



Ökobilanz von Verteilerfahrzeugen

Batterieelektrisch vs. Diesel





Inhalt

Inhalt.....	2
Kurzfassung.....	3
Autoren.....	4
Kontakt.....	4
Abkürzungen, Begriffe und Definitionen.....	6
Werkzeuge und Datenbanken.....	8
Ziel und Umfang.....	9
Sachbilanz.....	11
Produktion.....	12
Wartung.....	14
Verwertung.....	14
Ergebnisse	15
Diskussion	22
Schlussfolgerungen	25
Referenzliste	27
Anhang - Datensätze.....	29



Kurzfassung

Scania hat sich zum Ziel gesetzt, den Wandel hin zu einem nachhaltigen Transportsystem voranzutreiben. Eine ganzheitliche Betrachtung ist der Schlüssel, um sowohl das Geschäft unserer Kunden zu unterstützen als auch die Umweltbelastung anzugehen. Die Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA) ist eine ISO 14040/44-Methode zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Produkten oder Dienstleistungen über ihren gesamten Lebenszyklus: in diesem Fall die Fahrzeug- und Batterie-Produktion, -Nutzung, -Wartung und -Verwertung.

Die Ökobilanz wird bei Scania zur Bewertung der Umweltauswirkungen des Produkts und zur Festlegung interner Projektziele in der Produktentwicklung eingesetzt. Scania hat intern Kapazitäten und Kompetenzen zur Durchführung von Ökobilanzen aufgebaut und führt die Organisation anhand der Ökobilanz als Faktenbasis. Mit dieser externen Ökobilanz-Publikation geht Scania einen Schritt weiter, um Stakeholder über wichtige Ökobilanz-Ergebnisse zu informieren.

Scania befindet sich mitten in einer Transformation mit bereits vernetzten, stärker elektrifizierten und vermehrt autonomen Produkten und Dienstleistungen. Für die Produktentwicklung von Scania bedeutet dies mehr als die Produktion einiger weniger elektrifizierter Fahrzeuge – es wird ein kompletter modularer Baukasten benötigt, um die grosse Vielfalt an Nutzfahrzeugen auch als elektrifizierte Variante anzubieten. Das erste vollständig in Serie produzierte BEV von Scania ist im Herbst 2020 auf den Markt gekommen. Dies machte die Entscheidung leicht, diese erste öffentlich verfügbare Ökobilanz als Vergleich zwischen einem repräsentativen BEV, das in der ersten Markteinführung verfügbar ist, und einem entsprechenden ICEV durchzuführen.

Die Studie deckt den gesamten Lebenszyklus der Fahrzeuge von der Wiege bis zur Bahre ab, beginnend bei der Gewinnung und Veredelung der Rohstoffe und endend bei der Verwertung der Fahrzeuge. Die gewählte funktionale Einheit hat das Ziel, eine vollständige Lebensdauer der Fahrzeuge zu reflektieren und zu repräsentieren. Die funktionale Einheit ist: 500'000 km Fahrleistung in einem repräsentativen Verteilerzyklus mit einer durchschnittlichen Nutzlast von 6,1 t.

Die fahrzeugtechnischen Eigenschaften, abgesehen von den Antriebssträngen, werden so ähnlich wie möglich gehalten, um den Vergleich so fair wie möglich zu gestalten. Die installierte Batteriekapazität im BEV beträgt 300 kWh. Als Basis für die Kohlenstoff-Intensität des im BEV verwendeten Stroms wird der europäische Netzmix mit Bezugsjahr 2016 verwendet. Es wurden weitere Netzmischungen untersucht, um die Auswirkungen von zukünftigen prognostizierten Mischungen sowie von Ökostrom zu analysieren. Der für das ICEV verwendete Kraftstoff ist B7-Diesel mit 7% RME-Drop-In, repräsentativ für europäische Verhältnisse.

