieferung reformieren, damit erneuerbare, C2C-gerechte Systeme mit höheren Anfangsinvestitionen nicht systematisch benachteiligt werden. Die Kostenlogik sollte dabei stärker auf Lebenszyklus- und Systemperspektiven ausgerichtet werden statt auf kurzfristige Preisvergleiche.
- Förderprogramme so anpassen, dass langlebige kreislauffähige Infrastruktur (z. B. Erdsonden mit 80–100 Jahren Nutzungsdauer, hochwertige Netze) bevorzugt und das Fündigkeitsrisiko bei tiefer Geothermie abgedeckt wird (Masterplan-Geothermie-Ansatz aufgreifen).
- Kommunale Spielräume nutzen und erweitern: in Ausschreibungen C2C-Kriterien (recycelbare Rohrsysteme, modulare Anlagen, Materialgesundheit, Rücknahmepflichten) verbindlich machen und Best-Practice-Austausch zwischen Kommunen strukturell fördern.
- Standortplanung für Abwärmequellen (Rechenzentren, Industrie) so steuern, dass sie in räumlicher Nähe zu Wärmesenken liegen; Rechenzentren auf der „grünen Wiese“ ohne nutzbare Wärmesenken vermeiden.
- CO<sub>2</sub>-Preis und Abbau klimaschädlicher Subventionen (z. B. fossile Vergünstigungen) mittel- bis langfristig so gestalten, dass erneuerbare, kreislauffähige Wärmesysteme systemisch günstiger werden.

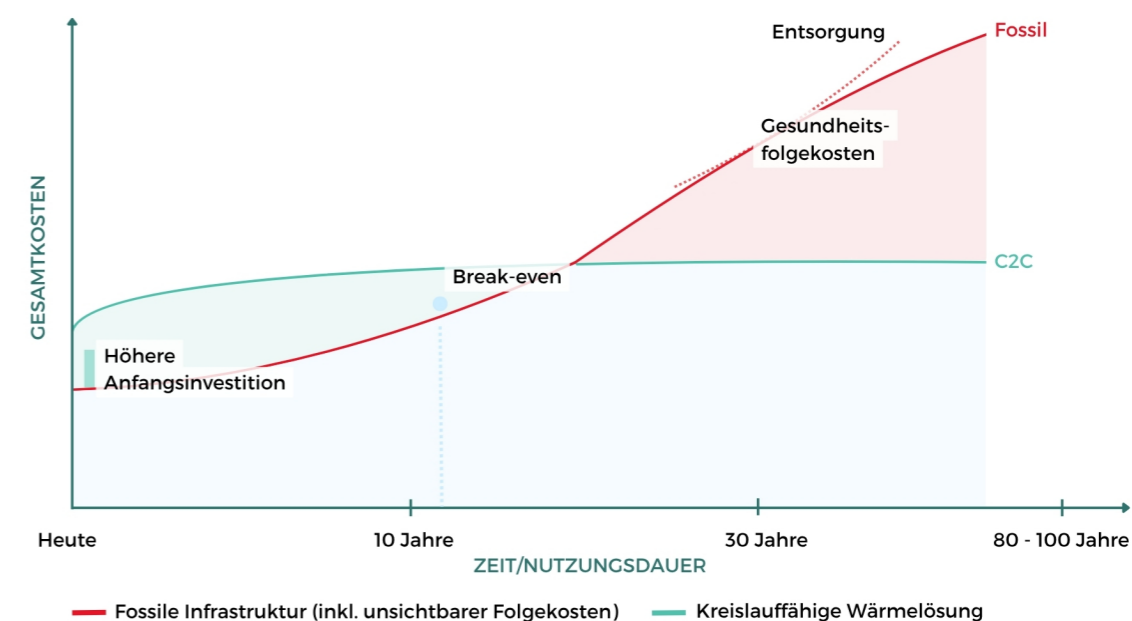


Abb. 5: Kurzfristkosten versus Lebenszykluskosten im schematischen Vergleich  
Quelle: Eigene Darstellung. Cradle to Cradle NGO, Berlin 2026.

<sup>20</sup> International Energy Agency (IEA): „Danish Energy Efficiency Obligation.“ Policy Database, 28.11.2019. [www.iea.org/policies/1115-danish-energy-efficiency-obligation](http://www.iea.org/policies/1115-danish-energy-efficiency-obligation). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>17</sup> Bundesrat: Entschließungsantrag zur Novellierung der Wärmelieferverordnung (WärmeLV). BR-Drucksache 579/25, Beschluss vom 21. November 2025. [www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2025/0501-0600/579-25.pdf](http://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2025/0501-0600/579-25.pdf). Abgerufen am 29. März 2026. – CDU/CSU und SPD: Koalitionsvertrag 2025, 9. April 2025, S. 35 Zeilen 1141 - 1142.

<sup>18</sup> Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen: „Erneuerbare Wärme“ [www.wirtschaft.nrw/themen/klimaschutz/erneuerbare-waerme](http://www.wirtschaft.nrw/themen/klimaschutz/erneuerbare-waerme). Abgerufen am 7. April 2026.

<sup>19</sup> Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen: „Wärme aus der Tiefe: Nordrhein-Westfalen baut Förderung für Geothermie-Projekte aus.“ Pressemitteilung, 2. April 2025. [www.wirtschaft.nrw/waerme-aus-der-tiefe-nordrhein-westfalen-baut-foerderung-fuer-geothermie-projekte-aus](http://www.wirtschaft.nrw/waerme-aus-der-tiefe-nordrhein-westfalen-baut-foerderung-fuer-geothermie-projekte-aus). Abgerufen am 14. April 2026.

## Roundtable VERKEHR: Vom Energieverbraucher zum aktiven Teil des Energiesystems



# 05

### 5.1 EINORDNUNG UND ZIELSETZUNG

Der Roundtable Verkehr hatte das Ziel, die Rolle des Verkehrs im Energiesystem neu zu denken: Wie lassen sich Mobilität und Infrastruktur so gestalten, dass sie als Teil eines kreislauffähigen Energiesystems funktionieren? Der Roundtable hat Verkehr dabei konsequent als aktiven Teil des

Energiesystems betrachtet – als Speicher, als Erzeuger, als Rohstofflager. Diese Perspektive geht über das hinaus, was in der energiepolitischen Regulierung heute üblich ist, die Verkehr bislang überwiegend als Nachfragesektor erfasst, nicht als gestaltbares Element der Energieinfrastruktur.

### 5.2 ERGEBNISSE DER ARBEITSGRUPPEN BEIM ROUNDTABLE VERKEHR

#### 5.2.1 Materialität der Energieinfrastruktur

In der Breakout-Session zur Materialität von Verkehrssystemen wurde der C2C-Ansatz auf den Verkehrssektor angewendet. Debatten um Verkehrs- und Mobilitätssysteme bleiben nach wie vor häufig in der Carbon Tunnel Vision (siehe Abb. 6) stecken, betrachten also den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck isoliert, während andere Wirkdimensionen wie Biodiversität, Wasser, Toxikologie, soziale Aspekte und Gesundheit zu wenig berücksichtigt werden.<sup>21</sup>

Ein Schwerpunkt der Diskussion lag auf **Batterien und kritischen Rohstoffen**. Mehrere Teilnehmende wiesen darauf hin, dass Batterien

große Teile der Wertschöpfung und Masse von E-Fahrzeugen ausmachen und damit zentrale Materialtreiber sind. Diskutiert wurden Lithium-Ionen-Systeme, LFP-Batterien (Lithium-Eisen-Phosphat) und künftige Natrium- oder organische Systeme. Dabei wurde kritisiert, dass der aktuelle Fokus auf LFP zwar Kosten senkt<sup>22</sup> und toxikologisch günstigere Eigenschaften bietet<sup>23</sup>, aber starke Rohstoff- und Verarbeitungsabhängigkeiten von China erzeugt, die sich durch chinesische Exportbeschränkungen für LFP-Kathodenmaterialien seit 2025 noch verschärft haben.<sup>24</sup> Hinzu kommt, dass wirtschaftlich tragfähige

Recyclingpfade für LFP in Europa noch nicht im industriellen Maßstab existieren<sup>25</sup>, während Nickel-Kobalt-Systeme durch ihren höheren Materialwert bereits lukrative Rückgewinnung ermöglichen.<sup>26</sup> Natrium-basierte Systeme wurden als perspektivisch interessant eingestuft: Sie kommen ohne kritische Rohstoffe aus und bieten, insbesondere für stationäre Speicher, ein hohes Kreislaufpotenzial.

**Der chinesische Markt** wurde im Rahmen der Roundtable **mehrfach als Referenz für ein heute bereits fortgeschrittenes Rücknahme- und Batterierecyclingsystem** genannt, erzeugt durch staatliche Vorgaben und hohe Subventionen. Die offizielle Recyclingquote liegt bei rund 40 %, jedoch wächst das Volumen an Altbatterien deutlich schneller als die formellen Recyclingraten. Zudem landet ein erheblicher Anteil der Batterien im informellen Sektor bei kleinen, nicht staatlich zugelassenen Werkstätten. Sie verarbeiten die Altbatterien außerhalb des regulierten Systems, ohne Umwelt- und Qualitätsstandards und ohne dass die zurückgewonnenen

Materialien in dokumentierte Produktionsprozesse zurückfließen. China hat daher **parallel zum Aufbau des Recyclingmarktes eine Pflicht zum modularen Batteriedesign** veranlasst, um den formellen Recyclingpfad gegenüber dem informellen wirtschaftlich attraktiver zu machen.<sup>27 28 29</sup>

Gleichzeitig wurde grundsätzlich hinterfragt, ob immer größere Batterien sinnvoll sind oder ob Mobilitätssysteme mit geringerem Speicherbedarf oder anderen Antrieben zielführender wären. Statt nur einzelne Fahrzeuge zu optimieren, wurde für eine stärker differenzierte, kontextabhängige Mobilitäts- und Verkehrslandschaft plädiert, die sich durch **Systemdesign und Skalenniveau** auszeichnet: Mikromobilität (E-Bikes, Roller, leichte Cargofahrzeuge) mit kleinen Speicherpaketen für Kurzstrecken, öffentliche Verkehrssysteme mit Gelegenheitslademöglichkeiten an Haltestellen und modulare oder tauschbare Batterien für spezifische Anwendungsfälle. Beispiele waren autonome oder robotisierte Systeme, bei denen kleinere Speicher durch häufiges Laden beziehungsweise Batteriewechsel ausreichen

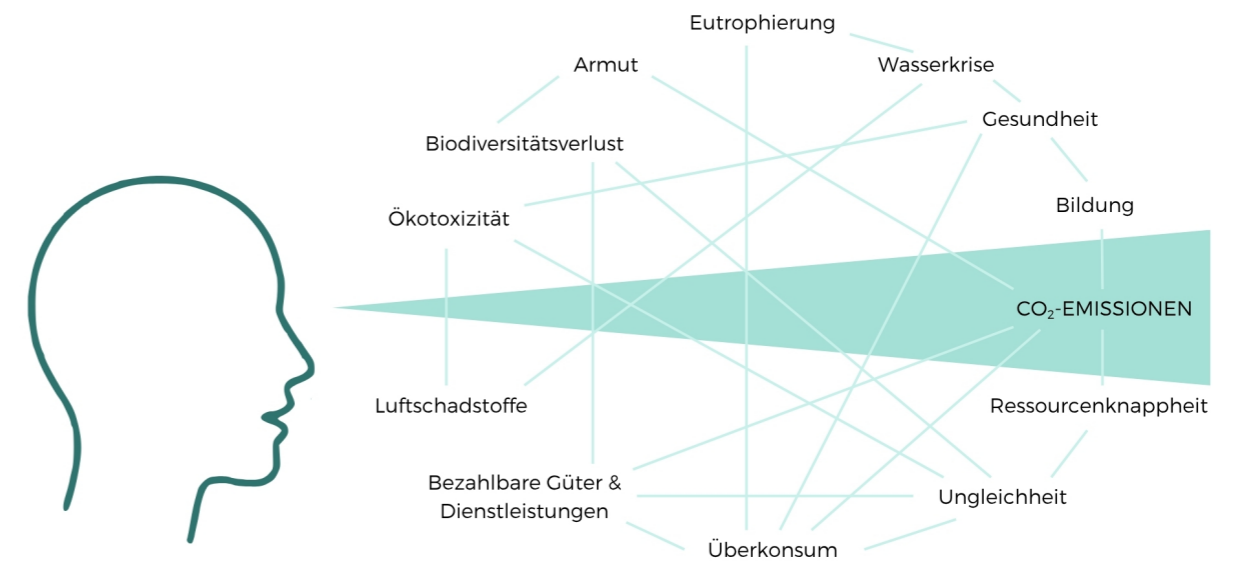


Abb. 6: Carbon Tunnel Vision – der Tunnelblick auf CO<sub>2</sub>. Die Grafik veranschaulicht, wie eine ausschließliche Fokussierung auf CO<sub>2</sub>-Emissionen den Blick auf weitere Dimensionen verstellt. Quelle: Konietzko, J. (2021): Carbon Tunnel Vision. LinkedIn-Beitrag, November 2021. Wiedergabe als Bildzitat gemäß § 51 UrhG.

