

Zirkuläre Wertschöpfung

Antriebe für die
Mobilität der Zukunft



Dezember 2019

Was ist zirkuläre Wertschöpfung?

Die zirkuläre Wertschöpfung wird als ein wirtschaftliches System beschrieben, das nach Intention und Design restaurativ und regenerativ ist. Es ersetzt das Konzept des End-of-Life bestehender linearer Wertschöpfungsketten durch geschlossene Wertschöpfungskreisläufe und erzeugt positive gesamtgesellschaftliche Vorteile. Die zirkuläre Wertschöpfung

- vermeidet oder verwertet Abfälle durch eine entsprechende Gestaltung von Materialien, Produkten, Systemen und Geschäftsmodellen,
- integriert Stoffstrommanagement und Energiesystem auf nachhaltige Weise,
- minimiert Klima- und Umweltbelastungen ganzheitlich.

Fokus: Antriebe für die Mobilität der Zukunft

Die Mobilität der Zukunft wird mit den gegebenen Ressourcen noch besser haushalten müssen. Neben fortschreitendem Leichtbau oder Effizienzsteigerungen durch Vernetzung und Automatisierung werden insbesondere der Antrieb sowie alle dazugehörigen Komponenten (z. B. Batterie) und die verwendeten Kraftstoffe einen wesentlichen Beitrag leisten.

Neben dem verbrennungsmotorischen Antrieb ist der elektrische Antrieb auf dem Vormarsch und erobert Marktanteile. Hier ist die wesentliche Herausforderung, geeignete Energiespeicher zu entwickeln, die ausreichende Reichweiten des Fahrzeugs ermöglichen und hinsichtlich Kosten, Raum- und Gewichtsbedarf eine umsetzbare Möglichkeit bieten. Zurzeit gibt es parallel zu Batteriekonzepten auch Brennstoffzellenlösungen, die miteinander im technologischen Wettstreit stehen. Was bei allen Lösungen gleich ist, ist das Anstreben der höchstmöglichen Effizienz bei niedrigsten Geräusch- und Schadstoffemissionen. Zudem müssen die Produkte, die den Antrieb darstel-

len, möglichst robust und zuverlässig und in großer Stückzahl wirtschaftlich herzustellen sein. Da heutige und zukünftige Antriebe einen sehr hohen Wirkungsgrad aufweisen, kann man diese nicht separat betrachten, sondern es wird in ein Fahrzeug- bzw. Maschinengesamtsystem integriert dargestellt, sodass die Energieströme effizient über ein gesamthaftes Energiemanagement geregelt werden.

Sowohl in der internationalen Luftfahrt als auch der Seeschifffahrt wird der Verbrennungsmotor auch in Zukunft aufgrund der effizienten Leistungsdichte die primäre Antriebsart darstellen. Daher liegt der Fokus der Bemühungen auf der Verbesserung des Brennstoffs an sich, der Entwicklung von synthetischen Kraftstoffen sowie einer entsprechenden Infrastruktur. Batterie- und Hybridlösungen sowie Brennstoffzellen werden heute schon auf Schiffen in zumeist kleineren Nischenmärkten oder als Hilfssysteme angewendet. Auch die Luftfahrt forscht derzeit an entsprechenden Lösungen, insbesondere für kürzere Verbindungen.

Umsetzung in die Praxis

Zirkuläre Wertschöpfung gehört im Mobilitätssektor bereits heute in vielen Bereichen zum Standard. Es gibt bewährte und funktionierende Systeme zum Recycling von Metallen (insbesondere Eisen, Aluminium, Magnesium und deren Legierungen) sowie anderen Werkstoffen, die beim Fahrzeugbau in signifikanten Mengen Verwendung finden, z. B. Kunststoffe oder Kältemittel aus den Klimaanlagen.

Eine aktuell drängende Herausforderung ist es, Kreisläufe in der Elektromobilität zu schließen. Beispielsweise die wiederaufladbaren Batterien in batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV), Elektrofahrzeugen mit Reichweitenverlängerung (REEV) und Hybrid- (HEV) bzw. Plug-in-Hybridfahrzeugen (PHEV) enthalten wertvolle und teilweise auch versorgungskritische Ressourcen wie Kobalt, Lithium, Nickel und Kupfer, wofür eine nahezu vollständige zirkuläre

Wertschöpfung stofflicher und energetischer Art noch nicht Stand der Technik in skalierbaren Größen ist. Nur ein großflächiges Batterierecycling kann nach aktuellem Wissensstand die benötigten Ressourcen langfristig als Rohstoffquelle zur Verfügung stellen und damit einen Versorgungsengpass vermeiden.

