

POSITIONSPAPIER FÜR DIE BRANCHE
UND POLITISCHE ENTSCHEIDER

Eine verantwortungsvolle Kabine: Transparenz als Schlüssel

Methoden zur Bewertung der Umweltauswirkungen von Flugzeug-
inenausstattungen als Grundlage für effektive Branchenkooperation
und zukunftsorientierte Produktgestaltung



Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie
(BDLI – German Aerospace Industries Association)

April 2025

Inhaltsverzeichnis

1. Umwelttransparenz messen: Methoden und Bewertungsansätze	5
2. Kreislaufwirtschaft und CO ₂ -Fußabdruck	11
3. Technische Anforderungen für eine effektive LCA-Implementierung	15
3.1. Den Weg ebnen: Standardisierte Ansätze für die LCA-Erstellung	15
3.2. Das Fundament der Analyse: Datenbanken und Tools für LCA-Berechnungen	18
3.3. Silos überwinden: Datenaustausch über Lieferketten hinweg	21
3.4. Über Zahlen hinaus: Aussagekräftige Präsentation der Ergebnisse	22
3.5. Glaubwürdigkeit sichern: Die Rolle unabhängiger Validierung	23
3.6. Prioritäten setzen: Erstellung einer Produktliste für Cabin und Cargo	25
4. Strategische Empfehlungen für standardisierte Umweltbewertung in der Luftfahrt	27

Eine verantwortungsvolle Kabine: Transparenz als Schlüssel

Liebe Leserinnen und Leser,

die zivile Luftfahrtindustrie entwickelt sich stetig weiter, mit dem klaren Verständnis, dass Nachhaltigkeit eine grundlegende Voraussetzung für langfristige Widerstandsfähigkeit und Wachstum ist. Jede Gelegenheit, unser ökologisches Wirkungsgefüge neu zu denken und verantwortungsvoller zu gestalten, sollte daher konsequent genutzt werden.

Gleichzeitig stehen Nachhaltigkeitsbemühungen in der Luftfahrt nicht losgelöst im Raum – sie sind eingebettet in ein komplexes globales Gefüge, das sich dynamisch verändert. Neue geopolitische Entwicklungen, wachsende internationale Spannungen sowie sich verschiebende wirtschaftliche Allianzen beeinflussen Lieferketten ebenso wie technologische Kooperationen. In diesem Umfeld ist es wichtiger denn je, den Fokus auf eine nachhaltige Luftfahrt nicht zu verlieren.

Ein signifikanter Anteil der gesamten Umweltauswirkungen eines Flugzeugs entfällt über den Lebenszyklus hinweg auf die Kabine und deren Nutzung. Da Kabinenelemente mehrfach ersetzt werden, spielt dieser Bereich auch aus Sicht der Zirkularität eine bedeutende Rolle – und bietet großes Potenzial für nachhaltige Lösungen.

Dieses Whitepaper bietet einen umfassenden Überblick über bestehende Methoden zur Bewertung von Umweltauswirkungen. Es unterstreicht die Notwendigkeit zur Standardisierung und beleuchtet relevante Konzepte entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Dabei wird insbesondere die Rolle aller beteiligten Akteure betont – von herstellenden Unternehmen über Regulierungsbehörden bis hin zu Forschung und Politik –, die gemeinsam den Weg in Richtung einer klimaneutralen Luftfahrt mitgestalten.

Die Inhalte dieses Whitepapers basieren auf fundierten Analysen der Arbeitsgruppe Cabin und Cargo des Bundesverbands der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI). Ich hoffe, Sie finden darin wertvolle Impulse – und freue mich gemeinsam mit allen Mitwirkenden auf Ihre Gedanken und Rückmeldungen.



Mit freundlichen Grüßen
Dr. Marc Fischer

BDLI Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e. V.

accenture

AIRBUS

Collins Aerospace

DIEHL Aviation



Lufthansa Technik

SAFRAN

Zusammenfassung

Dieses Whitepaper befasst sich mit der Notwendigkeit standardisierter Methoden zur Umweltbewertung in der Flugzeuginnenausstattungsbranche. Vor dem Hintergrund sich weiterentwickelnder regulatorischer Anforderungen werden drei komplementäre Ansätze vorgestellt: der Produkt-CO₂-Fußabdruck (PCF), der Digitale Produktpass (DPP) und die Lebenszyklusanalyse (LCA). Diese Instrumente leisten einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Transparenz im Bereich der Umweltauswirkungen.

Während die Luftfahrtindustrie bereits etablierte Verfahren für Reparatur und Überholung von Komponenten implementiert hat, stellt der Kabinenbereich besondere Anforderungen – insbesondere im Hinblick auf materialbezogene Komplexität und individuelle Gestaltungsoptionen. In diesem Zusammenhang wird die Balance zwischen Zirkularitätszielen und der Reduktion des CO₂-Fußabdrucks über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg als zentral herausgestellt. Dabei spielen Gewichtsaspekte eine wesentliche Rolle, da sie einen direkten Einfluss auf die Betriebsemissionen haben.

Auf Basis einer gründlichen Untersuchung schlägt der BDLI sieben strategische Empfehlungen vor: die Entwicklung branchenspezifischer LCA-Standards; die Festlegung klarer Richtlinien für die Darstellung und den Austausch von Umweltdaten; die Einführung geeigneter Validierungsverfahren; die Verbesserung von Berechnungstools; die Optimierung luftfahrtspezifischer Materialdatenbanken sowie die Förderung der Kreislaufwirtschaft durch standardisierte Kennzahlen.

Diese Empfehlungen werden es Zulieferbetrieben von Flugzeuginnenausstattungen ermöglichen, kommende Vorschriften effizient zu erfüllen, fundierte Kundenentscheidungen zu unterstützen und zum Nachhaltigkeitskurs der Luftfahrtbranche beizutragen – ohne dabei die betriebliche Leistungsfähigkeit zu beeinträchtigen.

I. Umwelttransparenz messen: Methoden und Bewertungsansätze

Die Luftfahrtindustrie steht zunehmend unter Druck, ihren ökologischen Fußabdruck zu verringern – angetrieben von wachsendem Klimabewusstsein und sich wandelnden regulatorischen Anforderungen. **Für alle Akteure entlang der luftfahrtspezifischen Wertschöpfungskette gewinnt die systematische Bewertung von Umweltauswirkungen auf Produktebene spürbar an Relevanz.**

Dieses Kapitel stellt verschiedene methodische Ansätze vor, die unterschiedliche Ebenen der Umwelttransparenz ermöglichen und sich inhaltlich sinnvoll ergänzen. Die drei zentralen Methoden – jeweils mit eigenem Fokus und Anwendungsbereich – bilden kein konkurrierendes System, sondern ein ganzheitliches

Bewertungsinstrumentarium. In absehbarer Zeit ist davon auszugehen, dass einzelne Bestandteile dieser Verfahren verpflichtend eingeführt werden, insbesondere im Hinblick auf die Nachweispflicht im Kontext von ESG-Kriterien (Umwelt, Soziales und Unternehmensführung).



Der **Produkt-CO₂-Fußabdruck (Product Carbon Footprint, PCF)** ermittelt und kommuniziert Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten nach ISO 14067^[1]. Mit seiner gezielten Analyse der Kohlenstoffemissionen über den gesamten Produktlebenszyklus bietet er ein wertvolles Werkzeug, um kritische Bereiche für Emissionsreduktionen zu identifizieren.



Der **Digitale Produktpass (Digital Product Passport, DPP)** schafft einen digitalen Zwilling, der das Produkt durch seinen Lebenszyklus begleitet – etwa in Form eines physischen oder digitalen Labels. Er enthält umfassende Informationen zu Herkunft, Lieferkette, Materialzusammensetzung, Herstellungsprozessen und Umweltauswirkungen. Damit sorgt er für Transparenz bei allen Beteiligten und ebnet den Weg für eine optimierte Wiederverwendung am Ende des Produktlebens.

Die **Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA)** stellt eine fortschrittliche Methode dar, um Umweltauswirkungen über definierte Lebensphasen eines Produkts gemäß ISO 14040^[2] und 14044^[3] zu bewerten – sei es Cradle-to-Gate oder Cradle-to-Grave. Diese Technik erfasst und bewertet systematisch sämtliche Energie- und Ressourceneinsätze sowie Umweltauswirkungen und dokumentiert die Ergebnisse nachvollziehbar. Das Spektrum der bewerteten Umweltkategorien kann dabei bis zu 16 verschiedene Kriterien umfassen oder auf ausgewählte Schwerpunkte beschränkt werden. Die LCA erweist sich als leistungsstarkes Instrument, benötigt jedoch klare Regelwerke und vergleichbare Datengrundlagen, um konsistente Ergebnisse zu liefern.



Wie die Bewertungsmethoden sich ergänzen

Jede Methodik erfüllt eigenständige, sich jedoch ergänzende Funktionen innerhalb des Rahmens zur Nachhaltigkeitsbewertung:

Die **LCA bietet den umfassendsten Ansatz** zur Bewertung von Umweltauswirkungen über zahlreiche Kategorien hinweg.

Der **DPP ermöglicht die Verarbeitung und Nachverfolgung von Daten** für einzelne Komponenten und die Zusammenführung dieser Informationen auf Produkt- oder höheren Ebenen.

Der **PCF liefert eine fokussierte Sicht auf Kohlenstoffemissionen** – weithin als wichtigster einzelner Umweltaspekt betrachtet – und bietet die Möglichkeit, diese Kennzahl über Grenzen und Systeme hinweg zu aggregieren und digital zu teilen.

Während **DPP und LCA typischerweise produktspezifisch und komplexer in der Verarbeitung sind**, kann der **PCF als Einstiegspunkt für Unternehmen dienen**, denen die Ressourcen oder Daten für eine vollständige LCA fehlen. Mit dem PCF als Ausgangspunkt können Unternehmen erste Einblicke in ihre CO₂-Emissionen gewinnen, die später durch umfassendere LCA-Daten ergänzt werden können.