<sup>21</sup> Cognizant: „Moving Beyond Carbon Tunnel Vision with a Sustainability Data Strategy.“ Insights Blog, 08.02.2022. [www.cognizant.com/us/en/insights/insights-blog/moving-beyond-carbon-tunnel-vision-with-a-sustainability-data-strategy-codex7121](http://www.cognizant.com/us/en/insights/insights-blog/moving-beyond-carbon-tunnel-vision-with-a-sustainability-data-strategy-codex7121). Abgerufen am 7. April 2026.  
<sup>22</sup> Fraunhofer FFB / Campus Forum RWTH: „Zukunft der Batterieproduktion: Recycling trifft Innovation.“ - Der Preis für 1 kWh liegt heute bei rund 50 USD für eine LFP-Batterie. 01.10.2025. [campusforum.rwth-campus.com/aktuelles/zukunft-der-batterieproduktion-recycling-trifft-innovation](http://campusforum.rwth-campus.com/aktuelles/zukunft-der-batterieproduktion-recycling-trifft-innovation). Abgerufen am 29. März 2026.  
<sup>23</sup> Langenbacher, Thomas: „Warum Europa LFP-Batterien nutzen sollte.“ Transport & Environment (T&E), 3. Dezember 2025. [ecomento.de/2025/12/03/te-warum-europa-lfp-batterien-nutzen-sollte](http://ecomento.de/2025/12/03/te-warum-europa-lfp-batterien-nutzen-sollte). Abgerufen am 29. März 2026.  
<sup>24</sup> Fraunhofer FFB – Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batterieproduktion: „Neue Exportkontrollregelungen in China könnten den Batteriemarkt verändern.“ Statement, 11. Mai 2026. [www.ffb.fraunhofer.de/de/news/Pressemitteilungen/exportkontrollen-china-batterieproduktion.html](http://www.ffb.fraunhofer.de/de/news/Pressemitteilungen/exportkontrollen-china-batterieproduktion.html). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>25</sup> Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT: „Das nachhaltige Recycling von LFP-Batterien gilt als ökologische und wirtschaftliche Notwendigkeit.“ Pressemitteilung, 03.10.2022. [www.ilt.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/2022/11-3-nachhaltiges-recycling-von-lfp-batterien.html](http://www.ilt.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/2022/11-3-nachhaltiges-recycling-von-lfp-batterien.html). Abgerufen am 29. März 2026.  
<sup>26</sup> Neumann, Jens et al.: „Recycling of Lithium-Ion Batteries – Current State of the Art, Circular Economy, and Next Generation Recycling.“ Advanced Energy Materials, Bd. 12, Nr. 17, Art. 2102917. Wiley, 10. Januar 2022. [advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/aenm.202102917](http://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/aenm.202102917). Abgerufen am 29. März 2026.  
<sup>27</sup> Yang, Zeyi: „China figured out how to sell EVs. Now it has to bury their batteries.“ MIT Technology Review, 18. Dezember 2025. [www.technologyreview.com/2025/12/18/1130148/china-ev-battery-recycle](http://www.technologyreview.com/2025/12/18/1130148/china-ev-battery-recycle). Abgerufen am 10. April 2026.  
<sup>28</sup> Aishwarya et al.: „Sustainable Recycling of End-of-Life Electric Vehicle Batteries: EV Battery Recycling Frameworks in China and the USA.“ Batteries, Bd. 10, Nr. 2, Art. 68. MDPI, 10. April 2025. [www.mdpi.com/2313-4321/10/2/68](http://www.mdpi.com/2313-4321/10/2/68). Abgerufen am 10. April 2026.  
<sup>29</sup> Envilliance Asia: „China, New Energy Vehicle Recycling Dynamic Report.“ [envilliance.com/regions/east-asia/cn/cn-waste/cnew-energy-vehicle-recycling](http://envilliance.com/regions/east-asia/cn/cn-waste/cnew-energy-vehicle-recycling). Abgerufen am 10. April 2026.

könnten, und Batterietauschkonzepte für PKW. Gleichzeitig wurde auf **mögliche Rebound-Effekte** hingewiesen: Wenn zusätzliche Optionen die Nutzung insgesamt attraktiver machen, könnte ein Anstieg des Individualverkehrs statt eines Rückgangs großer Batterien resultieren.

Praktiker aus der Mikromobilität berichteten über Versuche, **Biowerkstoffe in Fahrzeugstrukturen** einzusetzen. Dabei wurde deutlich: Begriffe wie „biobasiert“ oder „Biokunststoff“ werden häufig ohne Einordnung verwendet, ob die so bezeichneten Materialien nun biobasiert, biologisch abbaubar oder biologisch kompatibel sind. Diese Unterscheidung ist jedoch essenziell, da sie die Weiternutzungs- und Kreislaufmöglichkeiten eines Materials maßgeblich bestimmt.<sup>30</sup> Gleichzeitig sind **Preis, Skalierung und Anpassung bestehender Fahrzeugarchitekturen zentrale Hürden** für den Einsatz alternativer Materialien: Oft müssen Fahrzeuge grundlegend neu designt und konstruiert werden, um biobasierte oder kreislauffähige Materialien sinnvoll einsetzen zu können. Das verlängert Entwicklungszeiten und erhöht den Kostendruck.

Als Querschnittsthema wurden **digitale Produktpässe** hervorgehoben (siehe Abb. 7). Sie schaffen die nötige Transparenz darüber, welche Stoffe in

welcher Qualität und Quantität in welchen Komponenten stecken – von Batterien und Elektronik bis zu Strukturmaterialien und Verschleißteilen. Ohne diese Daten bleibt der Übergang von Entsorgung zu hochwertiger Wiederverwendung und Remanufacturing schwierig. Der aktuelle globale Zirkularitätsindex von 6,9 %<sup>31</sup> verdeutlicht den Handlungsbedarf. Produktpässe, so die Diskutierenden, würden Startups und Großunternehmen helfen, ihre Ressourcen im Sinne von Materiallagern langfristig zu managen, statt ungezielt zu versuchen, jene Materialien zu recyceln, die nicht dafür geeignet sind.

Häfen könnten als Knotenpunkte für gebündelte Energie- und Stoffströme dienen, beispielsweise als sogenannte Solar-Ports oder Standorte für grüne E-Fuels, die in Partnerschaften zwischen Hafenbetreibern, Industrie und Kommunen entwickelt werden. Insgesamt plädierten die Teilnehmenden der Session dafür, Materialität nicht auf einzelne Komponenten wie Batterien zu verengen, sondern Verkehrssysteme als Verbund aus Fahrzeugtypen, Infrastrukturen und Geschäftsmodellen zu verstehen, deren Materialien von Beginn an als Nährstoffe in technischen und biologischen Kreisläufen gestaltet werden.

**ERGEBNISSE**

- Der Fokus auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck greift zu kurz, weil Biodiversität, Wasser, toxische Stoffe und soziale sowie gesundheitliche Effekte wie beispielsweise Reifenabrieb als wesentliche Mikroplastikquelle systematisch mitgedacht werden müssen.
- Batterien treiben Materialeinsatz und Rohstoffabhängigkeiten maßgeblich; die Recyclingfähigkeit unterscheidet sich stark je nach Chemie (Nickel/Kobalt deutlich besser als LFP) und unterstreicht den Bedarf nach weniger Speicher sowie alternativen Antrieben.
- Differenzierte Fahrzeug- und Nutzungskonzepte (Mikromobilität, ÖPNV mit Gelegenheitsladen, modulare/tauschbare Batterien) können bei gleichzeitiger Beachtung von

Rebound-Risiken und mit einem besonderen Fokus auf große Materialströme im Schienenbereich eine Brücke zwischen den Sektoren schlagen.

- Die C2C-Materialperspektive erfordert präzisere Kategorien für Biowerkstoffe (biobasiert/biologisch abbaubar/biokompatibel), neue Fahrzeugarchitekturen sowie digitale Produktpässe zur Erfassung von Materialinventaren.
- Verkehrssysteme sollen als gestaltete Materiallager verstanden werden, in denen alle Stoffe – von Batterien über Infrastrukturmaterialien bis zu Verschleißteilen – so ausgelegt sind, dass sie als Nährstoffe in biologische oder technische Kreisläufe zurückfließen, unterstützt durch Kooperationen auch in Häfen und internationalen Regelwerken.

**5.2.2 Geschäftsmodelle und Kooperationen**

Breakout-Session 2 betrachtete den Verkehrssektor aus einer ungewohnten Perspektive: nicht als Nachfragesektor, der Energie verbraucht, sondern als aktives Element des Energiesystems, als Speicher, Erzeuger und Rohstofflager. Die zentrale Frage war, welche Geschäftsmodelle und Kooperationen nötig sind, damit Elektrifizierung im Verkehr nicht nur Emissionen reduziert, sondern Stoff- und Energiekreisläufe aktiv befähigt.

Energieversorger, Verkehrsunternehmen, Kommunen und Fahrzeughersteller).

Digitale Produktpässe für Fahrzeuge, Komponenten und Infrastruktur wurden als Voraussetzung genannt, um Stoffströme zu steuern, Wertstoffe zurückzugewinnen und Geschäftsmodelle basierend auf dem Materialwert, statt auf Einmalverkauf aufzubauen.

**Ein zentrales Motiv war die Verlagerung von Produkt- zu Service- und Performance-Modellen:**

Statt Fahrzeuge oder Infrastruktur einmalig zu verkaufen, werden Nutzung, Verfügbarkeit oder Leistung verkauft (Mobility-as-a-Service, Pay-per-Use, Energiespeicher-Services). Diese Geschäftsmodelle sind ein Anreiz dafür, Produkte als Rohstoffbanken in der Technosphäre (siehe Kapitel 2) zu halten und Verbrauchsströme für die Biosphäre (siehe Kapitel 2) verträglich zu gestalten, statt deren Schädlichkeit durch problematische Stoffe nur zu vermindern.

In der Diskussion traten typische **Zielkonflikte** hervor:

- Langfristige vs. kurzfristige Perspektive (z. B. notwendige Anfangsinvestitionen in zirkuläre und C2C-Materialien vs. kurzfristig geringere Anschaffungskosten; Investitionen in PV-/Ladeinfrastruktur vs. knappe Budgets).
- Reichweiten- und Komfortwartungen vs. Rohstoffintensität (Trend zu immer größeren Batterien vs. kleinere Speicher und dichtere Lade- oder Wechsellinfrastruktur).
- Globaler Wettbewerb und Rohstoffabhängigkeiten (Batteriematerialien, Zellproduktion, PV mit starker Abhängigkeit von Drittstaaten) vs. resiliente, regional eingebettete Kreisläufe.

**Ein weiterer Schwerpunkt war die Kooperation entlang der Wertschöpfungskette**

bei Hubs, Ladeinfrastruktur, PV-Flächen sowie Daten- und Energieplattformen. Notwendig sind dafür langfristige Partnerschaften für Materialkreisläufe (Rücknahmevereinbarungen, Standardisierung von Komponenten wie Batteriezellen), Rücknahme- und Re-Use-Logistik (für Batterien, Fahrzeugkomponenten, Infrastruktureile) sowie industrieübergreifende Kooperationen (z. B.

**Ergebnisse**

- Verkehr wird als aktiver Teil der Energiewende verstanden: Fahrzeuge und Infrastruktur sollen nicht nur Emissionen vermeiden, sondern auch Energie erzeugen, speichern und Flexibilität bereitstellen; Verkehrsunternehmen und

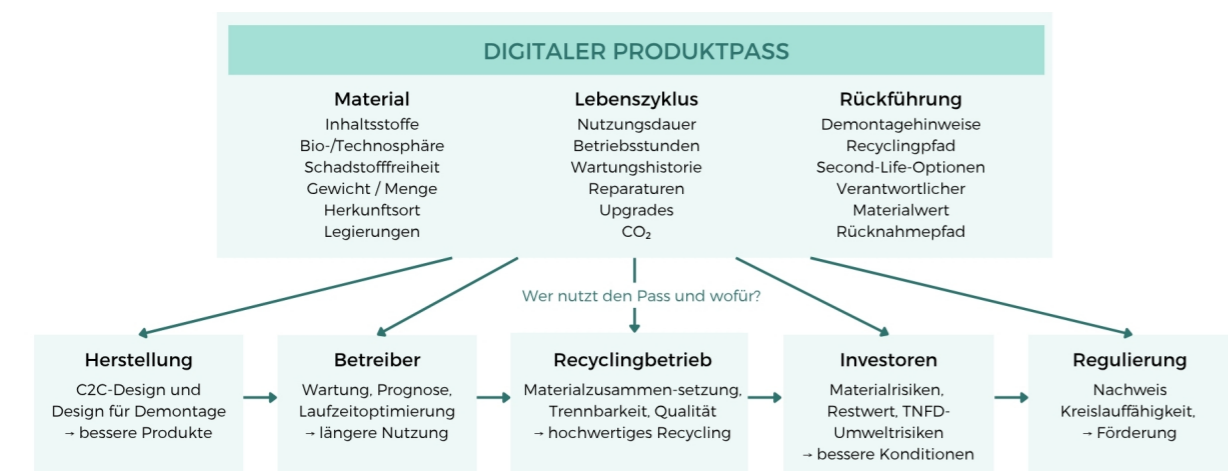


Abb. 7: Digitale Produktpässe als Voraussetzung für C2C-Geschäftsmodelle  
Quelle: Eigene Darstellung, Cradle to Cradle NGO, Berlin 2026.