Elektrofahrzeuge werden aufgrund ihrer erhofften positiven Auswirkung auf das Klima und die menschliche Gesundheit als erwünschte und förderungswürdige Technologie eingestuft. Elektrofahrzeuge im Allgemeinen und leichte Elektrofahrzeuge (LEV) im Speziellen werden so z. B. als wichtiger Baustein für eine bessere Verknüpfung von ÖPNV und Individualverkehr (multimodaler Verkehr) angesehen. Die Überbrückung der ersten bzw. letzten Meile zwischen Start- und Zielpunkt und dem ÖPNV mittels LEV ist für den Nutzer bequem und vermeidet den Schadstoffausstoß von

Autos mit Verbrennungsmotor auf Kurzstrecken. Dies kann allerdings nur dann einen positiven Effekt haben, wenn die eingesetzten LEV, z. B. E-Scooter, für ein Recycling vorbereitet sind und damit die eingesetzten Wert- und Rohstoffe am Ende ihres Lebens auch dem Recycling zugeführt werden können.

Das Potenzial zur Verringerung von CO₂-Emissionen in der Mobilität ist unbestritten, jedoch nur unter den passenden Rahmenbedingungen. Hierbei spielen neben dem vorhandenen Strommix auch die Emissionen während des gesamten Lebenszyklus – also vom Abbau der notwendigen Ressourcen bzw. deren Beschaffung aus dem Rohstoffkreislauf bis hin zur Bereitstellung der Stoffe zum Recycling am Lebensende – eine wesentliche Rolle. Heute gilt eine Batterie in der Elektromobilität als an ihrem Lebensende angelangt, wenn sie etwa 80 % der ursprünglichen Kapazität erreicht hat. Lebensverlängernde Maßnahmen, wie ein smartes Ladeverhalten, können helfen, die Batterie länger bei ausreichender Kapazität zu fahren und entsprechend später dem Recycling zuführen zu müssen.

Um die Umweltauswirkungen der verschiedenen Antriebstechnologien miteinander zu vergleichen, können sogenannte Lebenszyklusanalysen (LCA) – auch als Ökobilanz bekannt – durchgeführt werden. Bild 1 veranschaulicht symbolisch und stark vereinfacht ein mögliches Ergebnis.

Lebenszyklusanalysen sind im Mobilitätssektor nicht der Standard. Vielmehr werden sogenannte Well-to-Tank-, Tank-to-Wheel-, oder – die Kombination aus beidem – Well-to-Wheel(WtW)-Analysen durchgeführt.



Bild 1. Stark vereinfachtes Symbolbild zweier Fahrzeuge mit ihrer dank der Lebenszyklusbeurteilung vergleichbaren Emissionlast (Quelle: IFKM/KIT)

Diese blenden grundsätzlich die CO₂-Emissionen durch die Herstellung, Entsorgung und Instandhaltung der Pkw sowie die Bereitstellung der Antriebsenergie aus (siehe Bild 2). Die Betrachtung von der Quelle des Treibstoffs bis zur Energieübertragung auf die Räder ist daher keine geeignete Methode, um umweltgerechtere Pkw zu entwickeln.

Der methodische Ansatz der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040/14044 umfasst stattdessen die ganzheitliche Betrachtung von Umweltauswirkungen der gesamten Prozesskette von Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produkts. Für eine vollumfängliche Ökobilanzierung unterschiedlich angetriebener Pkw sind nämlich auch Rohstoffbedarf, Wasserverbrauch, Versauerung, Humantoxizität und Sommersmog von relevanter Bedeutung. Das Ergebnis einer LCA-Studie kann zur ökologischen Verbesserung von Produkten, Marketingzwecke o. Ä dienen. Sollen die Erkenntnisse einer LCA-Studie nun in die Produktentwicklung einfließen, muss das Wissen und Methodik der Umweltexperten den Ingenieurinnen und Ingenieuren vermittelt und in deren Entwicklungsprozesse integriert werden.