PCF und DPP lassen sich als Schritte auf dem Weg zu einer vollständigen LCA betrachten.



Praktisches Anwendungsbeispiel: Flugzeugsitz

Der DPP könnte eingesetzt werden, um Daten über das Produkt sowie die zugehörigen Materialien und Prozesse während der Sitzproduktion zu erfassen und zu verfolgen. Dies erleichtert eine effiziente Rückgewinnung und Wiederverwendung in späteren Phasen des Produktlebenszyklus. Parallel dazu könnte ein PCF als erste, häufig genutzte Kennzahl dienen, die Einblicke in die Umweltleistung bietet und innerhalb einer Lieferkette angefordert und geteilt werden kann, um einen produktübergreifenden PCF für Komponenten zu ermöglichen. Diese Daten lassen sich anschließend in eine umfassendere LCA integrieren, um den gesamten ökologischen Fußabdruck des Sitzes zu bewerten und eine detaillierte Bewertung sämtlicher Umweltwirkungen zu ermöglichen.

Die Rolle der Lebenszyklusanalyse in Cabin und Cargo

Lebenszyklusanalysen (LCAs) gelten als zentrale Grundlage für die kontinuierliche Verbesserung von Produkten und Prozessen in der Luftfahrtindustrie. Sie tragen dazu bei, Umwelttransparenz zu schaffen und können somit fundierte, datenbasierte Produktentscheidungen auf Kundenseite unterstützen.

Unternehmen können mithilfe von LCAs detaillierte Daten zu den Umweltauswirkungen ihrer Produkte und Dienstleistungen sammeln und analysieren. Diese Erkenntnisse ermöglichen es ihnen, Verbesserungspotenziale (z. B. bei Design, Materialauswahl, Produktionsprozessen etc.) zu identifizieren und gezielte Maßnahmen einzuführen, um Emissionen, Energieverbrauch und Abfall zu reduzieren und somit die Umweltbilanz des Produkts zu optimieren. Auf Basis der LCA kann bereits in der frühen Designphase eine Priorisierung von Produkten und Komponenten vorgenommen werden, um deren umweltbezogene Eigenschaften, Nachhaltigkeit und Recyclingfähigkeit zu verbessern.

Strengere Vorschriften wie die Green Claims Directive^[4] verpflichten Unternehmen dazu, ihre Umweltaussagen mit verifizierten Daten zu belegen. Die LCA wird in diesem Kontext eine zentrale Rolle spielen, da sie eine wissenschaftlich fundierte Methode zur Bewertung, zum Vergleich und zur Kommunikation der Umweltauswirkungen von Produkten und Dienstleistungen bietet. Fluggesellschaften können LCA-Ergebnisse nutzen, um glaubwürdige und transparente Umweltinformationen in ihrer externen Kommunikation bereitzustellen. Die Green Claims Directive umfasst zudem die Verifizierung durch unabhängige Dritte, um sicherzustellen, dass die getroffenen Nachhaltigkeitsaussagen valide und glaubwürdig sind.

Langfristig ist davon auszugehen, dass regulatorische Anforderungen wie die Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)^[5], die bereits für den Konsumgütersektor gilt, auf alle Branchen einschließlich der Luftfahrt ausgeweitet werden. Obwohl der genaue Zeitrahmen noch unklar ist, wird die LCA voraussichtlich eine entscheidende Rolle bei der Sicherstellung der Einhaltung dieser Vorschriften spielen. Die ESPR umfasst Leistungs- und Informationsanforderungen für Produkte; die Kombination aus LCA und DPP wird dazu beitragen, die Einhaltung nachzuweisen.

Die Luftfahrtindustrie muss sich darauf vorbereiten, umfassende Umweltbewertungen durchzuführen, um die Verringerung der Umweltauswirkungen ihrer Produkte gemäß künftigen regulatorischen Anforderungen und dem langfristigen Dekarbonisierungsziel voranzutreiben. Dies wird nicht nur die Produktentwicklung betreffen, sondern auch die gesamte Wertschöpfungskette und die betrieblichen Strategien der Unternehmen in der Branche.

Allerdings gibt es für Cabin und Cargo einige Herausforderungen in Bezug auf LCA. Für die LCA-Erstellung werden Experten und Softwarelösungen benötigt, was den Aufwand und die Kosten der LCA-Vorbereitung erhöht. Zudem sind viele Daten zu luftfahrtspezifischen Materialien und deren zugehörigen Prozessen nicht direkt verfügbar, und die Erstellung und Interpretation der Ergebnisse kann von Fall zu Fall variieren.

Thema

Mittelfristig / Schritt I

Standards

Entwicklung eines PCF-Regelwerks

Entwicklung eines LCA-Regelwerks

Entwicklung von Leitlinien für vereinfachte LCAs, z. B. während der Produktentwicklung

Entwicklung einfacher Leitlinien als Ergänzung zum ISO-Standard

Nutzung einfacher Leitlinien als Ergänzung zum ISO-Standard

Ergebnisdarstellung

Entwicklung einer Empfehlung zur Priorisierung der Wirkungskategorien

Entwicklung einer Empfehlung für die Ergebnisdarstellung

Validierung durch Dritte

Entwicklung von Leitlinien zur Validierung von LCAs

Validierung nach Bedarf (Empfehlung: externe Validierung bei Veröffentlichung)

Berechnungstools

Datenbanken

Integration von Datensätzen für Luftfahrtmaterialien gemäß ISO

KPIs zur Zirkularität

Entwicklung und Definition von KPIs zur Kreislaufwirtschaft

Anwendung der definierten KPIs

Datenaustausch

Manueller Austausch von PCF-Daten auf Anfrage

Manueller Austausch von LCA-Daten auf Anfrage

Entwicklung eines Digitalen Produktpasses (DPP) (standardisiertes Austauschformat und Festlegung der Inhalte zur Zirkularität)

Anpassung für LCA/PCF

Entwicklung von (teil-)automatisierten Tools für den Datenaustausch

Priorisierte Produktliste

Datenerhebung für priorisierte Produktgruppen (auf Ebene von Produktgruppen, nicht einzelner Bauteilnummern)

- Grundlage zur kontinuierlichen Produktverbesserung
- Marketingzwecke und Einhaltung der Green Claims Directive
- Werkzeug zur Identifikation von Verbesserungen in Design und Material

Langfristig / Schritt 2

Thema

Standards

Ergebnis-
darstellung

Validierung
durch Dritte

Berechnungs-
tools

Datenbanken

KPIs zur
Zirkularität

Daten-
austausch

Priorisierte
Produktliste

Nutzung des Regelwerks

Bewertung und kontinuierliche Weiterentwicklung der Regelwerke

Validierung gemäß den Vorgaben des Regelwerks
(Validierung des LCA-Erstellungsprozesses)

Entwicklung von Leitlinien zur Validierung von LCAs

Validierung nach Bedarf (Empfehlung: externe Validierung bei Veröffentlichung)

Integration von Datensätzen für Luftfahrtmaterialien gemäß Regelwerk

Whitelisting von Datensätzen gemäß Regelwerk

Verbesserung der Kompatibilität von Datenbanken / Tools

Optionen zur Integration eigener Datensätze

Standardisierung und branchenweite Anwendung

Anpassung des DPP

Nutzung des DPP

Entwicklung von (teil-)automatisierten
Tools für den Datenaustausch

Automatisierter Datenaustausch auf Anfrage

Erweiterung der priorisierten Produktgruppen

- *Anpassung an erweiterte ESPR-Regularien*
- *Umfassende Anforderungen für Umweltbewertungen*
- *Integration in die gesamte Wertschöpfungskette und operative Strategien*

2. Kreislaufwirtschaft und CO₂-Fußabdruck

Grundlagen der Kreislaufwirtschaft

Im Rahmen der Initiative für mehr Transparenz im Bereich Cabin und Cargo wird das Konzept der Kreislaufwirtschaft – häufig auch als Zirkularität bezeichnet – näher beleuchtet. Ausgehend von anerkannten Definitionen und etablierter Terminologie werden potenzielle Leistungskennzahlen sowie entsprechende Berechnungsansätze betrachtet und mit den bewährten Methoden der Lebenszyklusanalyse verknüpft. **Der Fokus liegt dabei auf praxisnahen Lösungsansätzen für den Übergang von linearen hin zu kreislauforientierten Geschäftsmodellen – unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen der Luftfahrt sowie bestehender zirkulärer Praktiken innerhalb der Branche.**

Die Norm ISO59004 definiert Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) folgendermaßen:

„Economic system that uses systemic approach to maintain a circular flow of resources, by recovering, retaining or adding their value, while contributing to sustainable development.“^[6]

Aus dieser Definition ergeben sich drei zentrale Prinzipien:

1. Abfall und Umweltbelastungen durch intelligentes Design vermeiden
2. Produkte und Materialien im Nutzungskreislauf halten
3. Natürliche Systeme regenerieren

Die wesentlichen Aspekte eines zirkulären Produkts und zirkulären Designs wie das gezielte Vermeiden von Abfall und Umweltbelastungen werden bereits in der Konzept-

phasenphase berücksichtigt. Verlängerte Produktlebensdauer und durchdachte End-of-Life-/End-of-Use-Strategien bilden weitere Grundpfeiler dieses Konzepts, ergänzt durch essenzielle Praktiken wie Reparatur, Aufarbeitung und Komponentenwiederverwendung. Ein weiterer Schlüsselaspekt ist der bewusste Umgang mit knappen natürlichen Ressourcen und die Steigerung der Ressourceneffizienz bis hin zur Regeneration.



Aktueller Stand in der Luftfahrt

Die Luftfahrtindustrie ist im Bereich Reparatur und Aufarbeitung bereits weit fortgeschritten.

Komponenten werden für eine verlängerte und sichere Betriebsdauer ausgelegt, und der bedeutende MRO-Dienstleistungssektor trägt maßgeblich dazu bei, die Lebensdauer von Flugzeugen zu maximieren. Märkte für wiederverwendbare Produkte entwickeln sich kontinuierlich weiter – insbesondere im Bereich von Turbinen und Systemkomponenten.