<sup>30</sup> Biobasierte Materialien stammen aus biologischen, erneuerbaren Quellen (Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen), unabhängig davon, ob sie abbaubar sind. Biologisch abbaubar sind Materialien, wenn sie durch Mikroorganismen in natürliche Grundstoffe (CO<sub>2</sub>, Biomasse, Wasser) zersetzt werden können, unabhängig von ihrer Herkunft. Kompatibel sind Materialien dann, wenn sie beim Rücktritt in die Biosphäre keine schädlichen Stoffe freisetzen und biologische Kreisläufe nicht belasten: entscheidend ist nicht Herkunft oder Abbaubarkeit, sondern die toxikologische Verträglichkeit im Nutzungskontext.  
Vgl.: Braungart, Michael / McDonough, William: Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. North Point Press, 2002.  
European Bioplastics Association: „Biobased and biodegradable plastics – Facts and Figures 2023.“ [www.european-bioplastics.org/market/bioplastics](http://www.european-bioplastics.org/market/bioplastics). Abgerufen am 14. April 2026.  
Otte, J. C. et al.: „Certified biodegradable and biobased materials are targeted enablers for a circular economy.“ Science-Policy Brief, UN SDG Forum, Mai 2022. [sds.un.org/sites/default/files/2022-05/2.4.2-31-Otte-certified%20biodegradable%20materials\\_1.pdf](https://sds.un.org/sites/default/files/2022-05/2.4.2-31-Otte-certified%20biodegradable%20materials_1.pdf). Abgerufen am 14. April 2026.  
<sup>31</sup> Circle Economy Foundation: „Global Circularity Rate Fell to 6.9 % – Despite Growing Recycling.“ 13.05.2025. [www.circularity-gap.world/updates-collection/global-circularity-rate-fell-to-6-9---despite-growing-recycling](https://www.circularity-gap.world/updates-collection/global-circularity-rate-fell-to-6-9---despite-growing-recycling). Abgerufen am 29. März 2026.

Kommunen sehen sich als Kernakteure lokaler Energiewenden (PV-Flächen, Ladehubs, multimodale Knoten) (siehe Anhang).

- Geschäftsmodelle sollen von Einmalverkauf zu Nutzung- und Performance-Logiken wechseln (Sharing, Abos, Pay-per-Use/Performance), bei denen Fahrzeuge und Komponenten als Rohstoffbanken im Eigentum von Herstellern/ Betreibern verbleiben, um hochwertige Kreisläufe zu ermöglichen.
- Sektorkopplung bedeutet, PV-Potenziale auf Depots, Park-and-Ride-Plätzen und Fahrzeugdächern zu nutzen, Fahrzeuge (v. a. Flotten) als flexible Last und Speicher einzusetzen und multimodale Hubs als Knoten für kombinierte Mobilitäts- und Energiedienstleistungen zu entwickeln.
- Geschäftsmodelle brauchen eine explizite Material- und Rohstoffperspektive: Unterscheidung von Gebrauchs- (Technosphäre) und Verbrauchsprodukten (Biosphäre)<sup>32</sup>, kritische

Reflexion großer Batteriespeicher vs. kleinere, kontextbezogene Speicher und Aufbau transparenter Rohstoffbestände via digitaler Produkt- und Materialpässe.

- Langfristige, industrieübergreifende Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette (Mobilität, Energie, Bau/Stadt) sind nötig, um Rücknahme-, Refurbishment- und Re-Use-Strukturen aufzubauen und Flächen, Daten und Materialströme gemeinsam zu planen.
- Digitale Produktpässe und Betriebsdaten schaffen die Grundlage für Kreislaufgeschäftsmodelle, prädiktive Services und die optimierte Nutzung von Flotten, Ladeinfrastruktur und Energie.
- Zentrale Barrieren sind wirtschaftliche Kurzfristorientierung, ein noch nicht auf C2C-kompatible Service-Modelle ausgerichteter Regulierungsrahmen sowie Rebound-Risiken, die bei der Gestaltung von Geschäftsmodellen mitgedacht werden müssen.

### 5.2.3 Regulatorische Rahmenbedingungen

Breakout-Session 3 widmete sich der Frage, wie bestehende Regulierung von reiner Schadensbegrenzung hin zu kreislaforientierter Gestaltung weiterentwickelt werden kann. Ausgangspunkt war die Beobachtung, dass Strom, Wärme und Verkehr regulatorisch meist getrennt gedacht werden und Verkehr überwiegend als Energieverbraucher gilt – nicht als aktiver Teil der Energieinfrastruktur (Speicher, Flexibilität, Erzeugung). Einschlägige EU- und Bundesinstrumente (u. a. Alternative Fuels Infrastructure Regulation, FuelEU Maritime-Verordnung, Nationale Wasserstoffstrategie, Vergaberecht) wurden skizziert: Sie erwähnen Sektorkopplung, reproduzieren in der Praxis aber häufig sektorale Silos und lineare Logiken.

Diskutiert wurden drei große Regulierungsfelder: Infrastruktur, Fahrzeuge/Antriebe und Treibstoffe/Energieträger.

Im Ausschreibungs- und Planungsrecht (öffentlicher Bau/ÖPNV, Schienen- und Hafeninfrastur) sahen die Teilnehmenden einen zentralen Hebel: **Infrastruktur soll explizit als Materiallager definiert werden**, mit Anforderungen an den Einsatz von Sekundärmaterial, an

Kreislauffähigkeit, Demontierbarkeit und definierte Nutzungszyklen sowie einer lebenszyklusorientierten Beschaffung jenseits reiner Investitionskosten.

Auf EU-Ebene und in nationalen Förderprogrammen wird bislang im Bereich Verkehr und Mobilität primär der Antrieb adressiert (Elektrifizierung, Effizienz), weniger Materialqualität und Kreislauffähigkeit der Fahrzeuge und ihrer Komponenten selbst. Gefordert wurde, dass die **Regulierung künftig Materialgesundheit, Modularität und Rücknahmeverpflichtungen einschließt** und nicht nur auf Null-Emission im Betrieb, sondern auf positive Gesamtwirkung zielt, einschließlich Rohstoffabhängigkeiten, Produktionsbedingungen und End-of-Life.

Viele Regelwerke adressieren vor allem Mengen- und Quotenlogiken (z. B. Anteil Erneuerbarer), während Aspekte wie die Qualität der Materialströme in der Branche, Zusammenhänge mit Biodiversitätsthemen, Landnutzung oder sozialen Aspekten kaum vorkommen. Gefordert wurde, die **Qualität von Energieträgern regulatorisch klarer zu definieren** (z. B. regenerativ,

kreislauffähig) statt nur zwischen erneuerbar und fossil zu unterscheiden.

Als Querschnittsthema wurde die **Schlüsselrolle öffentlicher Beschaffung** hervorgehoben: Vergabe- und Haushaltsrecht definieren, welche Technologien skaliert werden, und könnten gezielt genutzt werden, um kreislauffähige Infrastruktur, zirkuläre Service-Modelle und Produktpässe zu bevorzugen und damit anzureizen. Als **Barrieren** wurden die komplexe Rechtslage, Pfadabhängigkeiten, knappe Verwaltungskapazitäten und das Risiko genannt, neue Anforderungen additiv aufzusetzen, statt Regeln grundlegend neu auszurichten.

**Alle drei Breakout-Sessions zu regulatorischen Rahmenbedingungen kamen unabhängig voneinander zu einem ähnlichen Befund:** Einzelne Instrumente – ob für Strom, Wärme oder Verkehr – greifen zu kurz, solange kein übergeordneter Rahmen die drei Sektoren gemeinsam auf Kreislauffähigkeit ausrichtet. Die Systementwicklungsstrategie der Bundesregierung ist als genau solcher Rahmen konzipiert. Ob sie diese Funktion erfüllen kann, hängt davon ab, ob Materialqualitäten und -kreisläufe, Rohstoffresilienz sowie Systemwirksamkeit in ihr verankert werden.

#### ERGEBNISSE

- Verkehr regulatorisch als integralen Bestandteil der Energie- und Materialinfrastruktur definieren, einschließlich seiner Speicher- und Flexibilitätssfunktion, und C2C-Prinzipien explizit in Energie- und Verkehrsgesetzen verankern.
- Infrastrukturrecht um verbindliche Anforderungen an Kreislauffähigkeit, Demontierbarkeit und Materialgesundheit ergänzen sowie Lebenszykluskriterien (Total Cost of Ownership, Re-Use-Quoten, Zweitnutzung) in Planung und Zulassung verankern.

- Öffentliche Beschaffung so anpassen, dass C2C-Kriterien, zirkuläre Geschäftsmodelle und Materialpässe als zulässige, gewichtete Zuschlagskriterien gelten, und hierzu Leitfäden/Standardkataloge für Fahrzeuge, Infrastruktur und Bauleistungen bereitstellen.
- Produkt- und Batterieregulierung so weiterentwickeln, dass Modularität, Reparierbarkeit, Rücknahme und hochwertige Wiederverwendung verbindlich werden und kritische Rohstoffe über strengere Sorgfalts-, Design- und Recyclingvorgaben adressiert werden.
- Für Wasserstoff, E-Fuels, Biomasse u. a. neben Mengenquoten C2C-konforme Qualitätskriterien (Herkunft, Landnutzung, Nebenprodukte, Materialketten) einführen, um Klima-, Biodiversitäts- und Ressourcenschutzziele gemeinsam zu adressieren.
- Produktpässe mit Mindestinhalten und standardisierten Schnittstellen so auslegen, dass Daten verbindlich in Vergabe, Regulierung und Geschäftsmodelle einfließen – etwa als Fördervoraussetzung oder Bewertungsgrundlage in Ausschreibungen.
- Intersektorale Koordinationsstrukturen (Energie, Verkehr, Bau, Digitales) stärken, Kapazitäten in Verwaltungen für C2C-Vergabe und Lebenszyklus-Bewertung ausbauen und regulatorische Testfelder schaffen, in denen alternative Wirtschaftlichkeitslogiken und C2C-Lösungen praktisch erprobt und ausgewertet werden.

<sup>32</sup> Als Biosphäre wird die Gesamtheit aller Lebensräume von Organismen auf der Erde bezeichnet. Wir Menschen haben innerhalb der Biosphäre technische Kreisläufe geschaffen: die Technosphäre. Produkte und Materialien, die in die Biosphäre gelangen, müssen biologisch abbaubar sein. Alle Produkte und Materialien, die nicht biologisch abbaubar sind, dürfen ausschließlich in der Technosphäre zirkulieren. Produkte, die aus biologisch abbaubaren und nicht biologisch abbaubaren Materialien bestehen, müssen so designt und hergestellt sein, dass sich die unterschiedlichen Materialien rückstandslos trennen lassen und innerhalb ihrer jeweiligen Sphären zirkulieren können. Produkte der Biosphäre können auch so designt sein, dass sie mehrmals im technischen Kreislauf verwendet werden, bevor sie abgebaut oder wieder der Biosphäre zugeführt werden.

## Botschaften, Bildung und Allianzen für ein C2C-Energiesystem

# 06

### 6.1 WOVON WIR SPRECHEN: C2C ALS KOMMUNIKATIONSAUFGABE

Die Umsetzung eines zukunftsfähigen Energiesystems ist nicht nur eine technische oder regulatorische Aufgabe. **Auch wie wir über Energie sprechen, beeinflusst, wie sie geplant, gebaut und bewertet wird.** Im öffentlichen Diskurs wird die Energiewende vor allem als **Kostenfaktor** diskutiert. Sie wird oft als reine Belastung für Wirtschaft und Haushalte oder als rein ökologisches Projekt dargestellt und nicht als das, was sie tatsächlich ist: eine **strukturelle Chance für Versorgungssicherheit, Preisstabilität und wirtschaftliche Resilienz.**

Die **Akzeptanz der Bevölkerung für die Energiewende ist weiter hoch** und erneuerbare Technologien genießen breite Zustimmung.<sup>33 34</sup> Das Verständnis für die Notwendigkeit einer zirkulären Energiewende kann noch weiter steigen, wenn die damit verbundenen Chancen klar benannt und aktiv kommuniziert werden.

Denn im heutigen öffentlichen Diskurs bleiben zentrale Aspekte oft unsichtbar: die realen Kosten unseres Umgangs mit endlichen Ressourcen, die Abhängigkeit von globalen Lieferketten, die volkswirtschaftlichen Risiken durch volatile Energie- und Materialpreise und die ökonomischen Potenziale zirkulärer Energiesysteme.

Der Mehrwert eines Energiesystems, das Materialien im Kreislauf führt, Rohstoffe sichert und

regionale Wertschöpfung stärkt, wird bislang kaum als strategischer Wettbewerbsvorteil hervorgehoben. An diesem Punkt setzte die Diskussion über Kommunikation, Bildung und Narrative mit den Teilnehmenden der Roundtable im Rahmen dieses Projekts an.

C2C ist ein ganzheitlicher Designansatz mit klaren Kriterien und lässt sich auf jede Branche und jedes Produkt anwenden. Das bedeutet zugleich, dass die Systemgrenzen in der Diskussion um C2C und Energie notwendigerweise fließend sind. Wer Energieinfrastruktur kreislauffähig denkt, denkt auch über Schienen und Fahrzeugstrukturen nach, über Gebäudehüllen und Leitungsnetze – auch dort, wo der direkte Energiebezug nicht auf den ersten Blick sichtbar ist. Diese Breite ist Stärke und Kommunikationsherausforderung zugleich: **C2C im Energiebereich lässt sich nicht auf einen einzigen Sektor verengen.**

Wirksame Kommunikation über die Notwendigkeit einer Energiewende nach C2C adressiert daher auch unterschiedliche Zielgruppen: Unternehmen der Energie- und Zulieferbranche, Politik und Verwaltung, Kommunen, NGOs und Wissenschaft sowie Endnutzer\*innen. Im **Wärmesektor** sind zusätzlich Handwerk, Stadtwerke und Betreiber öffentlicher Gebäude besonders relevant. Im Bereich **Verkehr** sind die Fahrzeughersteller und ihre Zulieferkette angesprochen, speziell im

Bereich Elektrifizierung. All diese Akteur\*innen bewegen sich im Spannungsfeld von Kosten, Regulierung, Versorgungssicherheit und Akzeptanz.