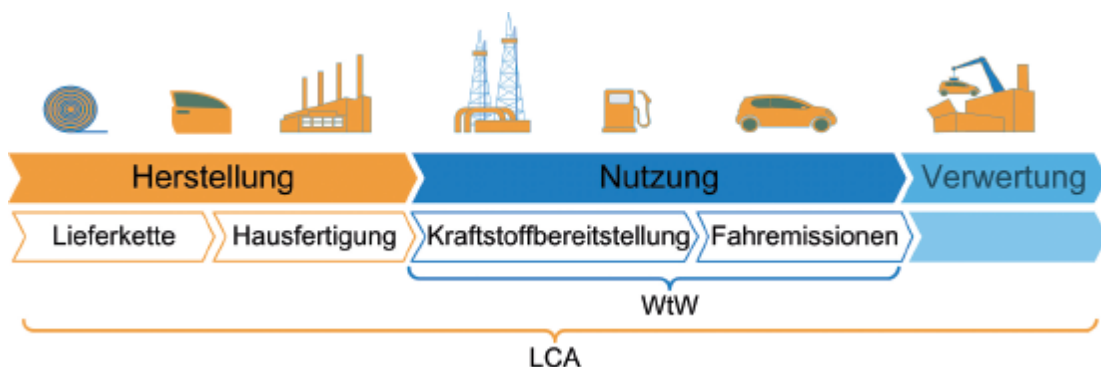


Bild 2. Lebenszyklus eines Fahrzeugs

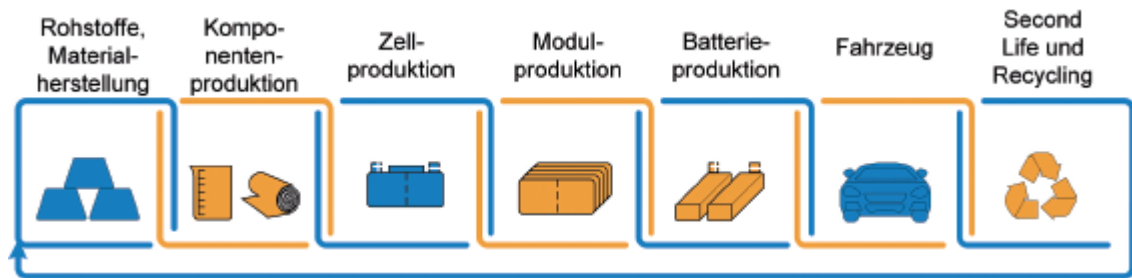


Bild 3. Zirkuläre Wertschöpfung am Beispiel von Fahrzeugbatterien (nach: Nationale Plattform Elektromobilität, Fortschrittsbericht 2018; Markthochlaufphase. Berlin, Mai 2018, 83 pp.)

Zahlen, Daten, Fakten

Bild 3 zeigt symbolisch den Wertschöpfungskreislauf von Fahrzeugbatterien von der Materialherstellung über zahlreiche Zwischenschritte bis hin zum Recycling. Bei der Herstellung der Batteriematerialien sollten regenerative Energien Verwendung finden. Zusätzliche Nachhaltigkeitsgewinne können mit einem möglichst effizienten Recycling realisiert werden. Als

Option zum Recycling steht das sogenannte „zweite Leben“ (in Bild 3 als „Second Life“ bezeichnet) zur Verfügung. Vermarktungskonzepte hierfür umfassen z. B. eine Weiternutzung als stationäre Batterie zur Speicherung regenerativer Energie für Haus-speichersysteme.

Passende Veröffentlichungen des VDI

VDI/VDE-Studie „Bedeutung von Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeugen für die Elektromobilität“. Mai 2019

VDI-Studie zur Lebenszyklusanalyse verschiedener Antriebsarten (Arbeitstitel). In Vorbereitung (geplante Veröffentlichung 1. Quartal 2020)

Was tut der VDI?

Der VDI betrachtet das Thema „Zirkuläre Wertschöpfung“ mit Stakeholdern aus unterschiedlichen Branchen und aus unterschiedlichen Perspektiven, um daraus Informationen für VDI-Mitglieder, Experten und Interessierte aus Gesellschaft, Medien, Industrie, Politik zur Verfügung zu stellen. Mit VDI-Richtlinien stellt der VDI konkrete technische Handlungsempfehlungen für den Experten in der Praxis bereit. Ein breiter Wissenstransfer erfolgt über Fachtagungen und Kongresse sowie über regionale Veranstaltungen der Bezirksvereine und Landesverbände des VDI.

Zentrale Informationen stehen unter www.vdi.de/zirkulaere-wertschoepfung bereit.

Der Fachbeirat Antrieb und Energiemanagement der VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik erarbeitet aktuell gemeinsam mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) eine Studie zur Lebenszyklusanalyse von Fahrzeugantrieben, die im 1. Quartal 2020 erscheinen wird (siehe oben).

Kontakt

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.
 Dr.-Ing. Hans-Jürgen Schäfer
 VDI-Koordinator Zirkuläre Wertschöpfung
 Tel. +49 211 6214-254
schaefer@vdi.de
www.vdi.de/zirkulaere-wertschoepfung