Bei näherer Betrachtung der Kabine und Frachtbereiche zeigen sich jedoch spezifische Herausforderungen. Die Anforderung an hochgradig individualisierbare Kabinenelemente mit komplexen Materialzusammensetzungen schränkt derzeit die Möglichkeiten zur Wiederverwendung und zum Recycling ein. Sitze bieten grundsätzlich Potenzial zur Wiederverwendung, erfordern jedoch zusätzliche Prozesse wie den Austausch von Polstern und Bezügen. Entscheidend für eine erfolgreiche Integration in den Wiederverwendungsmarkt ist zudem die Einhaltung der geltenden Zertifizierungsvorgaben beim Austausch einzelner Komponenten.

Strenge Zulassungsanforderungen – etwa hinsichtlich der Brandschutzeigenschaften – machen häufig den

Einsatz chemischer Zusätze oder Flammschutzmittel notwendig. **Dies erschwert das Recycling der verwendeten Hochleistungsmaterialien erheblich, zumal es bislang kaum marktfähige Lösungen für deren Rückführung gibt.** Hinzu kommt: Das Marktvolumen in diesem Bereich ist derzeit noch zu gering, um ausreichend Interesse seitens spezialisierter Recyclingunternehmen zu erzeugen.

Nach aktueller Einschätzung sind die **Hauptprodukte in den Bereichen Cabin und Cargo nicht recycelbar, sondern lediglich teilweise wiederverwendbar. Allerdings bestehen für viele Komponenten Reparatur- und Aufarbeitungsmöglichkeiten, die bereits heute im operativen Alltag genutzt werden.**

Der Weg zur Kreislaufwirtschaft

Design neu denken



Der Übergang zu einem stärker kreislaforientierten Geschäftsmodell beginnt beim Produktdesign. Anforderungen und Potenziale der Kreislaufwirtschaft sollten von Beginn an in Entwicklungsprozesse integriert werden – nicht als nachgelagerte Maßnahme, sondern als konzeptionelle Grundlage. Eine zentrale Hürde für die Wiederverwendung von Komponenten liegt häufig im kundenspezifischen Design. Fluggesellschaften verfolgen eine eigene, markentypische Ästhetik, die den ersten Eindruck prägt und das Reiseerlebnis visuell mitgestaltet. Diese gestalterische Individualität stellt nach wie vor eine zentrale Anforderung in der Flugzeuginnenausstattungsbranche dar. **Produktdesign muss daher künftig beides leisten: Markenidentität transportieren – und gleichzeitig die Wiederverwendbarkeit ermöglichen.**

Wirtschaftliche und logistische Aspekte



Ein durchdachtes Logistiksystem kann die Wiederverwendung von Komponenten gezielt unterstützen – vorausgesetzt, eine einfache Austauschbarkeit ist gewährleistet, da Zeit einen wesentlichen Kostenfaktor darstellt. Solange die Anschaffung neuer Bauteile wirtschaftlich günstiger ist als deren Aufarbeitung, bleibt das Interesse am Wiederverwendungsmarkt begrenzt. Um vorhandene Potenziale besser zu nutzen, ist ein effektives Kennzeichnungssystem für wertvolle Bauteile erforderlich. Solche Systeme können dazu beitragen, Ver-

wertungslisten für MRO-Betriebe und Demontageprozesse zu strukturieren und zugänglich zu machen. Darüber hinaus sind weiterführende Analysen sowie gegebenenfalls Anpassungen im Bereich von Zoll- und Abfallregularien notwendig, um praxistaugliche Rückführungslogistik zu ermöglichen. **Die Branche steht vor der Aufgabe, dieses Ökosystem ganzheitlich zu erfassen und gezielte Partnerschaften entlang der Wertschöpfungskette zu etablieren.**

Transparenz als Schlüsselfaktor



Ein höheres Maß an Produkttransparenz ist notwendig – insbesondere im Hinblick auf die Angabe kritischer Substanzen sowie möglicher End-of-Life- bzw. End-of-Use-Optionen, idealerweise ergänzt um Informationen zum jeweiligen Kreislaufstatus. Derzeit führen unterbrochene Informationsflüsse zu erhöhtem Aufwand und zusätzlichen Kosten bei MRO- und Demontagebetrieben. Ohne genaue Kenntnis der Produktzusammensetzung ist es schwierig, geeignete Alternativen zur Deponierung zu identifizieren oder Rückführungsoptionen zu bewerten. Diese Thematik gewinnt zunehmend an Bedeutung – nicht zuletzt durch steigende Deponiekosten und die absehbare Einschränkung entsprechender Kapazitäten in bestimmten Weltregionen.

Herausforderungen im Materialkreislauf



Bestimmte Materialien und Substanzen, die für sicherheitsrelevante und gewichtsoptimierte Designs erforderlich sind, erschweren derzeit den Zugang zu bestehenden Recyclingkanälen. **Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, Materialflüsse gezielt zu analysieren und zu optimieren sowie geeignete Recyclingpfade für luftfahrtspezifische Werkstoffe weiterzuentwickeln.** Perspektivisch sollten End-of-Life-Anforderungen bereits in der Produktentwicklung und Materialauswahl systematisch mitgedacht werden – als Voraussetzung für eine effizientere Integration in verfügbare Rückführungsprozesse, unabhängig von branchenspezifischen Einschränkungen. Darüber hinaus kann die transparente Angabe von Produkteigenschaften wie Recyclinganteil und -fähigkeit das Interesse bestimmter Kundengruppen stärken.

Langlebigkeit als Herausforderung und Chance



Aufgrund der Langlebigkeit von Flugzeugen und vielen Flugzeugteilen kann Obsoleszenz zu einem wichtigen Treiber für die Rückgewinnung von Komponenten werden, bevor sie als Abfall eingestuft werden. Zur Erinnerung: Das älteste noch in Betrieb befindliche Verkehrsflugzeug feierte 2024 seinen 50. Geburtstag! Teile, die nicht mehr produziert werden, aber in gut organisierten Lagern verfügbar sind, unterstützen das Kreislaufwirtschaftsziel der maximalen Produktnutzung.

Märkte der Zukunft entwickeln



Der bereits beschriebene Markt für Wiederverwendung expandiert, derzeit allerdings ohne wesentlichen Fokus auf Kabinenkomponenten. Die Gründe für diese Lücke müssen bewertet und Hebel identifiziert werden, um größeres Interesse in diesem Bereich zu schaffen, damit eine angemessene Produktentwicklung, strategische Produktpositionierung und effektive Wertschöpfung am Ende des Lebenszyklus/der Nutzung generiert werden können.

Messbare Fortschritte – Kennzahlen für die Kreislaufwirtschaft



Einige bestehende KPIs (Key Performance Indicators, dt. Schlüsselkennzahlen) und Berechnungsmethoden sind eher akademisch orientiert, erfordern umfangreiche Datenpunkte und erzeugen letztendlich „nur“ einen numerischen Wert, ohne zwangsläufig die zugrunde liegenden Ursachen anzugeben. Die maßgebenden Faktoren lassen sich nur durch Fachleute identifizieren und müssen anschließend klar kommuniziert werden. **Das geschäftliche Umfeld erfordert vereinfachte und standardisierte Ansätze, vorzugsweise unter Verwendung derselben Datenpunkte wie für LCA/PCF.**

Daher empfehlen sich vier Schlüsselleistungsindikatoren:

1

Der Massenanteil recycelten Materials in einem Produkt.

Dieser ist einfach zu berechnen und aggregiert sich über die gesamte Lieferkette. Er ist auch für Kunden leicht verständlich und kann als Prozentsatz ausgedrückt werden.

3

Der Massenanteil biobasierter Materialien in einem Produkt.

Entsprechend ist die Menge an fossilbasiertem Material bekannt. Bezüglich der Nutzung biobasierter Materialien wird eine branchenweite Diskussion empfohlen, um alle potenziellen negativen Effekte zu bewerten.

4

Die Recyclingfähigkeit eines Produkts.

In Ermangelung einer klaren Definition dieses Begriffs für unsere Branche sind Leitlinien für Baselines und KPIs auf internationaler Ebene sowie von politischen Einrichtungen erforderlich. Mit einer klaren Definition können umfassende Leitlinien und neue Anforderungen für zukünftige Produkte festgelegt werden.

2

Der Massenanteil wiederverwendeten Materials in einem Produkt.

Dieser Indikator berechnet den Prozentsatz wiederverwendeten oder umgenutzten Materials und bestimmt damit die Menge an primärem Rohmaterial.



3. Technische Anforderungen für eine effektive LCA-Implementierung

3.1. Den Weg ebnen: Standardisierte Ansätze für die LCA-Erstellung

Herausforderungen bei der Implementierung von Lebenszyklusanalysen

Im Rahmen der Erstellung von Lebenszyklusanalysen (LCA) stehen – wie im Grundlagenteil beschrieben – verschiedene Tools und Datenbanken zur Verfügung. In der praktischen Anwendung treten jedoch zahlreiche Herausforderungen auf, die sich insbesondere auf Berechnung, Vergleichbarkeit und Weiterverwendung der Daten beziehen.

Die derzeit geltenden Standards bieten Interpretationsspielraum und ermöglichen individuelle Definitionen bei der Durchführung von LCAs. Diese Flexibilität unterstützt zwar die Anpassung an unterschiedliche Branchenanforderungen, erschwert jedoch die Vergleichbarkeit und Nachnutzung der Ergebnisse. Eine Weiterverwendung der Daten ist nur dann möglich, wenn sämtliche zugrunde liegenden Annahmen – etwa zum Umfang, zu Cut-off-Regeln, verwendeten Datenbanken oder weiteren Berechnungsparametern – vollständig offengelegt und dokumentiert werden. Diese Informationen finden sich in der Regel in umfassenden Berichten, die im Rahmen einer externen Validierung erstellt werden – was die Datenverarbeitung zeitintensiv und ressourcenaufwendig macht.