Ein C2C-Energiesystem ist nicht nur ein technisches oder wirtschaftliches Projekt, sondern auch eine **Frage der Teilhabe.** Bürger\*innen profitieren konkret: durch lokale Strom- und Wärmenetze, die Energie im Quartier halten und Abhängigkeiten von volatilen Importpreisen reduzieren;

durch Beteiligungsmodelle, die Mitsprache und wirtschaftliche Teilhabe ermöglichen; und durch Infrastrukturen, die aus gesunden Materialien bestehen und keine Schadstoffe in Luft, Boden und Wasser freisetzen. Wer C2C-Lösungen kommuniziert, sollte diese **direkte Verbindung zwischen einer Energieinfrastruktur mit Mehrwert und einer höheren Lebensqualität** sichtbar machen. Sie ist eines der stärksten Argumente für eine breite gesellschaftliche Akzeptanz.

### 6.2 NARRATIVE UND BOTSCHAFTEN: VON KOSTEN ZU QUALITÄT UND SYSTEMWERT

Ein Energiesystem nach C2C zeichnet sich nicht durch Verzicht aus, sondern durch Qualität und Wert. Statt ausschließlich über CO<sub>2</sub>-Reduktion oder Effizienz zu sprechen, rückt die Systemqualität in den Mittelpunkt. Damit entsteht ein anderes Bild des Energiesektors: Energieanlagen sind Rohstofflager von morgen. Was heute auf dem Dach, im Boden, in der Batterie oder im Netz verbaut wird, bleibt als Materialwert erhalten, statt später Kosten für Entsorgung und Neubeschaffung zu verursachen. Dazu kommt ein häufig übersehener Zusammenhang: **Wer Materialien hochwertig recycelt und wiederverwendet, entlastet das Energiesystem direkt.** Die Neugewinnung und Herstellung von Rohstoffen wie Aluminium, Stahl, Silizium oder Kupfer ist energieintensiv. Jede Tonne, die im technischen Kreislauf bleibt, spart Primärenergie und reduziert Importabhängigkeiten. Kreislaufwirtschaft ist damit nicht nur ökologisch sinnvoll, sondern ein struktureller Hebel für Energiesicherheit.

Auch ökonomisch verschiebt sich die Perspektive: Nicht der kurzfristige Investitionspreis entscheidet, sondern die Qualität eines Systems über den gesamten Nutzungszyklus. Zirkuläre Energiesysteme reduzieren Importabhängigkeit, sichern Materialien und schaffen neue Kooperations- und Geschäftsmodelle. Sie sind damit **kein Hemmnis für erfolgreiches Wirtschaften, sondern Grundlage** dafür.

Gleichzeitig verändert sich der gesellschaftliche Diskurs. Neben Klimaschutz treten Fragen von

Sicherheit, Preisstabilität und Resilienz stärker in den Vordergrund. Ein tragfähiges Narrativ verbindet diese Aspekte: **Energie in Kreisläufen erhöht wirtschaftliche Stabilität und reduziert systemische Risiken.**

Ein entscheidender Hebel für die Wirksamkeit der in den drei Roundtable diskutierten Maßnahmen liegt den Diskutierenden zufolge in der **Sichtbarmachung von Materialkreisläufen.** Bei vielen Produkten und Infrastrukturen ist speziell für Endkund\*innen unklar, was damit am Nutzungsende geschieht. Es braucht also verständliche und standardisierte Hinweise beispielsweise zur Frage, wie Wärmepumpen, Speicher oder Rohrleitungen zurückgeführt werden oder welche Wege PV-Module, Batterien oder Wechselrichter nach der Nutzung nehmen. Und letztlich auch eine Einschätzung, ob diese Wege bisher zielführend für eine Kreislaufwirtschaft sind.

Der Fokus verschiebt sich bei der Kommunikation eines C2C-Energiesystems von der Entsorgung zur Rückgabe und Weiterverwendung: Materialien bleiben im System und behalten ihren Wert, daraus entstehen unterschiedliche Vorteile für Mensch, Umwelt und Wirtschaft. Diese nach außen kommunizierte **Differenzierung schafft Sachlichkeit bei Speicher-, Netz- oder Wärmetechnologien und verhindert verkürzte Debatten.**

<sup>33</sup> KfW Research: „KfW-Energiewendebarmometer 2025.“ KfW Bankengruppe, Oktober 2025. [www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-KfW-Energiewendebarmometer/KfW-Energiewendebarmometer-2025.pdf](http://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-KfW-Energiewendebarmometer/KfW-Energiewendebarmometer-2025.pdf). Abgerufen am 17. April 2026.

<sup>34</sup> E.ON Foundation: „Im Klimaschutz geeint: Einstellungen zur Energiewende in Europa.“ European Survey 2025. E.ON Foundation gGmbH, August 2025. [www.eon-foundation.com/de/insights/european-survey-2025.html](http://www.eon-foundation.com/de/insights/european-survey-2025.html). Abgerufen am 17. April 2026.

## 6.3 STRUKTURELLE HEBEL: BILDUNG, ALLIANZEN UND SICHTBARE PRAXIS

Der Aufbau eines zukunftsfähigen Energiesektors sollte nicht nur kommunikativ anders diskutiert werden. Auch in der Bildung sollten die in den Roundtable besprochenen Themen verankert werden (siehe Abb. 8). Dazu gehören den Teilnehmenden zufolge:

- **Frühe Bildung:** Kinder erleben Kreisläufe praktisch und intuitiv. Gebäude können zu Lernorten werden, die Energie- und Materialflüsse sichtbar machen.
- **Schule und Hochschule:** C2C-Prinzipien werden als Querschnittsthema in Disziplinen wie Architektur, Maschinenbau, Energietechnik, Design, Wirtschaft, Politik und Versorgungswirtschaft integriert.
- **Berufliche Aus- und Weiterbildung:** Planer\*innen, Ingenieur\*innen, Verwaltung und das Handwerk benötigen Qualifizierungen zu kreislauffähigem Design, Reparaturfähigkeit, modularer Planung, Rückbau und hochwertiger Materialführung. Die Wirtschaft kann dazu über interne Fort- und Weiterbildungsprogramme entscheidend beitragen. Da damit direkt in die Qualifizierung von Fachkräften investiert wird, wäre eine Förderung durch die Bundesagentur für Arbeit sinnvoll, auch im Rahmen der Förderung bei Arbeitslosigkeit.

Kommunikation und positive Narrative entfalten eine besonders starke Wirkung, wenn sie von den

relevanten Akteur\*innen gemeinsam in **Allianzen und sichtbaren Kooperationen** vorangetrieben werden.

Versorger, Kommunen, Hersteller, Bildungseinrichtungen, Wissenschaft und Zivilgesellschaft sollten daher den Teilnehmenden zufolge gemeinsam Standards für Qualitätskriterien für Energieinfrastruktur entwickeln, wirtschaftliche Potenziale sichtbar machen und konkrete Projekte in die Öffentlichkeit tragen. Leuchtturmprojekte spielen dabei eine zentrale Rolle. Kreislauffähige PV-Anlagen, Quartierslösungen oder Wärmenetze mit klarer Rücknahmelogik zeigen, dass Kreislauffähigkeit wirtschaftlich tragfähig ist.

Die Roundtable-Teilnehmenden haben wiederholt betont, dass kreislauffähige Energielösungen heute nicht am fehlenden technischen Wissen scheitern, sondern an den Rahmenbedingungen, die ihre wirtschaftlichen Vorteile nicht sichtbar machen. Das liegt demnach auch daran, dass **diese Vorteile in übergeordneten Planungsprozessen bisher nicht adressiert** werden: Wer Kreislauffähigkeit als Kostenstabilitäts- und Resilienzfaktor belegen kann, bringt das stärkste Argument mit, um die Systementwicklungsstrategie der Bundesregierung um diese Dimension zu erweitern.

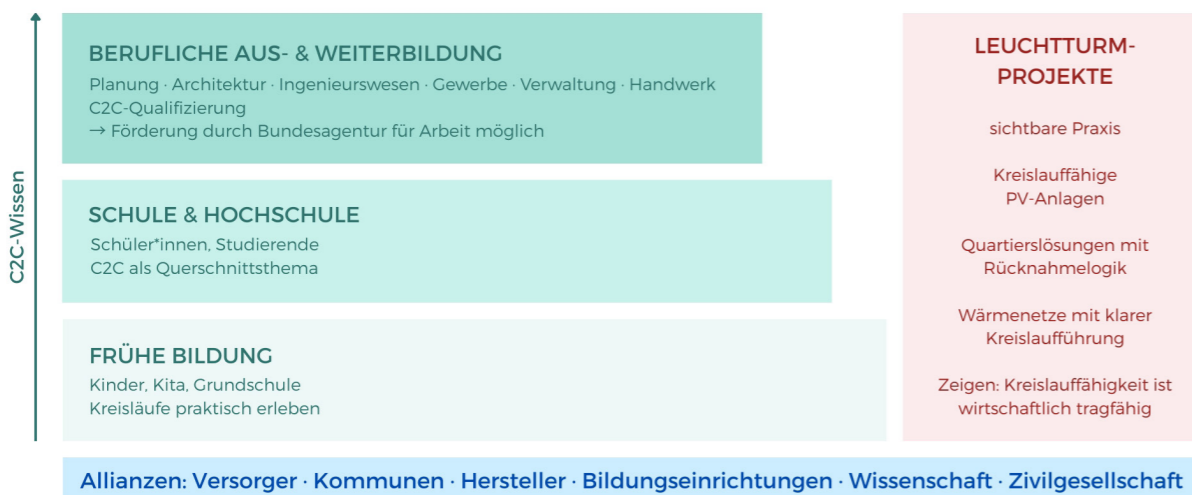


Abb 8: Bildung, Allianzen und Kommunikation als strukturelle Hebel  
Quelle: Eigene Darstellung, Cradle to Cradle NGO, Berlin 2026.

## Handlungsempfehlungen

# 07

Die Ergebnisse der drei Roundtable sowie weiterführender Gespräche mit Expert\*innen zeigen, dass ein C2C-Energiesystem nur dann entsteht, wenn Materialgesundheit, Kreislauffähigkeit, Geschäftsmodelle und Regulierung über alle Infrastrukturen hinweg gemeinsam gedacht werden. Die folgenden **Empfehlungen richten sich an Politik, Kommunen, Unternehmen und Energie- sowie Verkehrsakteure**. Sie wurden von Cradle to Cradle NGO auf Grundlage der Roundtable-Diskussionen erarbeitet. Sie spiegeln die Auswertung der eingebrachten Impulse und Perspektiven wider und sind keine offiziellen Positionen der teilnehmenden Unternehmen und Institutionen.

In den Diskussionen haben sich zwei Hebel herauskristallisiert, denen die Teilnehmenden ein hohes Wirkungspotenzial zugeschrieben haben. Auf wirtschaftlicher Seite eine kreislauffähige und standardisierte Speicherzelle, auf politischer Seite die Erweiterung der Systementwicklungsstrategie um Materialkreisläufe. Beide werden am Ende dieses Kapitels gesondert ausgeführt.

Die Empfehlungen bewegen sich bewusst auf zwei Ebenen: C2C ist ein Systemansatz, der die Grundlogik von Planung und Produktion verändert und nicht nur einzelne Prozesse optimiert. Gleichzeitig zeigen die Diskussionen, dass entscheidende Weichen bereits heute gestellt werden: in laufenden Gesetzgebungsprozessen, in Investitionsentscheidungen, in der kommunalen Planung. **Die Empfehlungen benennen deshalb sowohl das Zielbild als auch die nächsten realistischen Schritte**. Nicht als Widerspruch, sondern als zwei Seiten derselben Entwicklung.

### 1. C2C ALS DESIGNSTANDARD FÜR ENERGIE-, WÄRME- UND VERKEHRSINFRASTRUKTUR VERANKERN

- Energie-, Wärme- und Verkehrsanlagen nicht nur als Infrastruktursysteme planen, sondern als Rohstoffsysteme, aus denen wertvolle Materialien am Nutzungsende hochwertig zurückgewonnen werden können.
- Materialien konsequent als Nährstoffe planen (klare Zuordnung zur Bio- oder Technosphäre, siehe Kapitel 2), mit Designprinzipien wie Modularität, Demontierbarkeit, Reparierbarkeit, dokumentierten Materialien und definierten Lebensdauern, damit Komponenten gezielt im Kreislauf geführt werden können.
- Problematische Stoffe nicht pauschal verbieten, sondern über Nutzungsszenarien steuern (Exposition vs. geschlossener technischer Kreislauf) und Rückführungs- und Rücknahmepfade von Anfang an mitdenken.
- Produkt- und Materialpässe für zentrale Infrastrukturkomponenten einführen, um Rückbau, Remanufacturing und hochwertige Recyclingpfade zu ermöglichen.
- Dematerialisierung als Designprinzip verankern: einfache, leichte Systeme bevorzugen, passive Speicherfunktionen (Gebäudemasse, Erdreich) und niedertemperaturbasierte Speichersysteme (salzbasierte Speicher, Aquifere) nutzen sowie überflüssige Technik und Doppelstrukturen in Strom-, Wärme- und Mobilitätsinfrastruktur abbauen.
- Biogene Ressourcen zuerst stofflich nutzen und erst am Lebensende energetisch verwerten; regionale Reststoffkonzepte (Kompost, Biogas, Pyrolyse) gegenüber Fernimport-Biomasse wie Pellets bevorzugen.