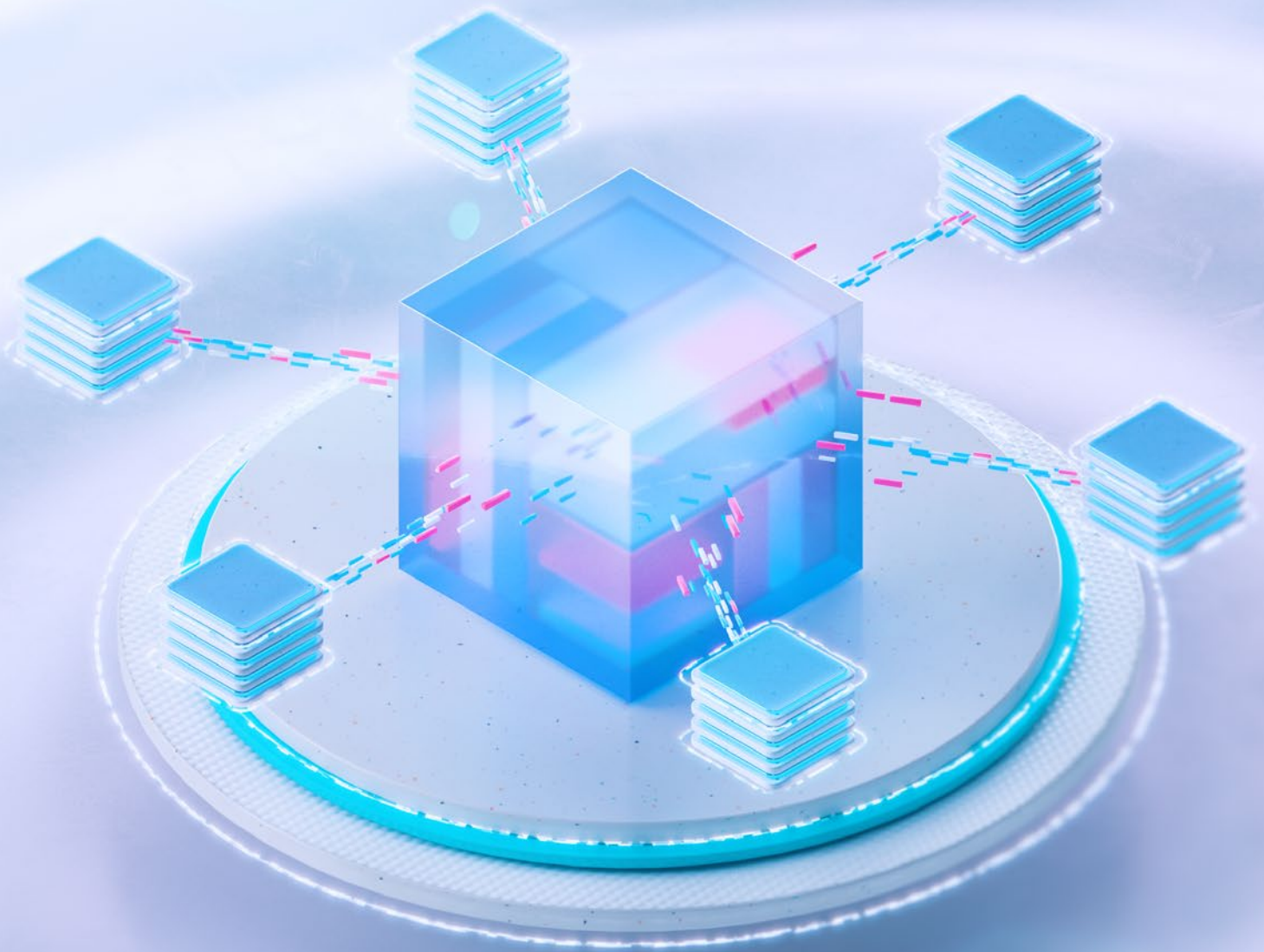
Auch die Datenvalidität hängt stark von den zugrunde liegenden Systemgrenzen ab. Ergebnisse einer LCA lassen sich daher häufig nicht ohne Weiteres auf andere Anwendungsfälle übertragen. Um den Aufwand zu begrenzen und Redundanzen zu vermeiden, sollte die gemeinsame Nutzung von LCAs innerhalb der Branche eine hohe Priorität erhalten. Fehlende Standardisierung führt hingegen zu unnötigen Mehraufwänden.

Ein zentrales Problem liegt in der eingeschränkten Vergleichbarkeit von LCA-Ergebnissen. Da jede Analyse auf eigenen Annahmen basiert, sind belastbare Vergleiche

nur innerhalb ein und derselben LCA möglich – vorausgesetzt, es wurden identische Datenbanken, Berechnungsmethoden und Systemgrenzen verwendet.

Darüber hinaus ist die Qualität der zugrunde liegenden Daten ein wesentlicher Faktor. Der Anteil an Primärdaten sowie deren Aussagekraft beeinflussen maßgeblich die Aussagekraft der Analyse. **Spezifische LCAs für einzelne Materialien sind derzeit selten verfügbar und hängen stark vom Energieeinsatz und von lokalen Einflussgrößen – etwa dem Wasserverbrauch – im Produktionskontext ab.** Für belastbare Schlussfolgerungen ist der Einsatz von einheitlichen Primärdaten daher unverzichtbar.

Ein weiteres Hindernis besteht in der eingeschränkten Interoperabilität zwischen verschiedenen Softwarelösungen und Datenbanken. Die Vielzahl wissenschaftlicher Tools bietet bislang nur begrenzte Anschlussfähigkeit, was einen durchgängigen LCA-Prozess erschwert. Eine stärkere Integration sowie anwendungsfreundlichere Tools – orientiert an branchenspezifischen Standards – sind essenziell, um die Akzeptanz und Effizienz zu steigern.

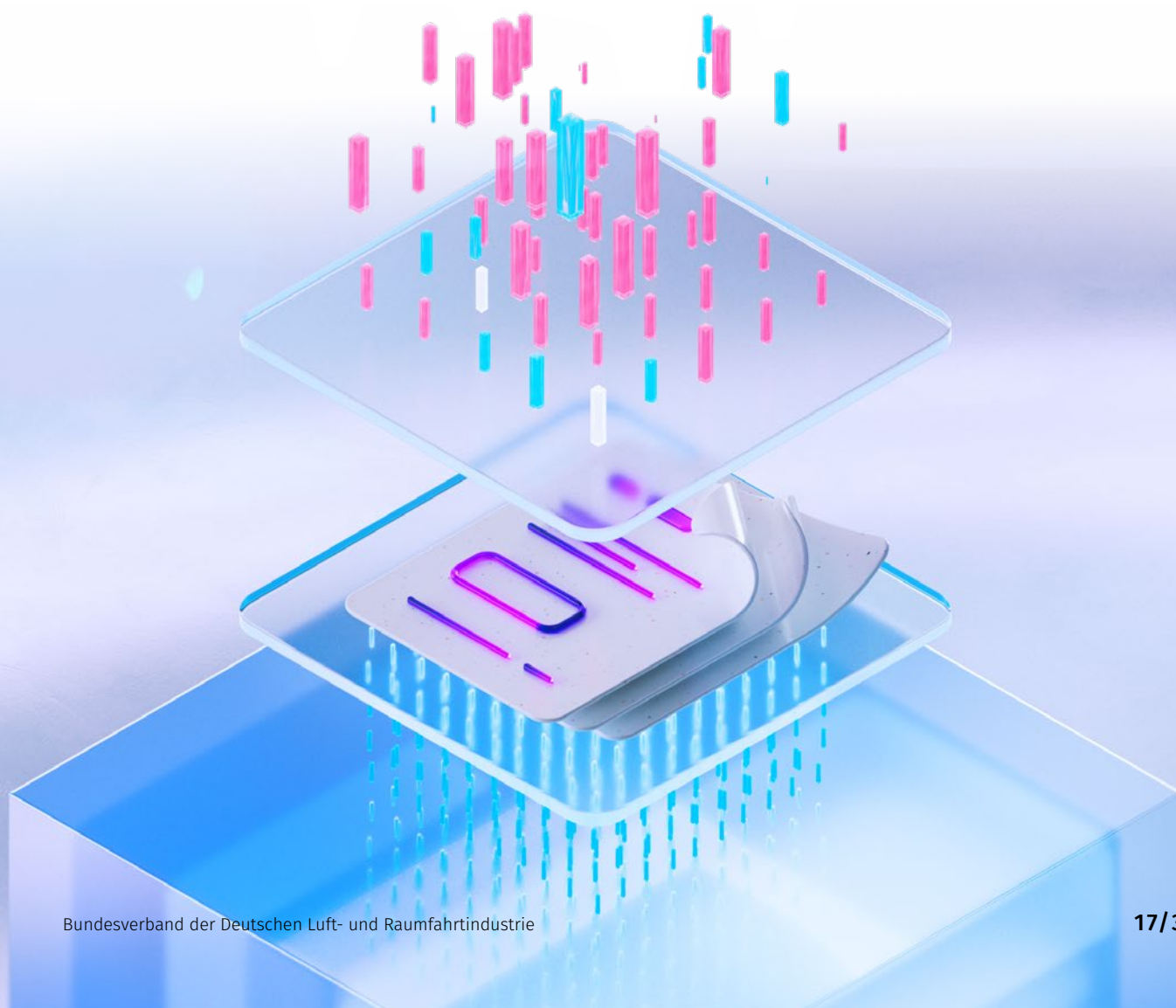


Die Lösung: Ein branchenspezifisches Regelwerk

Zur Überwindung dieser Herausforderungen bietet sich ein branchenspezifisches Regelwerk an – ein Ansatz, der sich in anderen Industrien bereits bewährt hat. Ein solches Dokument würde die bestehenden ISO-Normen nicht ersetzen, sondern ergänzen. Es könnte luftfahrtspezifische Anforderungen präzisieren, Lücken bei Annahmen schließen und als Grundlage für eine standardisierte externe Validierung dienen. Auf diesem Regelwerk basierende LCAs wären innerhalb der gesamten Lieferkette leichter übertragbar und effizient weiterverwendbar.

Ein solches Regelwerk sollte u. a. folgende Inhalte adressieren:

- Der erforderliche Systemumfang für den branchenübergreifenden Austausch und Kommunikationszwecke
- Typische Produktlebensdauer, da diese die CO₂-Emissionen während des Flugbetriebs maßgeblich beeinflusst
- Standardisierte Missionsprofile für Flugzeuge
- Nutzungsmuster elektrischer Bordsysteme wie In-Flight-Entertainment (IFE) oder Galley-Komponenten
- Einbeziehung relevanter Normen wie DIN EN 4855-x (GAINs) und prEN 4912 / prEN 4727 (Sitze) sowie des europäischen Ökoeffizienzindex
- Richtlinien der IAEG (International Aerospace Environmental Group)
- Klarstellung der End-of-Life-Phase sowie wartungsbezogener Aspekte
- Bestimmung der Produktionsprozesse und zugehöriger Systemgrenzen



Die Umsetzung: Ein zweistufiger Ansatz

Da der Bedarf an branchenspezifischen LCA-Standards bereits heute hoch ist, eine vollständige Regelwerksentwicklung jedoch Zeit erfordert, wird ein zweistufiger Ansatz empfohlen. Dieser bietet eine realistische Perspektive auf den Entwicklungsprozess.

MITTELFRISTIG

sollten bestehende Standards wie ISO 14040/14044 oder der EU Product Environmental Footprint als Orientierungsrahmen genutzt werden. Ergänzend dazu kann ein produktspezifisches Regelpapier – etwa des Airbus Cabin Supplier Councils – zur strukturierten Anwendung herangezogen werden. Dieses ersetzt keine vollständige externe Validierung, kann jedoch als pragmatischer Zwischenschritt dienen, solange ein branchenspezifisches Regelwerk noch nicht vorliegt. Die Entwicklung eines solchen Regelwerks wird innerhalb der nächsten zwei Jahre durch die Aerospace-X-Community angestrebt und soll künftig auch für PCF-Berechnungen einsetzbar sein.

LANGFRISTIG

ist vorgesehen, das Regelwerk weiter zu verfeinern, breit in der Branche zu verankern und die Zahl standardisierter LCAs kontinuierlich zu erhöhen.

3.2. Das Fundament der Analyse: Datenbanken und Tools für LCA-Berechnungen

Für fundierte Lebenszyklusanalysen ist der Einsatz moderner Softwarelösungen mit Zugriff auf eine oder mehrere Datenbanken unerlässlich. Derzeit steht lediglich eine begrenzte Auswahl geeigneter wissenschaftlicher Tools zur Verfügung. Einige Anwendungen nutzen bereits KI-gestützte Verfahren, um die Erstellung zahlreicher LCAs effizient zu automatisieren. Diese Lösungen sind jedoch häufig mit hohen Lizenz- und Implementierungskosten verbunden und erfordern spezielles Fachwissen. Eine schnelle Inbetriebnahme ohne entsprechende Schulung oder eine unkomplizierte „Quick-LCA-Berechnung“ bleibt unter diesen Voraussetzungen unrealistisch.

Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die einen bedeutenden Teil der Luftfahrtzulieferkette ausmachen, stoßen hier auf strukturelle Zugangsbarrieren. Unterstützungsangebote – etwa durch vergünstigte Lizenzen aus gemeinsamen Pools oder durch die Vermittlung spezialisierter Dienstleister – sind daher essenziell, um breitere Beteiligung zu ermöglichen.

Der Datenaustausch zwischen verschiedenen LCA-Tools

ist derzeit stark eingeschränkt. Gleichzeitig bleibt die Wahlfreiheit zentral, damit Unternehmen softwareseitig auf ihre individuellen Anforderungen reagieren können. Toolanbieter sind deshalb gefordert, standardisierte Schnittstellen und einheitliche Austauschformate bereitzustellen.

Für die Bewertung einzelner Technologien und deren Umweltauswirkungen erweisen sich viele der aktuell

verfügbaren Lösungen als ausreichend. Für die Erstellung von Produkt-CO₂-Fußabdrücken (PCFs) sind hingegen neue Ansätze erforderlich. **Gefragt sind benutzerfreundliche Werkzeuge, die zügig erste Hinweise auf besonders relevante Emissionsbereiche liefern.** Der Einsatz solcher Tools würde den Einstieg in eine datenbasierte Umwelttransparenz deutlich erleichtern.

Langfristig besteht Bedarf an einer stärkeren Verzahnung der Tools mit geltenden Standards sowie an einer optimierten Nutzerführung. Auch der zeitliche Aufwand bei der Identifizierung geeigneter Datensätze stellt eine

zentrale Herausforderung dar. Verbesserte Such- und Integrationsfunktionen könnten die Effizienz entsprechender Anwendungen erheblich steigern.

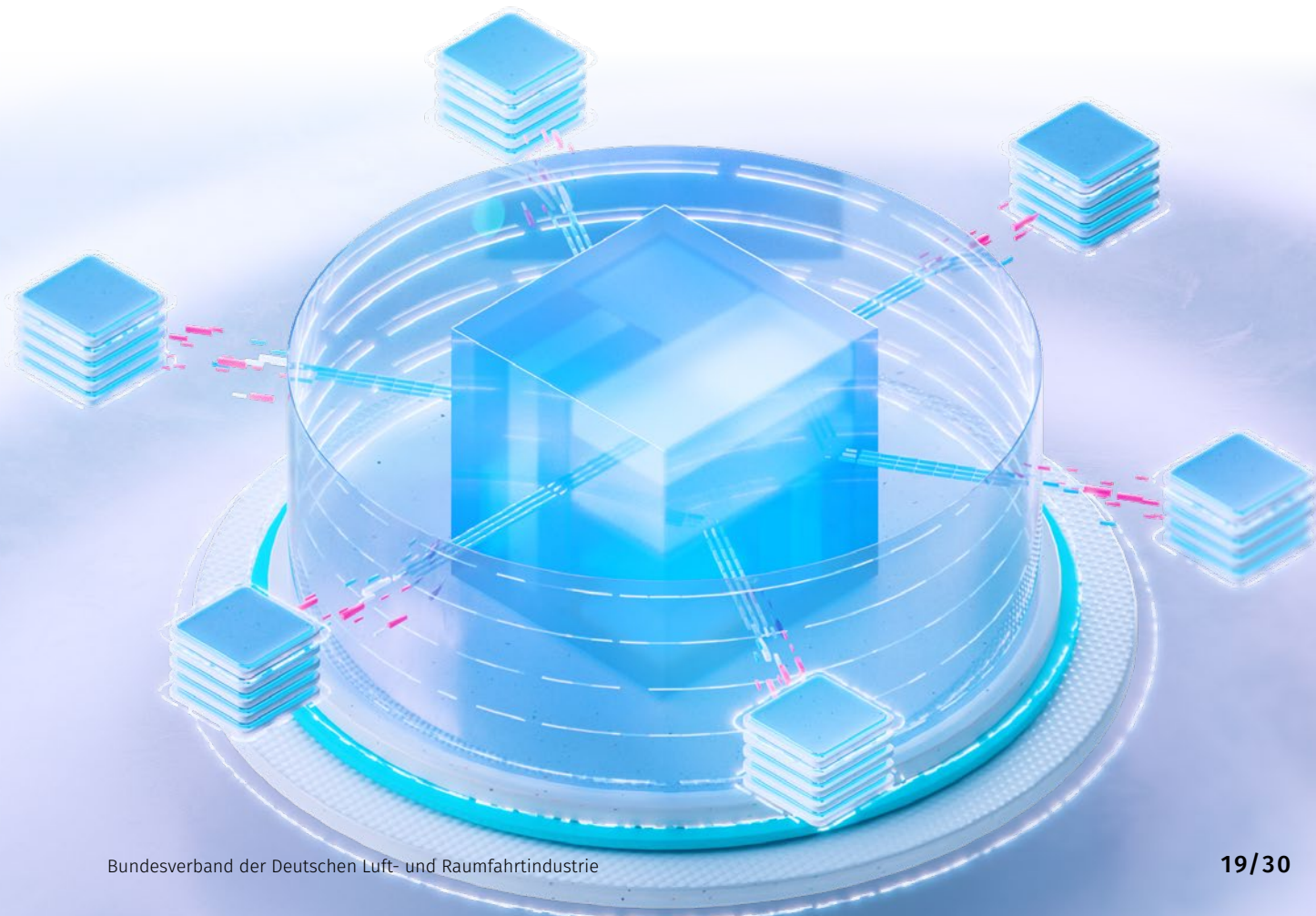
Während sich bestehende Tools vorrangig für Einzelanalysen oder den Vergleich ähnlicher Produkte eignen, fehlen bislang Lösungen zur ganzheitlichen Bewertung der Umweltauswirkungen eines kompletten Flugzeugs. Ein Tool, das Umweltinformationen auf Layoutebene integriert, könnte die Entscheidungsfindung auf Airline-Seite unterstützen und herstellenden Unternehmen dabei helfen, nachhaltige Lösungen gezielter zu priorisieren.

Die Bedeutung hochwertiger Datensätze

Für belastbare Lebenszyklusanalysen sind vernetzte Datensätze in umfassenden, strukturierten Datenbanken unverzichtbar. Mehrere Schlüsselfaktoren bestimmen deren Qualität und Anwendbarkeit.

Eine durchdachte Datenbankarchitektur ermöglicht einen schnellen und gezielten Zugriff bei konsistenter Informationsspeicherung. **Angesichts der hohen Teilevielfalt in der Flugzeuginnenausstattung ist eine logisch aufgebaute, systematisch durchsuchbare Datenstruktur unerlässlich.** Da zahlreiche Parameter die Auswahl

geeigneter Datensätze beeinflussen, sollten relevante Eigenschaften möglichst transparent und filterbar abgebildet werden. Ebenso entscheidend ist eine verlässliche Validierung der enthaltenen Werte – wie im Kapitel zur externen Verifizierung näher beschrieben.