**2. GESCHÄFTSMODELLE AUF NUTZUNG, KREISLÄUFE UND MULTIMODALE MOBILITÄT AUSRICHTEN**

- Von Produktverkauf zu Nutzungs- und Service-Modellen wechseln (z. B. PV und Speicher als Dienstleistung, Energie-, Wärme- und Mobilität-as-a-Service, Contracting, Mietmodelle für Anlagen), damit Materialien im Verantwortungsbereich professioneller Anbieter bleiben.
- Materialqualität, Reparaturfähigkeit, Rücknahme, Second-Life und Recyclingpfade vertraglich fest verankern und Kreislaufführung als regulären Wertschöpfungsbaustein etablieren.
- Digitale Produktpässe und Materialkonten nutzen, um Kreislaufführung und Verantwortlichkeiten über den gesamten Lebenszyklus transparent zu machen.

**3. REGULIERUNG UND ANREIZE AUF LEBENSZYKLEN UND ZIRKULARITÄT AUSRICHTEN**

- Energiewirtschafts-, Steuer- und Netzentgeltregime so anpassen, dass lokale Energiegemeinschaften, Quartierslösungen, Speicher und Netze rechtssicher und wirtschaftlich attraktiv betrieben werden können.
- Förder- und Rechtslogik stärker auf Lebenszyklus- und Systemperspektiven ausrichten, damit kreislauffähige Infrastruktur gegenüber im Anschaffungspreis günstigeren Alternativen nicht systematisch benachteiligt wird.
- Qualitative Anforderungen an Infrastrukturmaterialien (kreislauffähiges Design, materialgesund im Nutzungsszenario, Recyclingfähigkeit, Produktpässe, Datenqualität) in EU- und nationales Recht integrieren.
- CO<sub>2</sub>-Preise und den Abbau von Subventionen für veraltete lineare Systeme so gestalten, dass die tatsächlichen Gesamtkosten fossiler Infrastruktur – einschließlich Gesundheits-, Umwelt- und Entsorgungskosten – vollständiger in Preisen abgebildet werden.
- Beteiligungsmodelle (Bürgerenergie, Energiegenossenschaften, kommunale Beteiligungsfonds) ausbauen, damit Bürger\*innen nicht nur Nutzende, sondern wirtschaftlich Beteiligte an lokalen Energie-, Wärme- und Mobilitätslösungen werden. Das schafft einen konkreten Mehrwert für Gesundheit, Lebensqualität und regionale Resilienz.
- Fördermittel gezielt und langfristig planbar auf zirkuläre Netze, Geothermie, Abwärmeer-schließung und hochwertige C2C-Anlagen ausrichten.

- Die diskutierte Anpassung der Regelungen zur Wärmelieferverordnung und der Kostenneutralität nach Paragraph 556c des Bürgerlichen Gesetzbuches so gestalten, dass die Kostenneutralitätslogik von kurzfristigen Preisvergleichen auf eine Gesamtkostenbetrachtung während der Lebensdauer umgestellt wird. Die heutige Regelung blendet die langfristigen Kosten fossiler Infrastruktur für Gesundheit, Umwelt und künftige Entsorgung strukturell aus und benachteiligt damit Wärmelösungen, die langfristig die wirtschaftlich belastbare Wahl sind. Eine Abbildung dieser Gesamtkostenlogik stärkt Investitionssicherheit und ist zugleich konsistent mit dem Ziel bezahlbarer Wärmepreise auf lange Sicht.

**4. SYSTEMISCH UND KOMMUNAL PLANEN: LOKAL KOPPELN, SEKTORKOPPLUNG STÄRKEN**

- Erzeugung, Speicherung und Verbrauch räumlich und zeitlich koppeln (Quartiersansätze, Mikronetze, lokale Märkte), um Abregelung, Überdimensionierung und Materialaufwand zu vermeiden.
- Lokale Quellen wie Geothermie, Abwärme (Rechenzentren, Industrie, Abwasser, Kompostierung), Seewärme, solares Umfeld und biogene Reststoffe systematisch erschließen und mit Strom- und Verkehrsinfrastruktur koppeln.
- Verkehrsflächen und Parkräume multifunktional gestalten (PV-Überdachungen, Ladeinfrastruktur, Regenwassermanagement, Begrünung), sodass Energiegewinnung, Kühlung, Flächenentsiegelung und Aufenthaltsqualität zusammen gedacht werden.
- Kommunale Wärme- und Energieplanung als zentrales Steuerungsinstrument stärken und um integrierte Verkehrsplanung ergänzen, sodass Treibhausgasquellen und -senken, Netze, Depots, Ladehubs und ÖPNV-Knoten räumlich zusammengebracht werden.
- Kommunen befähigen, in Ausschreibungen C2C- und Zirkularitätskriterien vorzuschreiben und Best-Practice-Austausch strukturell zu verankern.
- Regionale Steuerungs- und Kooperationsstrukturen zwischen Energieversorgern, Stadtwerken, Verkehrsbetrieben, Wohnungswirtschaft und Industrie aufbauen, um sektorübergreifende Projekte zu entwickeln.

**5. BILDUNG UND QUALIFIZIERUNG ÜBER ALLE EBENEN AUSBAUEN**

- C2C-Design, Kreislaufprinzipien, Demontage und Rückbau als verbindliche Lernziele in Ausbildungs- und Studiengänge der relevanten Disziplinen aufnehmen, von Architektur und Ingenieurwesen über das Handwerk bis zur kommunalen Verwaltung, Wirtschaft und Politik.
- Geförderte spezifische Weiterbildungsformate für Fachkräfte in Planung, Bau, Betrieb und Rückbau von Energie-, Wärme- und Verkehrsinfrastruktur aufsetzen, zielgruppenspezifisch und über die Bundesagentur für Arbeit zugänglich.
- Berufsgruppen mit direktem Einfluss auf Infrastrukturentscheidungen, wie Planungsbüros, Kommunalverwaltungen, Stadtwerke oder Verkehrsunternehmen, systematisch für kreislauffähiges Design und zugehörige Geschäftsmodelle qualifizieren und als Multiplikator\*innen einbinden.

**6. POSITIV KOMMUNIZIEREN, ALLIANZEN AUFBAUEN UND SICHTBARE PRAXIS SCHAFFEN**

- Mehrwert von C2C-Energie-, Wärme- und Verkehrslösungen kommunizieren: niedrigere Lebenszykluskosten, Rohstoffsicherheit, Kostenstabilität, lokale Wertschöpfung, gesunde Materialien, bessere Aufenthaltsqualität – statt nur über Verzicht und CO<sub>2</sub>-Reduktion zu sprechen.
- Komplexe Systemzusammenhänge so übersetzen, dass der konkrete Nutzen im Alltag erlebbar wird (z. B. „Wärme und Strom bleiben im Quartier“, „Parkplätze werden zu Energiefeldern“).
- Hersteller, Versorger, Kommunen, Wohnungswirtschaft, Verkehrsunternehmen, Industrie, Verbände und Zivilgesellschaft in dauerhafte Allianzen einbinden, um gemeinsame Standards für C2C-Design, Rücknahme sowie Daten- und Dokumentationsqualität zu entwickeln.
- Sichtbare Leuchtturmprojekte für zirkuläre Energie-, Wärme- und Verkehrslösungen aufsetzen und aktiv kommunizieren. Sie zeigen, dass Kreislauffähigkeit wirtschaftlich tragfähig ist und machen Kommunikation zu einem Teil von Planung, Beschaffung und Umsetzung.
- Erfolgreiche Praxisbeispiele in verständliche Geschichten übersetzen, die unterschiedliche

Zielgruppen adressieren (Bürger\*innen, Kommunalpolitik, Unternehmen, Fachöffentlichkeit).

Die folgenden beiden Empfehlungen haben sich in den Diskussionen der drei Roundtable besonders deutlich herauskristallisiert, weil sie den stärksten systemischen Hebel auf wirtschaftlicher bzw. politischer Seite darstellen.

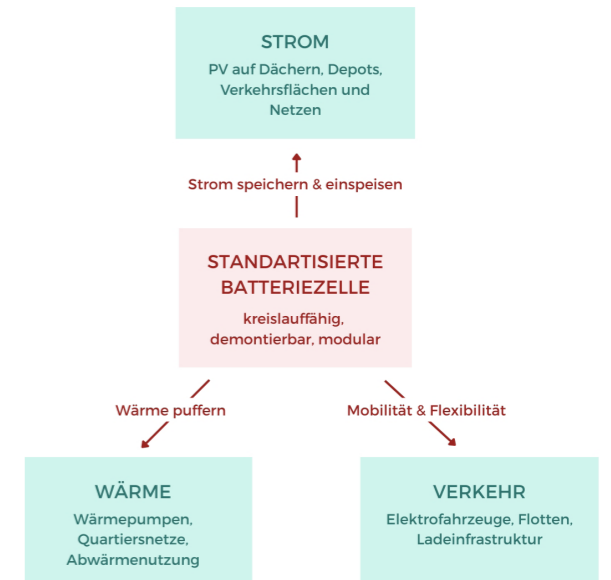


Abb. 9: Die standardisierte Zelle als systemischer Hebel für Strom, Wärme und Verkehr  
Quelle: Eigene Darstellung. Cradle to Cradle NGO, Berlin 2026.

**7. BATTERIEZELLE ALS SYSTEMISCHER HEBEL FÜR EIN C2C-ENERGIESYSTEM**

Energiespeicherung ist ein zentraler Punkt in der Energiedebatte: Batterien bilden einen großen Teil der Wertschöpfung und Materialmasse elektrischer Fahrzeuge und gleichzeitig wächst der Bedarf an stationären Speichern in Quartieren, Depots und Netzen. Das zentrale Hindernis für kreislauffähige Nutzung über den Fahrzeugeinsatz hinaus ist die fehlende Standardisierung: Jeder Hersteller nutzt eigene Formate, was Demontage, Second-Life-Nutzung und Recycling zu Einzellösungen macht, die höhere Kosten mit sich bringen und kaum skalierbar sind.

Die beiden im Anhang beschriebenen Beispiele CATL und PowerCo belegen das technische Potenzial und zeigen, dass Standardisierung funktioniert. Sie müssen konsequent weitergedacht werden: ein Standard, der Kreislaufführung und Materialgesundheit als Designkriterien

verankert und Rohstoffresilienz, Sektorkopplung und wirtschaftliche Attraktivität zusammenbringt, statt sie gegeneinander auszuspielen.

- Standardisierung erleichtert Design for Disassembly (Design für Demontage), Reparatur, Second-Life-Nutzung und hochwertige Kreislaufführung der Bestandteile, weil Demontageprozesse, Ersatzteile und Recyclinglinien nicht für unzählige Zellvarianten ausgelegt werden müssen.
- In Verbindung mit Batterietausch-Systemen könnte eine standardisierte Batteriezelle Eigentum, Verantwortung und Risiko verschieben: Nutzende kaufen Energie oder Mobilität, während Betreiber die Zellen im Kreislauf halten und so einen starken Anreiz zu robustem, kreislauffähigem Design haben.
- Kombiniert mit PV auf Dächern, Depots und Verkehrsflächen sowie Wärmepumpen und Abwärmenutzung kann eine solche standardisierte Einheitszelle zur gemeinsamen Wahrung werden, die Energieflüsse zwischen Verkehr, Strom und Wärme im Quartier puffert.

### 8. DIE SYSTEMENTWICKLUNGSSTRATEGIE UM MATERIALKREISLÄUFE UND ROHSTOFFRESILIENZ ERWEITERN

In allen drei Roundtable kam die Diskussion an denselben Punkt: Die großen Hebel für ein zukunftsfähiges Energiesystem liegen nicht nur in der Wahl der Energiequelle, sondern in der Art, wie Infrastruktur geplant, gebaut und am Ende ihrer Nutzung behandelt wird. Wer heute Anlagen baut, die nicht kreislauffähig sind, erzeugt Rohstoffabhängigkeiten und Entsorgungskosten, die morgen teuer werden und die in keiner aktuellen Wirtschaftlichkeitsrechnung auftauchen.

Die Systementwicklungsstrategie (SES) der Bundesregierung soll als sektorübergreifendes Planungsinstrument Strom, Wärme und Verkehr gemeinsam koordinieren. Sie hat damit das Potenzial, die in den Roundtable identifizierten Hebel strukturell zu verankern. Aus den Ergebnissen der drei Roundtable lassen sich konkrete Erweiterungen ableiten:

- Energieinfrastruktur als Rohstofflager planen: PV-Module, Speicher, Wärmenetze und Fahrzeuge binden erhebliche Mengen an Rohstoffen. Wer sie kreislauffähig plant, senkt zukünftige Beschaffungskosten und reduziert Importabhängigkeiten. Beide Ziele verfolgt die SES in ihrer heutigen Form bei Energieträgern, bei Materialien aber nicht.
- Rohstoffresilienz neben Energieversorgungssicherheit stellen: Kreislaufführung ist strukturelle Risikovorsorge und sollte als solche in der SES verankert sein.
- Nutzungszykluskosten zum Planungsmaßstab machen: Infrastruktur, die entsorgt werden muss, ist teurer als kreislauffähige Infrastruktur mit konstanten Materialwerten. Die SES sollte Lebenszykluskosten und Materialwerterhalt als Standardgrößen in Szenarien und Planungsrahmen aufnehmen.
- Dezentralität und Sektorkopplung als Kostenreduktion ausweisen: Lokale Kreisläufe, Quartierslösungen und die Kopplung von Strom, Wärme und Verkehr reduzieren Systemverluste und Infrastrukturaufwand. Die SES sollte diese Strukturen als integralen Bestandteil eines kosteneffizienten Gesamtsystems ausweisen.
- Digitale Produktpässe als Steuerungsinstrument einsetzen: Materialinventare der Energieinfrastruktur sind die Voraussetzung dafür, dass Rohstoffe nach der Nutzung wirtschaftlich im Kreislauf geführt werden können. Produktpässe sollten in der SES als Planungsgrundlage verankert werden.
- Die nächste Überarbeitung der SES ist das konkrete Zeitfenster, um diese Erweiterungen einzubringen. Unternehmen, Kommunen und Verbände, die heute bereits kreislauffähige Energielösungen umsetzen, haben dabei die stärksten Argumente, weil sie belegen können, dass C2C-Infrastruktur langfristig die wirtschaftlich belastbare Wahl ist.

## Anhang

Die Beispiele in dieser Publikation verankern die Diskussion in praktischen Ansätzen, die zentrale Aspekte kreislauffähigen und C2C-Denkens illustrieren und verdeutlichen, dass kreislauffähige Lösungen für den Energiesektor heute bereits existieren. Alle drei durchgeführten Roundtable waren ähnlich aufgebaut. Sie enthielten eine Einführung in die C2C-Perspektive auf den

jeweiligen Sektor, die Vorstellung von Praxisbeispielen als Diskussionsgrundlage (durch C2C NGO, externe Referierende sowie im Rahmen der Diskussionen selbst), vertiefende Breakout-Sessions zu den zentralen Leitfragen und eine abschließende Ergebniszusammenfassung im Plenum. Weitere Praxisbeispiele wurden aus Recherchen für die Roundtable ergänzt.

## PRAXISBEISPIELE STROM

**C2C-MASTEN IN DER PRAXIS:** Norsk Hydro ASA überträgt das Prinzip des technischen Kreislaufs auf Infrastrukturkomponenten. Der norwegische Konzern produziert Aluminiummasten für Beleuchtung und Verkehrsinfrastruktur sowie Unterkonstruktionen für Solarparks. Die Licht- und Verkehrsmasten sind nach Cradle to Cradle designt und entsprechend zertifiziert.<sup>35</sup> Gebrauchte Aluminiummasten werden eingesammelt, vollständig getrennt und zu neuen Produkten verarbeitet. Dieses Modell überträgt Hydro nun auf Solarpark-Unterkonstruktionen. Die Komponenten haben eine technische Lebensdauer von bis zu 60 Jahren und der wirtschaftliche Restwert des Materials macht auch hier die Rücknahme finanziell attraktiv.<sup>36</sup>

**WINDKRAFT OHNE FUNDAMENT:** TwingTec, ein Spin-off der Schweizer Eidgenössischen

Materialprüfungs- und Forschungsanstalt hat einen autonomen Energiedrachen mit 100 Kilowatt Leistung entwickelt, der in bis zu 500 Metern Höhe Winde nutzt, die für konventionelle Windräder nicht erreichbar sind. Der erzeugte Strom wird über ein Zugseil zu einer mobilen Bodenstation geleitet.<sup>37</sup> Das System kann damit in netzfernen Regionen oder abgelegenen Industriestandorten zum Einsatz kommen.<sup>38</sup> Der Materialeinsatz ist nach Unternehmensangaben zwar rund ein Zehntel geringer als bei konventionellen Windkraftanlagen. Allerdings kommen auch in diesem System Faserverbundwerkstoffe zum Einsatz, die kaum oder nicht recycelbar<sup>39</sup> sind. Das Beispiel ist durch den Ansatz der Dezentralität also durchaus eine systemische Innovation, verdeutlicht aber auch den zentralen Entwicklungsbedarf bei der Materialität von Energieinfrastruktur.

<sup>35</sup> Hydro: „Langlebigere Lichtmasten aus Aluminium.“ [www.hydro.com/de-BE/global/about-hydro/hydro-locations-worldwide/europe/niederlande/drunen/pole-products/langlegigere-lichtmasten-aus-aluminium](http://www.hydro.com/de-BE/global/about-hydro/hydro-locations-worldwide/europe/niederlande/drunen/pole-products/langlegigere-lichtmasten-aus-aluminium). Abgerufen am 17. April 2026.

<sup>36</sup> Hydro: „Mit Aluminium zu einer kreislauffähigen Solarindustrie.“ [www.hydro.com/de-BE/global/about-hydro/stories-by-hydro/mit-aluminium-zu-einer-kreislauffahigen-solarindustrie](http://www.hydro.com/de-BE/global/about-hydro/stories-by-hydro/mit-aluminium-zu-einer-kreislauffahigen-solarindustrie). Abgerufen am 17. April 2026.

<sup>37</sup> Albat, Daniela: Ein Flugdrache liefert Strom, in: [scinexx.de](http://scinexx.de), 02.10.2019. [www.scinexx.de/news/energie/ein-flugdrache-liefert-strom](http://www.scinexx.de/news/energie/ein-flugdrache-liefert-strom). Abgerufen am 11. Mai 2026.

<sup>38</sup> Edison Media: „Das fliegende Kraftwerk.“ [edison.media/ertraeumen/das-fliegende-kraftwerk/24677412.html](http://edison.media/ertraeumen/das-fliegende-kraftwerk/24677412.html). Abgerufen am 17. April 2026.

<sup>39</sup> KEM Konstruktion|Automation: „GFK/CFK-Recycling: Viele Ansätze, (noch) keine Lösung.“ 3. Februar 2026. [kem.industrie.de/werkstoffe/gfk-cfk-recycling-viele-ansaezte-noch-keine-loesung](http://kem.industrie.de/werkstoffe/gfk-cfk-recycling-viele-ansaezte-noch-keine-loesung). Abgerufen am 17. April 2026.

**BESTEHENDE INFRASTRUKTUR ALS ENERGIE-**

**TRÄGER NACHRÜSTEN:** Zwei Ansätze zeigen, wie vorhandene Lichtmasten ohne Austausch zu dezentralen Energieerzeugern werden können. Das US-Unternehmen EnGoPlanet montiert modulare Solarmodule als Manschette auf bestehende Lichtmasten.<sup>40</sup> Das britische Unternehmen Alpha 311 verfolgt dasselbe Prinzip mit Kleinwindturbinen, die zusätzlich den Fahrtwind vorbeifahrender Fahrzeuge nutzen und den Strom über die bereits vorhandene Verkabelung der Lichtmasten ins Netz einspeisen. In Telford wurden 181 Straßenlaternen damit ausgestattet; ein Pilotprojekt am Londoner O2-Veranstaltungszentrum erzeugte mit zehn Turbinen rund 87.600 Kilowattstunden jährlich.<sup>41</sup> Beide Konzepte nutzen vorhandene Infrastruktur, statt neue zu schaffen. Offen bleibt die Materialfrage: Die eingesetzten Faserverbundwerkstoffe sind am Nutzungsende kaum recyclingfähig, dasselbe Problem, das auch bei konventionellen Windkraftanlagen besteht.

**SAISONALE SPEICHERUNG IM MATERIALKREIS-**

**LAUF:** Ein Forschungsansatz von Open Source Ecology Germany e.V. zeigt, wie das Metall Zink als verlustfreier saisonaler Energiespeicher genutzt werden kann: Überschüssiger Solarstrom im Sommer wird eingesetzt, um Zinkoxid elektrochemisch zu reinem Zink zu regenerieren und so zu speichern. Im Winter wird das Zink in einer Zink-Luft-Brennstoffzelle oxidiert und gibt dabei nutzbaren Strom ab; das entstehende Zinkoxid steht im folgenden Sommer erneut für die Regeneration zur Verfügung. Das Material wird dabei weder verbraucht noch ersetzt, sondern zirkuliert dauerhaft im technischen Kreislauf. Zugleich koppelt das Konzept saisonale Stromüberschüsse mit dem Winterbedarf und leistet damit einen Beitrag zur Sektorkopplung. Das Projekt befindet sich im Forschungsstadium; ein Einzelzellen-Prototyp wurde bereits erprobt. Baupläne und Versuchsdokumentationen werden als Open-Source-Dokumentation frei zugänglich gemacht.<sup>42</sup>

**INPUT: KREISLAUFFÄHIGE LEICHTSOLARMODULE – SOLARGE**

Gerard de Leede (Co-Gründer und Chief Technology Officer von Solarge) stellte die Entwicklung

kreislauffähiger, leichter Solarmodule aus Polymerverbund anstelle von Glas-Aluminium-Standardmodulen vor. Er zeigte konkrete Referenzanlagen in Belgien sowie den Aufbau einer eigenen Produktion seit 2018.

Da die Solarge-Module rund 50 % leichter als Standardmodule sind, kann Solarge das Marktsegment der Industrie- und Gewerbebauten ansprechen, die konventionelle Glasmodule statisch nicht tragen können und in dem der Preisdruck durch günstigere Standardmodule geringer ausfällt. Das Geschäftsmodell zielt nicht auf einen kurzfristigen Preiswettbewerb, sondern auf Differenzierung über Materialqualität und Kreislauffähigkeit in einem spezialisierten Marktsegment. Grundlage sind Kostenlückenanalysen des Fraunhofer-Instituts.

Das Geschäftsmodell von Solarge basiert auf:

- Fokus auf ESG-getriebene Kundengruppen wie Städte und große Unternehmen, die bereit sind, in zirkuläre, giftstofffreie und CO<sub>2</sub>-arme Module zu investieren.
- Durch ein patentiertes Trennverfahren (u. a. Laser) können Polymerschichten und Solarzellen sauber separiert werden, so dass Silizium, Silber, Kupfer und Zinn qualitativ hochwertig in die Zellproduktion zurückgeführt werden können, woraus laut De Leede ein positiver Business Case für das Recycling entsteht.
- Polymere und Backsheet-Strukturen werden in Europa produziert, während Solarge handelsübliche Zellen einsetzt. Es sind auch Varianten mit europäischem oder besonders emissionsarmem Silizium verfügbar, die zu höheren Preisen für ESG-orientierte Abnehmer in Frage kommen. Langfristig arbeitet das Unternehmen auf eine vollständig zirkuläre und lokale Wertschöpfung hin.

**INPUT: DEZENTRALE STROMERZEUGUNG UND QUARTIERSVERNETZUNG – FREY ARCHITEKTEN**

Im zweiten Praxisbeispiel kritisierte der Architekt und Stadtplaner Wolfgang Frey Energieverluste durch komplexe Gebäudetechnik, insbesondere Warmwasserzirkulationen. Diese Verluste führen dazu, dass Gebäude im Sommer ungewollt

aufgeheizt werden und häufig energieaufwendig gekühlt werden müssen. Aus seiner Sicht widerspricht dies dem Anspruch einer konsequenten Energiewende.

Frey schlug drei Verbesserungspunkte vor: Abschaffung verlustreicher Warmwasserzirkulation, Substitution statt additiver Technik und der Fokus auf thermisch träge Gebäude mit passiver Speicherwirkung in einem quartiersbezogenen Energiesystem.

Frey kritisierte klassische Solarthermie- und Geothermieanlagen in großen Mehrfamilienhäusern mit kilometerlangen Leitungen für Warmwasserzirkulation. Sie geben bis zu 80 % der eingesetzten Energie als Verlust in die Gebäudestruktur ab und heizen, insbesondere im Sommer, die Gebäude ungewollt auf. Sein Ansatz ist, komplett auf mechanische Warmwasserverteilung und Speicher zu verzichten, stattdessen Gebäudeflächen umfassend mit PV zu belegen und Warmwasser dezentral per elektrischen Durchlauferhitzern nur im Moment des Bedarfs zu erzeugen. Damit entfallen Zirkulations- und Speicherverluste vollständig.

Als zweiten Punkt nannte Frey die Nachteile additiver Öko-Technik, wie dem nachträglichen

Zubau von Solarthermie- oder PV-Aufdachanlagen auf ein fertig geplantes Gebäude. Stattdessen forderte er, Bauteile konsequent zu ersetzen, indem Balkongeländer oder Dachflächen direkt als BIPV-Bauteil (Building Integrated Photovoltaics) gestaltet werden. Ein konventionelles Geländer und ein PV-Element, so Frey, sind jeweils ähnlich teuer. Damit wird Material, Geld und graue Energie des ursprünglichen Bauteils eingespart, statt das System weiter zu verkomplizieren.

Drittens plädierte Frey für gut gedämmte, speicherreiche Gebäude ohne komplexe Regel- und Haustechnik, die Temperaturspitzen durch ihre Trägheit weitgehend abpuffern und nur mit kleinen, einfachen Wärmeerzeugern nachheizen müssen. Parallel dazu forderte er ein quartiersweites Energiemanagement, das Erzeugung und Verbrauch über Wohnen, Arbeiten und Freizeit innerhalb eines Quartiers koppelt. So kann der PV-Strom dort genutzt werden, wo sich Menschen im Tagesverlauf tatsächlich aufhalten, statt ihn mit hohen Leitungsverlusten über weite Strecken zu transportieren oder Anlagen wegen Netzengpässen abzuregeln.