Eine der zentralen Herausforderungen besteht in lückenhaften Datenbeständen für luftfahrtspezifische Materialien. Das Schließen dieser Lücken erfordert erheblichen Aufwand sowie eine klare Priorisierung nach Relevanz und Nutzungshäufigkeit. Hinzu kommen Kompatibilitätsprobleme zwischen verschiedenen Datenbanken und Berechnungstools: Die meisten Softwarelösungen arbeiten nur mit einer begrenzten Auswahl an Datenquellen. Auch der datenbankunabhängige Austausch ist bislang nur eingeschränkt möglich, da viele Formate nicht ohne Weiteres importiert oder harmonisiert werden können.

Eine verbesserte Integration proprietärer Datensätze stellt daher eine zentrale Anforderung an künftige Tool- und Schnittstellenentwicklungen dar – insbesondere vor dem Hintergrund, dass viele Datensätze aufgrund von Vertraulichkeitsvereinbarungen oder hohen Qualitätsanforderungen nicht öffentlich zugänglich sind.

Zukünftige Datenbanken müssen luftfahrtspezifische Anforderungen gemäß geltender ISO-Normen und branchenspezifischer Regelwerke adäquat abbilden. **Eine hohe Datenqualität sollte dabei durch transparente, durchsuchbare Attributkennzeichnung erkennbar sein.** Darüber hinaus sind Schutzmechanismen für Ein- und Ausgabeprozesse erforderlich, etwa durch spezifische Sicherheitsprotokolle und Zugriffskontrollen. Auch die Abbildung luftfahrtspezifischer Werkstoffe in ausreichender Tiefe erfordert eine flexible, anpassbare Datenbankstruktur.

Für Anwendungsfälle, in denen keine belastbaren Materialdaten verfügbar sind, ist die Definition geeigneter Ersatzmaterialien essenziell. **Gleichzeitig sollte der Einfluss unterschiedlicher Datenbanken auf die Vergleichbarkeit von Ergebnissen nicht unterschätzt werden.** Langfristig sollten Softwarelösungen in der Lage sein, Umweltauswirkungsdaten auch auf Layoutebene zu integrieren – etwa zur Bewertung gesamter Kabinenkonzepte oder komplexer Produktsysteme.

Empfehlungen zur Datenbankverbesserung

MITTELFRTIG

Im mittelfristigen Zeithorizont empfiehlt sich eine gezielte Qualitätssteigerung bestehender Datenbanken – mit dem Ziel, durch erhöhte Transparenz ein sogenanntes Whitelisting-System zu ermöglichen. Ein solches System würde die gezielte Kennzeichnung von LCA-Datensätzen erlauben, die den im Regelwerk definierten Qualitätsanforderungen entsprechen. Voraussetzung dafür ist die Entwicklung klarer Bewertungskriterien sowohl für Datenbanken als auch für die darin enthaltenen Datensätze.

Darüber hinaus kann eine Übersicht über die am häufigsten genutzten branchenweiten Datensätze dazu beitragen, den bislang aufwendigen Suchprozess zu vereinfachen und die Auswahl geeigneter Datenquellen zu beschleunigen. Parallel dazu sollten Kriterien für die Auswahl geeigneter Datenbanken definiert und systematisch dokumentiert werden.

In dieser Phase ist zudem die Einführung eines Whitelisting-Systems speziell für luftfahrtspezifische Datenbanken anzustreben. Auch die Anforderungen an standardisierte Schnittstellen zwischen LCA-Tools und Datenbanken sollten im selben Zeitraum präzisiert und abgestimmt werden.

LANGFRISTIG

Für die langfristige Perspektive gilt es, systematisch Mittel und Wege zu entwickeln, um den Bestand an LCA-Datensätzen für luftfahrtspezifische Materialien und Fertigungsprozesse deutlich zu erweitern.

3.3. Silos überwinden: Datenaustausch über Lieferketten hinweg

Der Austausch von Daten über mehrere Ebenen der Lieferkette stellt eine zentrale Herausforderung für die Durchführung umfassender Lebenszyklusanalysen (LCA) dar. Vollständige Transparenz setzt voraus, dass Daten entlang der gesamten Wertschöpfungskette gesammelt und bereitgestellt werden – einschließlich Informationen von Zulieferbetrieben auf unterschiedlichen Hierarchiestufen.

Besonders komplex wird der Austausch, wenn es sich um Informationen handelt, die durch Rechte am geistigen Eigentum (IP) geschützt sind. In solchen Fällen gestalten sich Transfer- und Austauschprozesse deutlich anspruchsvoller. Aktuell fehlen klare Vorgaben, wann und in welcher Frequenz der Datenaustausch erfolgen sollte und welche spezifischen Datentypen in diesem Zusammenhang bereitzustellen sind.

Ein praktikabler Ansatz besteht darin, mindestens die Cradle-to-Gate-Ergebnisse für jede produzierte Komponente bereitzustellen. Die abschließende Cradle-to-Grave-Analyse könnte anschließend durch den Endintegrator vorgenommen werden. Voraussetzung dafür ist ein standardisiertes Schnittstellenformat, das die relevanten Umweltindikatoren enthält und auf die jeweiligen Datenanforderungen der Kunden zugeschnitten ist.

Zentrale Herausforderungen beim Datenaustausch

Die Sicherstellung von Transparenz über sämtliche Ebenen der Lieferkette hinweg zählt zu den zentralen Herausforderungen im Kontext umfassender Lebenszyklusanalysen. Voraussetzung dafür ist, dass alle beteiligten Akteure Zugang zu relevanten Informationen erhalten, um vollständige Rückverfolgbarkeit entlang der Wertschöpfungskette zu ermöglichen. Ein entscheidender Erfolgsfaktor ist die Entwicklung standardisierter Schnittstellen, die einen automatisierten Datenaustausch in konsistenten Formaten erlauben. Nur so lässt sich eine einheitliche Datenbasis für die Analyse und Bewertung sicherstellen.

Der Umgang mit geistigem Eigentum stellt in diesem Zusammenhang eine zusätzliche Hürde dar. Der Schutz von IP-Rechten kann den Datenaustausch erheblich einschränken, insbesondere wenn sensible Informationen betroffen sind. Zur Bewältigung dieser Herausforderung

bedarf es einer klaren rechtlichen Einordnung und der präzisen Definition, welche LCA-Daten unter IP-Schutz fallen. Eine fundierte juristische Bewertung bildet die Grundlage, um geeignete Austauschmodelle zu entwickeln.

Auch die Qualität und Verifizierbarkeit der Daten spielen eine zentrale Rolle. Die Festlegung verbindlicher Anforderungen an Datenqualität sowie standardisierter Verifizierungsprozesse trägt dazu bei, die Integrität der ausgetauschten Informationen zu sichern. Dies kann durch unabhängige Zertifizierungsstellen oder robuste interne Qualitätssicherungsmechanismen erfolgen. Ergänzend sind Maßnahmen zur Datensicherheit unerlässlich – etwa durch verschlüsselte Übertragung, klar definierte Zugriffskontrollen und sichere Kommunikationskanäle –, um den Schutz sensibler Informationen auch im Rahmen des Austauschs dauerhaft zu gewährleisten.

Austauschrahmen

Bei der Betrachtung des LCA-Datenaustauschs stellt sich die grundlegende Frage, ob Rohdaten oder verarbeitete LCA-Datensätze ausgetauscht werden sollten. **Der Austausch von LCA-Datensätzen nach klar definierten**

Regeln ist generell vorzuziehen, da er den Forschungsaufwand minimiert. Während der Austausch von Primärdaten die Ausnahme bleiben sollte, könnten Drittanbieter solche Austauschprozesse in Zukunft erleichtern,

beispielsweise durch den Einsatz von Blockchain-Technologien. Zeitpunkt und Häufigkeit der Austauschprozesse sollten mit der Priorisierung von Produktgruppen

und internen Unternehmensanforderungen übereinstimmen, insbesondere bei Neuentwicklungen.

Implementierungsansätze

Tiefe und Umfang des Datenaustauschs variieren in Abhängigkeit von den jeweiligen Anwendungsfällen und unternehmensspezifischen Anforderungen. **Kurzfristig können verifizierte absolute Werte einen wichtigen Beitrag zur Kommunikation im B2B-Kontext leisten, während Delta-Werte – etwa im Vergleich zu Referenzkomponenten – für die externe Kommunikation geeignet erscheinen.** Mit Blick auf die zukünftige Entwicklung gelten softwaregestützte Lösungen, die einen automatisierten LCA-Datenaustausch ermöglichen, als vielversprechend. Anwendungsbeispiele aus Initiativen wie Manufacturing-X zeigen Potenziale auf, wie Datenschnittstellen standardisiert und Prozesse effizienter gestaltet werden können.

Derzeit fehlt es jedoch an einheitlichen Standards für den Datenaustausch. Dies erschwert die Implementierung konsistenter Schnittstellen erheblich. Bestehende Softwarelösungen bieten hier wertvolle Anhaltspunkte für die Weiterentwicklung – insbesondere im Hinblick auf standardisierte Formate, automatisierte Übertragung und die Sicherstellung von Rückverfolgbarkeit.

Auch die Korrektur und Validierung von Informationen kann durch integrierte Systemfunktionen erheblich erleichtert werden.

Die Nutzung solcher Technologien unterstützt eine effizientere Verwaltung und Weitergabe von LCA-Daten – und damit eine höhere Transparenz sowie Rückverfolgbarkeit entlang der gesamten Lieferkette. Die Bewältigung bestehender Herausforderungen im Bereich des Datenaustauschs erfordert eine Kombination aus klar definierten rechtlichen Rahmenbedingungen und ausgereiften technologischen Lösungen. Die Entwicklung standardisierter Schnittstellen sowie der Einsatz interoperabler Softwarewerkzeuge stellen zentrale Hebel dar, um Transparenz und Effizienz im unternehmensübergreifenden LCA-Prozess dauerhaft zu verbessern.

Neben der Erfüllung wachsender regulatorischer Anforderungen kann auf diesem Weg auch ein Beitrag zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit geleistet werden – durch datenbasierte Nachhaltigkeit und nachvollziehbare Betriebsprozesse.

3.4. Über Zahlen hinaus: Aussagekräftige Präsentation der Ergebnisse

Lebenszyklusanalysen (LCAs) generieren für jedes Produkt umfassende Datensätze zu ökologischen, gesundheitlichen und ressourcenbezogenen Aspekten. Die Ergebnisse werden in der Regel in 16 Wirkungskategorien unterteilt – darunter zentrale Kriterien wie Kohlenstoffemissionen –, die als Grundlage für weitere Bewertungen und Entscheidungen dienen.

Um einerseits Transparenz zu gewährleisten und andererseits den Fokus auf besonders relevante Wirkungskategorien zu lenken, ist eine Standardisierung der Ergebnisdarstellung innerhalb der Branche erforderlich.

Ein möglicher Ansatz besteht in der Einordnung der Wirkungskategorien nach Priorität, gestaffelt nach Genauigkeitsgrad und Vertrauensniveau der zugrunde liegenden Daten.

Ein solches Verfahren würde es ermöglichen, wesentliche Erkenntnisse differenziert darzustellen, ohne Informationen auszublenden. Gleichzeitig könnten die Er-

gebnisse gezielter aufbereitet und für unterschiedliche Zielgruppen – insbesondere Entscheidungsträger – besser nutzbar gemacht werden.

Berichtsansätze

Die Ergebnisdarstellung im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse (LCA) kann mit einer Delta-Darstellung gegenüber einer Basis-LCA beginnen, in der die Unterschiede oder Verbesserungen des neuen Produkts aufgezeigt werden. **Die Arbeitsgruppe Cabin & Cargo des BDLI empfiehlt vier alternative Ansätze zur Berichterstattung:**

1. Darstellung aller Wirkungskategorien
2. Einzelwert und Klimawirkung
3. Einzelwert und Auswahl ausgewählter Midpoint-Indikatoren
4. Auswahl ausgewählter Midpoint-Indikatoren

Priorisierung von Wirkungskategorien

Lebenszyklusanalysen (LCAs) stellen eine umfassende Methodik zur Bewertung von Umweltauswirkungen in der Luftfahrt dar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Wirkungskategorien vom Luftfahrtbetrieb in sehr unterschiedlichem Maße beeinflusst werden. So zeigt sich beispielsweise bei Kategorien wie ionisierender Strahlung nur ein geringer Zusammenhang mit typischen luftfahrtspezifischen Aktivitäten.

Ein pauschaler Ausschluss einzelner Wirkungskategorien aufgrund vermeintlich geringer Relevanz birgt jedoch das Risiko, potenziell bedeutende Umweltaspekte

zu übersehen. Zudem würde eine reduzierte Betrachtung konsolidierte Bewertungsansätze – etwa die Ermittlung von Einzelwerten – grundsätzlich ausschließen.

Empfohlen wird daher die vollständige Einbeziehung aller Wirkungskategorien. Diese sollten nach dem Grad ihrer Relevanz sowie den Anforderungen an die Datenqualität priorisiert werden. Ein solcher Ansatz ermöglicht eine ausgewogene Analyse, ohne potenziell kritische Umweltwirkungen auszublenden, und trägt gleichzeitig der spezifischen Wirkungsausprägung im luftfahrtspezifischen Kontext Rechnung.

3.5. Glaubwürdigkeit sichern: Die Rolle unabhängiger Validierung

*Wie zuvor ausgeführt, besteht ein klarer Bedarf an einem standardisierten Vorgehen bei der Durchführung von Lebenszyklusanalysen (LCAs), um konsistente und vergleichbare Ergebnisse sicherzustellen. Diese Ergebnisse sollten mit bestehenden übergeordneten Normen und regulatorischen Anforderungen in Einklang stehen. **Dies gilt insbesondere für ein global vernetztes Industriesystem wie Cabin und Cargo, das durch eine hohe Vielfalt an Zulieferbetrieben, Produktvarianten und verkürzte Lebenszyklen geprägt ist – einschließlich regelmäßiger Kabinenmodernisierungen.***

Werden LCA-Ergebnisse für externe Anwendungsfälle – etwa Veröffentlichungen, regulatorische Prüfungen oder unternehmensübergreifende Kommunikation – herangezogen, empfiehlt sich eine unabhängige Validierung durch Dritte. Diese sollte sowohl die in der Ana-

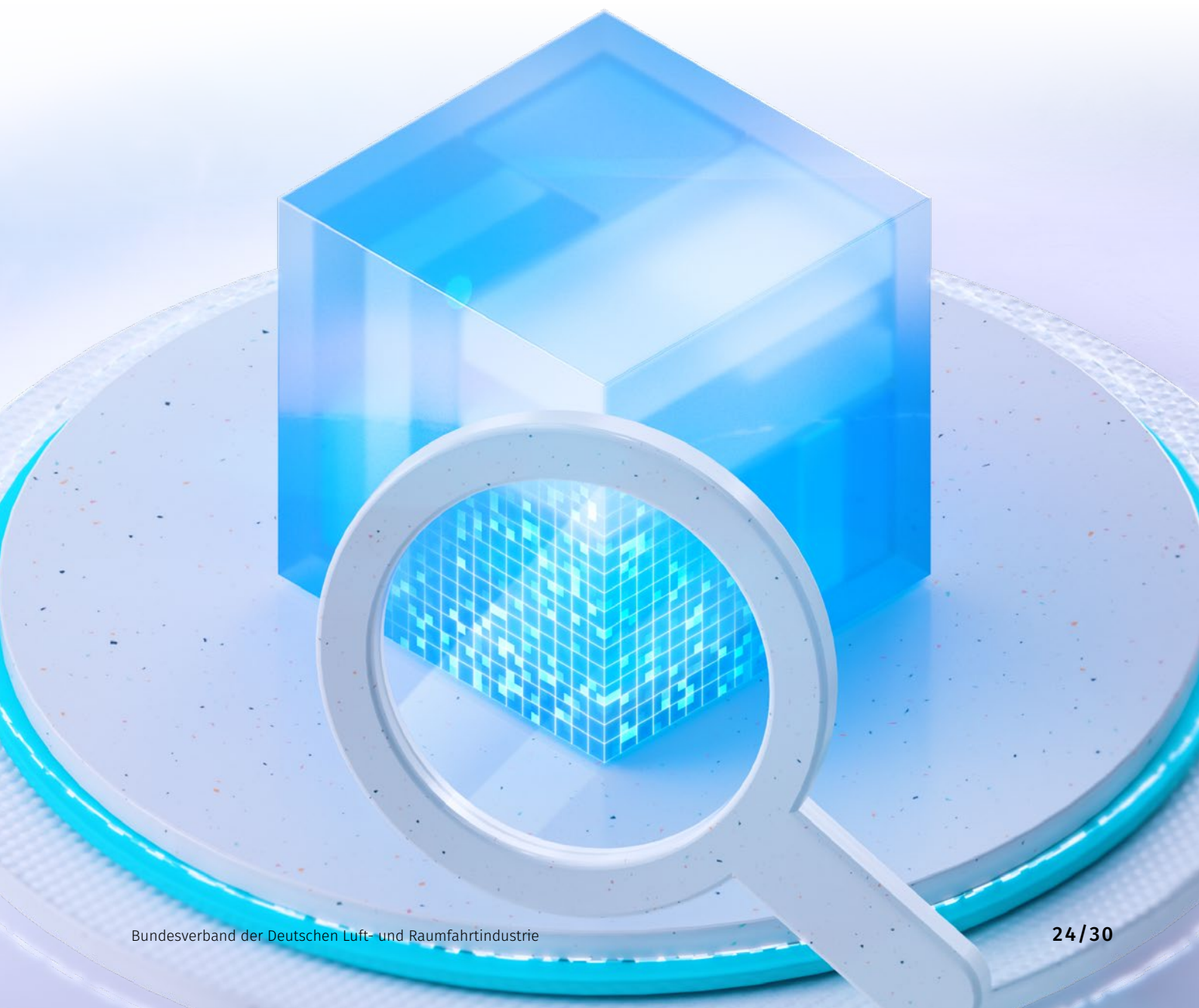
lyse angewandte Methodik als auch die verwendeten Datengrundlagen und das Lebenszyklusinventar umfassen. Ziel ist es, Genauigkeit, Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit der Studie zu überprüfen.

Eine solche Validierung stellt sicher, dass die eingesetzten Verfahren und Werkzeuge den Anforderungen der geltenden ISO-Normen (insbesondere ISO 14040 und 14044) sowie potenziell künftiger branchenspezifischer Regelwerke entsprechen. Darüber hinaus wird überprüft, ob die gewählten Systemgrenzen und Datenquellen dem festgelegten Anwendungsrahmen und den Zielsetzungen der Studie angemessen sind.

Mit der zunehmenden Relevanz von LCAs im regulatorischen Umfeld gewinnt die externe Überprüfung zusätzlich an Bedeutung – insbesondere dann, wenn Daten verschiedener Stakeholder zu einer integrierten Umweltbewertung zusammengeführt werden. Der Validie-

rungsprozess umfasst dabei nicht nur die Überprüfung der Inhalte, sondern auch die Bewertung der Interpretation und Darstellung der Ergebnisse. Ziel ist es, Konsistenz und Transparenz im Abschlussbericht sicherzustellen.

Ein weiterer zentraler Aspekt liegt in der Vermeidung irreführender Nachhaltigkeitskommunikation. Die unabhängige Validierung trägt dazu bei, Greenwashing vorzubeugen und das Vertrauen in kommunizierte Umweltaussagen zu stärken.