## PRAXISBEISPIELE WÄRME

**SERVICE-KONZEPT:** Viessmann Solutions & Services hat ein Mietangebot für Wärmepumpen, Solarmodule und andere Wärmeerzeuger. Auch Mietmodelle für diese Produkte sind förderfähig, bei gleichzeitig geringeren Anfangsinvestitionen und planbaren laufenden Kosten für Nutzende. Für den Hersteller entsteht aus der Eigentümerrolle ein wirtschaftlicher Anreiz, die Anlagen wartungsarm, zirkulär, reparierbar und wiederverwendbar zu gestalten, da der Restwert über die gesamte Nutzungsdauer hinweg relevant bleibt.<sup>43</sup>

**ÖFFENTLICH-PRIVATE PARTNERSCHAFT:** Die Seewärme Meersburg GmbH am Bodensee ist eine öffentlich-private Partnerschaft aus Stadt und Stadtwerk am See mit dem bewusst lokal ausgelegten Vorhaben, Seewärme zu nutzen, um

mittels Wärmepumpen, Speichern und einem lokalen Wärmenetz Gebäude in der historischen Innenstadt zu versorgen.<sup>44</sup>

**FOKUS BIOLOGISCHER KREISLAUF UND BODENFRUCHTBARKEIT:**

Das österreichische Unternehmen Sonnenerde stellt aus biogenen Reststoffen über Pyrolyse Biokohle her, die u. a. zur Herstellung von Terra Preta<sup>45</sup> genutzt wird. Die enorme, bei der Pyrolyse anfallende Wärme wird zur Prozessunterstützung, Klärschlamm-trocknung und Gebäudebeheizung eingesetzt. In diesem Beispiel wird der biologische Kreislauf geschlossen, indem biogene Reststoffe aus vielen Fraktionen, einschließlich sonst schwer nutzbarer Siebreste aus der Kompostierung, eingesetzt und ihre Nährstoffe in den Boden zurückgeführt

<sup>40</sup> EnGoPlanet: „Retrofit: Turning Street Light Poles from Energy Consumers to Solar Energy Providers.“ [www.engoplanet.com/single-post/Retrofit-Turning-Street-Light-Poles-from-energy-consumers-to-solar-energy-providers](http://www.engoplanet.com/single-post/Retrofit-Turning-Street-Light-Poles-from-energy-consumers-to-solar-energy-providers). Abgerufen am 8. Mai 2026.

<sup>41</sup> Alpha 311: „Our turbines are up and spinning at London's O2 Arena.“ [alpha-311.com/blog/our-turbines-are-and-spinning-londons-o2-arena](http://alpha-311.com/blog/our-turbines-are-and-spinning-londons-o2-arena). Abgerufen am 8. Mai 2026. Sowie: CNN: „This small turbine can harness the power of passing cars.“ 20. Dezember 2023. [edition.cnn.com/world/small-turbine-harness-power-of-passing-cars-scnc-climate-spc-intl](https://edition.cnn.com/world/small-turbine-harness-power-of-passing-cars-scnc-climate-spc-intl). Abgerufen am 8. Mai 2026.

<sup>42</sup> Hans Sauer Stiftung: „Saisonale Energiespeicherung mit Zink: ZACplus.“ 10. März 2025. [www.hanssauerstiftung.de/zacplus](http://www.hanssauerstiftung.de/zacplus). Abgerufen am 8. Mai 2026. Sowie: Open Source Ecology Germany e.V.: ZACplus Citizen-Science Workshops. [wiki.opensourceecology.de/ZACplus\\_Citizen-Science\\_Workshops](http://wiki.opensourceecology.de/ZACplus_Citizen-Science_Workshops). Abgerufen am 8. Mai 2026.

<sup>43</sup> Viessmann Solutions & Services GmbH: „Wärme & Strom – Energie als Service.“ Produktseite, o. D. [www.viessmann.de/de/mehrwertdienstleistungen/viessmann-waerme-strom.html](http://www.viessmann.de/de/mehrwertdienstleistungen/viessmann-waerme-strom.html). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>44</sup> Seewärme Meersburg GmbH: Unternehmens- und Projektwebsite. [www.seewaerme-meersburg.de](http://www.seewaerme-meersburg.de). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>45</sup> Eine ursprünglich im Amazonasgebiet geschaffene Mischung aus Pflanzenkohle sowie organischem Kompost oder Dung. Sie fördert Mikroorganismen, speichert Wasser und Nährstoffe langfristig und gilt als Bodenverbesserer.

werden.<sup>46</sup> Ein vergleichbares Konzept verfolgt Palaterra in Deutschland.<sup>47</sup>

**VORHANDENE INFRASTRUKTUR NUTZEN:** Zwei weitere Ansätze zeigen, wie Wärmequellen erschlossen werden können, ohne neue Flächen oder Materialien zu binden. Eurovia hat mit Power Road® ein System entwickelt, bei dem in den Asphaltbelag eingebettete Wärmetauscher die Sonnenwärme der Fahrbahn aufnehmen, saisonal in Erdwärmesonden speichern und im Winter über Wärmepumpen an benachbarte Gebäude oder zur Enteisung von Straßen abgeben.<sup>48</sup> In Frankreich sind bereits mehr als fünfzehn solcher Anlagen in Betrieb, darunter zur Beheizung eines Schwimmbads. Auch das Therm-Liner-System der UHRIG Energie GmbH nutzt vorhandene Infrastruktur: In bestehende Abwasserkanäle eingebaute Wärmetauscher wandeln die thermische Energie des konstant zwischen 10 und 20 Grad warmen Abwassers für die Heizung und Kühlung von Gebäuden um.<sup>49</sup> Europaweit wurden bereits mehr als 140 Projekte umgesetzt; nach Unternehmensangaben ließen sich allein in Deutschland bis zu 15 % des Wärmebedarfs im Gebäudesektor über diesen Weg decken.<sup>50</sup>

#### INPUT: RECHENZENTRUM WÄRMT DAS QUARTIER – GASAG SOLUTION PLUS

Florian Stärk, Senior Projektleiter Vertrieb bei der GASAG Solution Plus, stellte die Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren als systemischen Baustein einer urbanen Wärmewende vor.

Rechenzentren entnehmen dem Stromnetz hohe Leistungen und wandeln nahezu 100 % der elektrischen Energie in Wärme um. Diese Abwärme wird meist ungenutzt an die Umgebung abgegeben. Die von Stärk vorgestellten Projekte setzen genau hier an: Die Abwärme wird über Wärmetauscher ausgekoppelt, mittels Großwärmepumpen auf ein geeignetes Temperaturniveau gebracht und über neu aufgebaute Nah- oder Quartiersnetze an benachbarte Gebäude geliefert.

Im Mittelpunkt steht dabei nicht allein die Technik, sondern die systemische Kopplung von Quelle und Senke. Rechenzentren werden dort angebunden, wo eine dauerhafte Wärmenachfrage besteht. Die Wärmenetze sind so ausgelegt, dass sie langfristig betrieben und perspektivisch auch mit weiteren Wärmequellen kombiniert werden können. Der Bedarf an zusätzlichen Primärenergiequellen sinkt.

Stärk stellte mehrere Vorhaben in Berlin vor, bei denen Rechenzentrumsabwärme praktisch genutzt wird:

**Pallasseum/Schöneberg:** Seit Ende 2025 werden dort über 500 Wohnungen im Regelbetrieb mit Wärme aus einem benachbarten Telekom-Rechenzentrum versorgt. Mindestens 65 % der Wärme stammen aus der Abwärmequelle.

**Marienhöfe/Mariendorf:** Ein Neubauquartier mit rund 900 Wohnungen und Gewerbeflächen wird über ein Wärmenetz aus der Abwärme eines Rechenzentrums im benachbarten Gewerbegebiet versorgt. Die Wärme wird bedarfsgerecht auf unterschiedliche Temperaturniveaus verteilt. Ein Rechenzentrum mit rund 30 GWh nutzbarer Wärme pro Jahr in der finalen Ausbaustufe ist bereits angebunden. Perspektivisch sollen mehrere Rechenzentren mit einer kumulierten Abwärmeleistung von etwa 60 MW integriert werden. Diese Größenordnung würde rechnerisch mehr als 9.000 Haushalte über ein neues Wärmenetz versorgen können.

**Berlin-Spandau:** Ein ursprünglich fossil geplantes Wärmeversorgungskonzept wurde im Zuge neuer regulatorischer Anforderungen<sup>51</sup> vollständig auf erneuerbare Wärme umgestellt.

Stärk zufolge bleibt die elektrische Anschlussleistung auch dann hoch, wenn IT-Technologien künftig effizienter werden sollten, da eine steigende Rechenleistung pro Kilowattstunde nicht automatisch die absolute Abwärmemenge reduziert. Zudem sichert die GASAG über langfristige Verträge die Wärmelieferung ab. Abhängigkeiten

von einzelnen Betreibern reduziert das Unternehmen durch Kooperationen mit mehreren Rechenzentrumsbetreibern sowie durch vertragliche Regelungen bei Eigentümerwechseln. Zu Investitionsrisiken durch einen möglichen Wegfall der Quelle ordnete Stärk ein, dass das Hauptinvestment das Wärmenetz ist. Dieses kann auch mit Geothermie, Großwärmepumpen oder anderen

erneuerbaren Quellen gespeist werden. Das System bleibt somit anpassungsfähig. In der Quartiersentwicklung ist wichtig, dass Rechenzentren möglichst in räumlicher Nähe zu potenziellen Wärmesenken geplant werden. Anlagen auf der grünen Wiese ohne Anschlussmöglichkeit verhindern die Nutzung der Abwärme.

## PRAXISBEISPIELE VERKEHR

**BATTERIETAUSCHSYSTEME:** Vielversprechend ist ein Ansatz, bei dem die Traktionsbatterie als standardisiertes Modul gedacht und an Stationen in wenigen Minuten getauscht wird – ähnlich wie heute der Tankvorgang. Fahrer\*innen könnten je nach Bedarf Batterien mit unterschiedlichen Kapazitäten nutzen, ohne längere Standzeiten. Systemisch verändert sich dadurch die Eigentumslogik: Batterien bleiben im Eigentum von Betreibern, die damit ein steigendes Interesse an langer Nutzung, einfacher Wartung und Rückführung in ein hochwertiges Recycling haben. Von 2008 bis 2013 baute das US-Startup Better Place Pilotinfrastrukturen in Israel und Dänemark für Batterietausch auf. Die Idee: Akkutausch statt langer Ladezeiten, egal, um welches E-Automodell es sich handelt. Der Versuch mit Renault-Elektroautos scheiterte an den hohen Infrastrukturtkosten, mangelnder Standardisierung und dem Widerstand der Autohersteller gegen einheitliche Batteriesysteme.

Im asiatischen Markt arbeiten Anbieter wie Gogoro<sup>52</sup> (Batterietausch) und Nio<sup>53</sup> (Batterie mieten statt kaufen) bereits mit solchen Tauschsystemen. Auch der weltgrößte Batteriehersteller CATL führte Ende 2024 zwei standardisierte, herstellerübergreifende Batteriepack-Größen ein.<sup>54</sup> Bis Ende 2025 waren über 700 Tauschstationen in Betrieb<sup>55</sup>, neben Nio haben sich auch andere chinesische Hersteller wie Chery oder BAIC angeschlossen. Der Durchbruch beim Batterietausch scheint damit weniger an der Technik zu

scheitern als an fehlender Standardisierung und Bereitschaft der Hersteller zur Kooperation.

**EINHEITZELLE:** Die Volkswagen-Konzerntochter PowerCo<sup>56</sup> hat eine Einheitszelle auf Zellebene entwickelt: ein standardisiertes Format, das marken- und modellübergreifend sowohl in Fahrzeugen als auch in stationären Speichern eingesetzt werden soll. Ende 2025 nahm PowerCo die Gigafabrik in Salzgitter in Betrieb; die ersten Fahrzeuge sollen 2026 folgen.<sup>57</sup> Eine stationäre Nutzung der Zellen in einem Großspeicher in Salzgitter hat bereits begonnen.<sup>58</sup> Standardisierte Zellformate machen Demontage, Wiederverwendung und Rohstoffrückgewinnung wirtschaftlich attraktiv, weil Prozesse nicht für unzählige Varianten ausgelegt werden müssen. Unvereinbare Systeme bremsen dagegen nicht nur Kreislauffähigkeit und Sektorkopplung aus, sondern treiben Investitionskosten systemweit nach oben.

PowerCo ist der bislang einzige Versuch auf Zellebene in Europa. Ob das Modell systemisch und wirtschaftlich hält, was es konzeptionell verspricht, ist noch nicht belegt. Dass das Grundprinzip funktioniert, zeigt das beschriebene Beispiel von CATL in China. Was der chinesische Ansatz bislang jedoch nicht leistet, ist eine von Anfang an auf Kreislauffähigkeit ausgelegte Materialstrategie.

**WASSERSTOFF-ELEKTRISCHE FLUGZEUGE:** H2Fly, ein Spin-off der Universität Ulm, entwickelt Flugzeuge, die mit erneuerbar erzeugtem Wasserstoff betrieben werden und diesen in einem

<sup>46</sup> Sonnenerde GmbH: „Sonnenerde-Verkohlungsanlage.“ Seite zu Klimaschutzprojekten, o. D. [www.sonnenerde.at/de/klimaschutz/sonnenerde-verkohlungs-anlage](http://www.sonnenerde.at/de/klimaschutz/sonnenerde-verkohlungs-anlage). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>47</sup> Palaterra GmbH & Co. KG: Unternehmenswebsite. [www.palaterra.eu](http://www.palaterra.eu). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>48</sup> EUROVIA: „Power Road – Wärmeenergie aus Straßen.“ [www.eurovia.de/was-wir-tun/innovative-produkte-verfahren/power-road](http://www.eurovia.de/was-wir-tun/innovative-produkte-verfahren/power-road). Abgerufen am 17. April 2026.

<sup>49</sup> UHRIG Energie GmbH: „Abwasserwärme gewinnen mit Therm-Liner System.“ [energie.uhrig-group.com](http://energie.uhrig-group.com). Abgerufen am 17. April 2026.

<sup>50</sup> UHRIG Gruppe: News und Projekte. [www.uhrig-bau.eu/news-projekte](http://www.uhrig-bau.eu/news-projekte). Abgerufen am 17. April 2026.

<sup>51</sup> Anfang 2024 erfolgte mit dem Inkrafttreten des Wärmeplanungsgesetzes (WPG) eine wichtige Weichenstellung zur Weiterentwicklung der Wärmeversorgung in Richtung Klimaneutralität. Es verpflichtet Kommunen erstmals bundesweit zur Erstellung kommunaler Wärmepläne und schafft damit die planerische Grundlage, um vor Ort vorhandene Potenziale an erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme zu identifizieren und ihre Nutzbarkeit, zum Beispiel durch Wärmenetze, zu unterstützen.