Validierungsansätze

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten für eine Validierung durch Dritte:

1. **Validierung jeder einzelnen LCA durch Dritte.** Dies würde erheblichen Aufwand, Zeit und Kosten erfordern.
2. **Validierung des Gesamtprozesses durch Dritte** (z. B. als Teil eines branchenspezifischen Regelwerks). Jede LCA muss mit der Prozessdefinition im Regelwerk übereinstimmen.

Für vereinfachte Umweltbewertungen, die während der Produktentwicklungsphase erstellt werden, ist eine Validierung durch Dritte nicht zwingend erforderlich. Alle Annahmen, die während dieser vorläufigen Bewertungen getroffen werden, sollten dokumentiert und unter Verwendung einer standardisierten Vorlage geteilt werden. Diese ersten Bewertungen können durch eine umfassende Lebenszyklusanalyse ersetzt werden, sobald die Produktentwicklung abgeschlossen ist. **Für die endgültige LCA ist eine Validierung durch Dritte erforderlich.**

3.6. Prioritäten setzen: Erstellung einer Produktliste für Cabin und Cargo

*Bei der Umsetzung von Transparenzmaßnahmen stellt sich eine grundlegende Frage:
Welche Produktgruppen sollten zuerst betrachtet werden?*

Eine sorgfältig zusammengestellte Liste relevanter Produktkategorien mit zugehörigen Referenz-LCAs bildet die Basis für einen ganzheitlichen Überblick über die Umweltauswirkungen einzelner Kabinenkomponenten. Dieser strategische Ansatz schafft einen strukturierten Rahmen, um ökologische Hotspots zu identifizieren und eine klare Priorisierung innerhalb der Produktgruppen vorzunehmen.

In einem ersten Schritt kann die Priorisierung auf Basis des Gewichtsanteils erfolgen, da das Gewicht in der Regel den größten Einfluss auf die Umweltbilanz eines Produkts hat. Die Gewichtsverteilung einzelner Produktgruppen lässt sich anhand typischer Single-Aisle-Kabinenlayouts in Leicht-, Mittel- und Schwergewichtskonfigurationen ermitteln. Produktgruppen mit hohem Gewichtsanteil könnten demnach vorrangig behandelt werden.

Eine alternative Herangehensweise fokussiert sich oder basiert auf Kabinenkomponenten, für die bereits belastbare Recyclingdaten oder Umweltdaten vorliegen. In diesen Fällen kann mit vergleichsweise geringem Aufwand eine erste LCA erstellt werden – insbesondere für Produkte mit geringer Komplexität und überschaubaren Lieferketten. Auf diese Weise lässt sich der Aufwand schrittweise skalieren: von einfachen Analysen bis hin zu umfassenden Umweltbewertungen komplexer Systeme.

Weitere Bewertungskriterien können der Energieverbrauch, die Produktlebensdauer sowie die Vielfalt der Lieferanten sein. Letztere wurde bewusst als Bewertungskategorie gewählt – denn gerade in diesem Bereich besteht auf Kundenseite eine große Auswahl. In solchen Fällen sollten besonders umfangreiche Umweltinformationen bereitgestellt werden, um eine fundierte Produktentscheidung auf Basis der besten Umweltleistung zu ermöglichen.

Prozentuale Gewichtsverteilung basierend auf einem durchschnittlichen Single-Aisle-Kabinenlayout



4. Strategische Empfehlungen für standardisierte Umweltbewertung in der Luftfahrt

Handlungsrahmen für die Umsetzung in der Industrie

Zur Weiterentwicklung von Umweltbewertungen in der Luftfahrtindustrie wird ein schrittweises Vorgehen bei der Entwicklung standardisierter Bewertungsrahmen empfohlen. Im ersten Schritt sollte der Fokus auf der Erarbeitung eines Standards für den Produkt-CO₂-Fußabdruck (PCF) liegen, der perspektivisch auf umfassendere Lebenszyklusanalysen (LCAs) ausgeweitet werden kann.

Bis formalisierte Standards vorliegen, empfiehlt sich die Anwendung übergreifender Richtlinien, die zentrale Annahmen definieren und ergänzend zu bestehenden ISO-Normen eingesetzt werden können. Darüber hinaus sollte ein vereinfachter Bewertungsansatz (Light LCA) entwickelt werden, der speziell auf die Anforderungen früher Phasen der Produktentwicklung zugeschnitten ist.

Zentrale Empfehlungen:

#1: Branchenweit zusammenarbeiten

Eine enge Zusammenarbeit innerhalb der Branche sowie die Anbindung an bestehende Arbeitsgruppen – etwa IAEG WG 12 oder Aerospace-X – wird empfohlen, um Synergien zu identifizieren, Partnerschaften zwischen den beteiligten Akteuren zu stärken und die Umsetzung von Umweltbewertungen in der Produktentwicklung zu fördern.

Die BDLI-Arbeitsgruppe kann in diesem Zusammenhang eine zentrale Rolle übernehmen: sowohl bei der Identifikation spezifischer Bedarfe im Bereich Cabin und Cargo als auch bei der Entwicklung der dafür erforderlichen Standards und Regelwerke.

#2: LCA-Ansätze standardisieren

Empfohlen wird die Entwicklung eines branchenspezifischen Regelwerks, das bestehende ISO-Standards gezielt ergänzt und klare Leitlinien für die Erstellung luftfahrtspezifischer Lebenszyklusanalysen (LCAs) bereitstellt. Ziel ist es, die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen und eine effizientere Nutzung vorhandener Ressourcen entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu ermöglichen.

#3: Ergebnispräsentation optimieren

Alle relevanten Umweltauswirkungen sollten vollständig erfasst werden. Für bestimmte Wirkungskategorien ist dabei eine Priorisierung anhand unterschiedlicher Genauigkeitsanforderungen im Rahmen eines Regelwerks vorzusehen. Ziel ist die Entwicklung einer klaren Empfehlung zur Ergebnisdarstellung, die ebenfalls im Regelwerk verankert ist und sowohl verständlich aufbereitet als auch flexibel an unterschiedliche Anwendungsbereiche angepasst werden kann.

Darüber hinaus sollte ein harmonisiertes Format für Datenschnittstellen etabliert werden – einschließlich Rahmenbedingungen, funktioneller Einheiten und Metriken –, um eine nahtlose Integration der Umweltdaten zwischen den beteiligten Akteuren zu ermöglichen.

#4: Ergebnisglaubwürdigkeit sicherstellen

Das Regelwerk sollte klare Vorgaben zur Validierung von LCA-Ergebnissen enthalten. **Dabei ist festzulegen, unter welchen Voraussetzungen eine externe Validierung durch unabhängige Dritte erforderlich ist, um Transparenz und Glaubwürdigkeit der Ergebnisse sicherzustellen.** Für veröffentlichte Lebenszyklusanalysen wird eine externe Validierung empfohlen. Im Rahmen des unternehmensübergreifenden Datenaustauschs kann hingegen eine interne Validierung ausreichend sein – vorausgesetzt, die angewandten Methoden und Daten werden nachvollziehbar dokumentiert und entsprechen den im Regelwerk definierten Standards.

#5: Berechnungstools verbessern

Die Entwicklung benutzerfreundlicherer LCA-Berechnungstools wird empfohlen, beispielsweise durch Verbesserung der Suchfunktionen und bessere Integration eigener Datensätze. Die Toolfreiheit ist entscheidend zur Wahrung des Wettbewerbs. Die Kompatibilität zwischen verschiedenen Tools sollte daher verbessert werden. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) stehen durch hohe Lizenzkosten und Komplexität vor erheblichen Hürden. Weitere Unterstützung wird daher empfohlen, z. B. in Form von vergünstigten/gemeinsamen Lizenzen aus einem gemeinsamen Pool. Darüber hinaus sollten Tools entwickelt werden, die eine Umweltbewertung auf Layoutebene ermöglichen, um fundierte Nachhaltigkeitsentscheidungen in einem frühen Stadium zu unterstützen.

#6: Datenbankqualität verbessern

Für die Luftfahrtindustrie sollten spezifische Datensätze zu Materialien integriert werden, um eine genauere LCA zu ermöglichen. **Es wird empfohlen, Datensätze, die den Qualitätsanforderungen des Regelwerks entsprechen, zu whitelisten und die Kompatibilität zwischen verschiedenen Datenbanken und Tools zu verbessern.** Auch die Möglichkeit, eigene Datensätze in die Tools zu integrieren, sollte ermöglicht werden.

#7: Kreislaufwirtschaftsmaßnahmen fördern

Dank ihrer kurzen Produktlebenszyklen bietet Cabin und Cargo die Möglichkeit, neue Innovationen schnell umzusetzen. Der Übergang zu einer stärker kreislauforientierten Wirtschaft sollte beschleunigt werden. Transparenz und Messbarkeit sind hierbei entscheidend, weshalb folgende KPIs empfohlen werden:

- Recyclatgehalt
- Anteil wiederverwendeter Komponenten
- Anteil an Materialien aus erneuerbaren Ressourcen (jeweils nach Massenprozent)
- Recyclingfähigkeit

Die Definition der Recyclingfähigkeit ist noch nicht etabliert. Eine standardisierte Definition sollte entwickelt werden.

Quellen

- [1]: ISO 14067:2018 – Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification
- [2]: ISO 14040:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework
- [3]: ISO 14044:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines
- [4]: Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on substantiation and communication of explicit environmental claims (Green Claims Directive), 2023, European Commission, Directorate-General for Environment
- [5]: Ecodesign for Sustainable Products Regulation, 2024, European Commission, Directorate-General for Environment
- [6]: ISO 59004:2024 – Circular economy – Vocabulary, principles and guidance for implementation
- [7]: Die Rolle von Cabin and Cargo für eine nachhaltige Luftfahrt, 2023, Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI – German Aerospace Industries Association)



Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie
(BDLI – German Aerospace Industries Association)

ATRIUM | Friedrichstraße 60, 10117 Berlin

www.bdl.de