<sup>52</sup> Gogoro Inc.: Unternehmenswebsite (Batterietauschsysteme). [www.gogoro.com](http://www.gogoro.com). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>53</sup> NIO Inc.: Unternehmenswebsite (Battery-as-a-Service). [www.nio.com](http://www.nio.com). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>54</sup> CATL: „CATL Launches Battery Swap Ecosystem with Nearly 100 Partner“ 18.04.2024. [www.catl.com/en/news/6342.html](http://www.catl.com/en/news/6342.html). Abgerufen am 12. April 2026.

<sup>55</sup> CarNewsChina: „World's largest battery maker CATL installed 700 swap stations in China“ 21.10.2025. [carnewschina.com/2025/10/21/worlds-largest-battery-maker-catl-installed-700-swap-stations-in-china](http://carnewschina.com/2025/10/21/worlds-largest-battery-maker-catl-installed-700-swap-stations-in-china). Abgerufen am 12. April 2026.

<sup>56</sup> PowerCo: Unternehmenswebsite, auf: [www.powerco.de](http://www.powerco.de). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>57</sup> Volkswagen AG: „Start für europäische Batteriezellfertigung: PowerCo nimmt Gigafabrik Salzgitter in Betrieb.“ Pressemitteilung, 2024. [www.volkswagen-group.com/de/pressemitteilungen/start-fuer-europaeische-batteriezellfertigung-powerco-nimmt-gigafabrik-salzgitter-in-betrieb-20045](http://www.volkswagen-group.com/de/pressemitteilungen/start-fuer-europaeische-batteriezellfertigung-powerco-nimmt-gigafabrik-salzgitter-in-betrieb-20045). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>58</sup> Volkswagen AG: „Made in Europe: Volkswagen, PowerCo und Elli zeigen zukunftsweisende Batterie- und Energietechnologien.“ Pressemitteilung, 08.09.2025. [www.volkswagen-group.com/de/pressemitteilungen/made-in-europe-volkswagen-powerco-und-elli-zeigen-zukunftsweisende-batterie-und-energietechnologien-19801](http://www.volkswagen-group.com/de/pressemitteilungen/made-in-europe-volkswagen-powerco-und-elli-zeigen-zukunftsweisende-batterie-und-energietechnologien-19801). Abgerufen am 29. März 2026.

Brennstoffzellensystem in elektrische Energie umwandeln.<sup>59</sup> Die Emissionen im Flugverkehr sollen drastisch reduziert werden, indem Kerosin durch grünen Wasserstoff ersetzt wird, der – bei vollständig erneuerbarer Erzeugung – deutlich geringere Klima- und Luftschadstoffwirkungen hat. Das Projekt befindet sich im Pilotstadium. Airbus setzt Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie als Antriebsmethode für das Projekt ZEROe ein, mit dem der Konzern bis 2035 ein wasserstoffbetriebenes Verkehrsflugzeug auf den Markt bringen will.<sup>60</sup> Virgin Atlantic flog Ende 2023 den ersten transatlantischen kommerziellen Flug, der zu 100 % mit Flugkraftstoff aus gebrauchtem Speiseöl und Biomasse betrieben wurde.<sup>61</sup> Diese Beispiele zeigen, dass selbst schwer dekarbonisierbare Sektoren wie die Luftfahrt von Grund auf neu gedacht werden können, mit der Chance, sie von Anfang an auf Kreislauffähigkeit auszurichten, statt nur bestehende Kerosin-Systeme etwas effizienter zu machen.

#### INPUT: PHOTOVOLTAIK-INTEGRATION IN NUTZFAHRZEUGE – SONO SOLAR

Denis Azhar von Sono Solar stellte Ansätze zur Integration von Photovoltaik in Nutzfahrzeuge vom Pkw bis zum schweren Trailer vor und zeigte, wie Fahrzeuge von reinen Verbrauchern zu aktiven Elementen im Energiesystem werden können. Durch semiflexible Solarlösungen für gewölbte Oberflächen adressiert das Unternehmen sowohl Retrofit-Optionen als auch die werksseitige Integration. Bei Diesel-Flotten entlastet die Solarversorgung elektrischer Nebenverbraucher den Generator, während sie bei Elektrofahrzeugen, sofern herstellereitig möglich, zusätzlich die Fahrbatterie direkt oder indirekt unterstützt und damit die Reichweite erhöht bzw. das Hochvolt-Niedervolt-System entlastet.

Die Technologie senkt den Druck auf die zentrale Energieversorgung und Ladeinfrastruktur. Dieser Vorteil wird heute bereits in der öffentlichen Beschaffung etwa über Umweltpunkte honoriert. Nutzfahrzeuge können damit als dezentrale Erzeugungseinheiten in das Energiesystem eingebunden werden, den Druck auf zentrale Ladeinfrastruktur verringern und zum Teil energetische Kreisläufe schließen helfen. Die

Wirtschaftlichkeit wird über simulationsbasierte Ertragsanalysen abgesichert, die Materialeinsatz und Einstrahlungsertrag ins Verhältnis setzen. Während im maritimen Bereich Verschattung und Biegung die Effizienz der Technologie beeinflussen, konzentriert sich die Anwendung im Bahnbereich aktuell auf das Niedervolt-Bordnetz, da der Traktionsbedarf die verfügbaren Dachflächen derzeit noch übersteigt. Hinsichtlich der C2C-spezifischen Materialität und End-of-Life-Strategien befindet sich das Unternehmen noch in einer frühen Phase; Konzepte zur hochwertigen Wiederverwendung der Komponenten sollen in den kommenden Jahren erarbeitet werden.

#### INPUT: KREISLAUFFÄHIGKEIT ALS KOMMUNALE STRATEGIE – FREIBURGER VERKEHRS-AG

Mareike Rehl von der Freiburger Verkehrs AG (VAG) stellte vor, wie sich eine Stadt strategisch in Richtung kreislauffähige, C2C-inspirierte Mobilität bewegt. Freiburg verknüpft dabei Stadt- und Verkehrsplanung, Abfall- und Kreislaufwirtschaft sowie Klimaschutzpolitik: Ziel ist, Verkehr durch kompakte, gemischt genutzte Quartiere, kurze Wege und integrierte Planung zu reduzieren, den verbleibenden Verkehr auf den öffentlichen Nahverkehr (ÖPNV), Fuß- und Radverkehr zu verlagern und den unvermeidbaren Autoverkehr stadtverträglich zu organisieren. Kernmaßnahmen sind der starke Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs, ein nahezu durchgängiges Radwegenetz, Verkehrsberuhigung in Wohngebieten, Parkraumbewirtschaftung und spezielle Quartierskonzepte wie Vauban, in denen Stellplätze an den Rand gelegt und autofreies bzw. autoarmes Wohnen gefördert werden.

Ergänzend setzt die Stadt auf Gebäudesanierung, vollständig erneuerbare Energieversorgung und die Stärkung von Fuß-, Rad- und elektrischer Kleinmobilität. Im Bereich Kreislaufwirtschaft wurde ein Abfallwirtschaftskonzept entwickelt, das durch separate Sammlungen, Recycling und Mehrwegvorgaben den Restmüll pro Kopf stark senken konnte. Die Stadt verbindet diese Strategien mit nachhaltigen Vergaberichtlinien, Mobilitätsanreizen für Mitarbeitende (Job-Ticket, Jobrad) und Programmen zur Stärkung regionaler und lokaler Wertschöpfungskreisläufe.

Strategisch befindet sich die VAG im Übergang von Einzelprojekten zu einer Gesamtstrategie. Für 2026/27 ist eine Potenzialanalyse geplant, Workshops sollen Kreislaufwirtschaft als Querschnittsthema im Unternehmen verankern und Kriterien für die Beschaffung kreislauffähiger Produkte und Dienstleistungen definieren. Wichtigste Learnings aus den Einzelprojekten: Management-Commitments, der Fokus auf Lebenszykluskosten zur Begründung der Wirtschaftlichkeit kreislauffähiger Lösungen, sowie der intensive Dialog mit Industrie und Startups, um innovative Kreislaufansätze (Materialien, Speicher, Bauweisen) frühzeitig in die ÖPNV-Praxis zu holen.

Der Ansatz zeigt, wie Verkehrsplanung mit Kreislaufwirtschaft und Energieversorgung verbunden werden kann, auch wenn eine systemisch verankerte C2C-Strategie, wie die anschließende Diskussion deutlich machte, noch im Aufbau ist.

#### DANK AN DIE TEILNEHMENDEN

An den Roundtable zu Strom, Wärme und Verkehr haben rund 60 Expert\*innen aus mehr als 50 Organisationen teilgenommen. Die folgende Auflistung dient dem Nachweis der Breite des Diskurses. Die Handlungsempfehlungen dieses Reports sind nicht als Meinungen oder Positionen der genannten Organisationen zu verstehen. Wir bedanken uns für die Beiträge von:

Agentur für Erneuerbare Energien e. V.  
 Amazon Logistics EU  
 Ascherslebener Gebäude- und Wohnungsgesellschaft mbH  
 Autarkis GmbH  
 Bertelsmann Stiftung  
 BEW Berliner Energie und Wärme GmbH  
 Bau- und Liegenschaftsbetrieb des Landes Nordrhein-Westfalen  
 Bundesverband Geothermie e.V.  
 Bundesverband Solarwirtschaft e.V.  
 Bundesverband WindEnergie e.V.  
 Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)  
 C2C-Beratung Haeling  
 ContainerGrid GmbH  
 Deutsche Bahn AG  
 E.ON Group Innovation GmbH  
 E.ON SE  
 Eavor GmbH  
 Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
 Forschungszentrum Jülich GmbH  
 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
 Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES  
 Freiburger Verkehrs AG (VAG)  
 Frey Architekten  
 GASAG AG  
 HOFFMANN-LEICHTER Ingenieurgesellschaft mbH

Denn Kreislaufprojekte wie Holzbau, Schotter-Wiedernutzung und die geplante Second-Life-Nutzung von Busbatterien werden in Freiburg derzeit eher additiv umgesetzt. Standardisierte Kriterien in der Beschaffung, systematische Materialpässe und eine durchgängige Betrachtung des Fahrzeug- und Infrastrukturbestands sind jedoch im Aufbau. Gleichzeitig betonen die Teilnehmenden, dass gerade ein kommunaler ÖPNV-Akteur eine wichtige Vorreiterrolle hat: über seine Investitionsentscheidungen kann er Märkte für kreislauffähige Materialien, modulare Bauweisen und Second-Life-Speicher schaffen und damit zeigen, wie Kreislaufwirtschaft praktisch im Verkehrssektor umgesetzt werden kann.

IDberlin Haller Roose GbR  
 Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH  
 Interlink GmbH  
 Iris Ceramica Group  
 Kompetenzzentrum Klimaschutz in energieintensiven Industrien (KEI) der Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH  
 Leuphana Universität Lüneburg  
 LyondellBasell  
 Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen  
 Nanolope GmbH  
 Nordex SE  
 Prognos AG  
 PV CYCLE Deutschland GmbH  
 Regionalstromsystem.de  
 Renaissance GmbH & Co. Kg  
 RWE AG  
 Solarge  
 Sono Motors GmbH  
 Stadtwerke München GmbH  
 Sunfire GmbH  
 team red Consulting GmbH  
 University of Amsterdam  
 Universität Freiburg  
 Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV)  
 Verband kommunaler Unternehmen e. V. (VKU)

<sup>59</sup> H2FLY GmbH: Unternehmenswebsite (Wasserstoff-elektrische Luftfahrt). [www.h2fly.de](http://www.h2fly.de). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>60</sup> Airbus SE: „ZEROe – Our Hydrogen-Powered Aircraft.“ Projektseite, o. D. [www.airbus.com/en/innovation/energy-transition/hydrogen/zeroe-our-hydrogen-powered-aircraft](http://www.airbus.com/en/innovation/energy-transition/hydrogen/zeroe-our-hydrogen-powered-aircraft). Abgerufen am 29. März 2026.

<sup>61</sup> Folk, Zachary: „What Is Sustainable Aviation Fuel? Richard Branson Flies Across Atlantic in Biofuel-Powered Plane.“ Forbes, 28. November 2023. [www.forbes.com/sites/zacharyfolk/2023/11/28/what-is-sustainable-aviation-fuel-richard-branson-flies-across-atlantic-in-biofuel-powered-plane](http://www.forbes.com/sites/zacharyfolk/2023/11/28/what-is-sustainable-aviation-fuel-richard-branson-flies-across-atlantic-in-biofuel-powered-plane). Abgerufen am 29. März 2026.



**Cradle to Cradle – Wiege zur Wiege e.V.**

Landsberger Allee 99c  
10407 Berlin  
Tel. +49 (0)30 4677 4780  
info@c2c.ngo

**Redaktion & Gestaltung**, alphabetisch

Birgit Goldbecker, Isabel Gomez, Nora Sophie Griefahn, Katja Hansen, Tim Janßen, Dr. Jonas Müller, Julia Wichmann

**Spendenkonto**

GLS Bank IBAN: DE74 4306 0967 2036 5496 00  
BIC: GENODEM1GLS

Cradle to Cradle NGO – Wiege zur Wiege e.V.  
ist als gemeinnützig anerkannt.  
Spenden sind steuerlich abzugsfähig.



**Diese Publikation ist Nährstoff:**

Sie ist nach dem C2C-Verfahren gedruckt. C2C-Druckprodukte werden gezielt für den biologischen Stoffkreislauf entwickelt.