Die Produktion des BEV bringt eine höhere Umweltbelastung mit sich, hauptsächlich aufgrund der energieintensiven Herstellung der Batteriezellen. Die Treibhausgasemissionen steigen von 27,5 Tonnen CO₂eq (ICEV-Produktion) auf 53,6 Tonnen CO₂eq (BEV-Produktion). Die THG-Emissionen aus der Herstellung von Batteriezellen liegen bei 74 kg CO₂eq/kWh installierter Batteriekapazität. Trotz des erhöhten Produktionsaufwands zeigen die Auswirkungen auf den Klimawandel über den gesamten Lebenszyklus ein dramatisches Reduktionspotenzial durch BEV, dank der viel geringeren Auswirkungen aus der Nutzungsphase. Abhängig von der Kohlenstoff-Intensität im EU-Stromnetz reicht die THG-Reduktion über den gesamten Lebenszyklus von 38% (EU-Mix 2016) bis 63% (prognostizierter EU-Mix 2030). Der Antrieb des Fahrzeugs mit Ökostrom ist der Weg, um das Potenzial der BEV voll auszuschöpfen. Die Ergebnisse zeigen über den gesamten Lebenszyklus eine THG-Reduktion von 86%.



"Ein BEV, das nach 2020 auf den EU-Markt kommt, wird im Vergleich zur Diesel-Alternative über den gesamten Lebenszyklus eine Treibhausgas-Reduzierung von mehr als 50% aufweisen."

Aufgrund der höheren THG-Emissionen bei der Herstellung könnte man sagen, dass BEV im Vergleich zu ICEV eine Kohlenstoffschuld aufweisen. Die THG-Schuld wird irgendwann aufgrund der geringeren Emissionen pro km in der Nutzungsphase getilgt werden. Dies wird üblicherweise als Break-Even-Punkt bezeichnet, also der Zeitpunkt, an dem das BEV eine geringere Gesamt-THG-Belastung als das ICEV aufweist. Abhängig von der Kohlenstoff-Intensität liegt der Break-Even-Punkt zwischen 33'000 km (Ökostrom) und 68'000 km (Basisjahr 2016). Dies deutet darauf hin, dass BEV das Potenzial haben, bereits innerhalb von ein bis zwei Betriebsjahren das Klima weniger zu belasten als ICEV, und zwar für alle untersuchten Strommixe in diesem Bericht.

Am Ende des Lebenszyklus werden Scania Antriebsbatterien von Sammel- und Recyclingpartnern gesammelt, zerlegt, geschreddert und recycelt. Der genaue Recyclingprozess hängt von der geografischen Lage und der Einrichtung der Partner ab. Aufgrund der unterschiedlichen Marktstrukturen (Pilotprojekt vs. gross angelegte Verwertung) und der begrenzten Anzahl relevanter Daten wurde beschlossen, das Batterierecycling aus dem Verwertungsmodell auszuschliessen. Ausserdem wird im Ökobilanz-Modell keine zweite Lebensdauer der Batterie angenommen, was bedeutet, dass die gesamte Produktionslast dem Lebenszyklus des Scania-Fahrzeugs zugerechnet wird.

Auch für andere Wirkungskategorien wie Feinstaubbildung, Ozonbildung und terrestrische Versauerung gibt es ein dramatisches Reduktionspotenzial. Die Reduktion in diesen Kategorien liegt zwischen 83-97%, hauptsächlich durch den Wegfall der Auspuffemissionen.

Der Verbrauch fossiler Ressourcen und die Eutrophierung von Meeres- und Süsswasser nehmen beim BEV ebenfalls deutlich ab (18-48%), obwohl die Auswirkungen vor allem auf die Kohle bei der Stromerzeugung zurückzuführen sind. Der Hauptgrund dafür ist, dass die Well-to-Tank-Belastung durch die Dieselproduktion höher ist als die Belastung durch die Stromerzeugung.

"Mit nachhaltiger Batterieproduktion und Ökostrom wird das THG-Reduktionspotenzial für BEV weit über 90% liegen."

Diese Ökobilanz gibt einen Überblick über die Grössenordnung und das Verhältnis zwischen den Umweltauswirkungen für die BEV- und die ICEV-Verteilerfahrzeuge. Die Ökobilanz-Ergebnisse, insbesondere in absoluter Hinsicht, sind jedoch nicht dazu gedacht, mit anderen OEM verglichen zu werden. Die Wahl der funktionalen Einheit, der Methodik, des Umfangs und des Zugangs zu Primärdaten wird einen grossen Einfluss auf das Endergebnis haben.

Alle Fakten und Zahlen in diesem Bericht wurden in einem Hintergrundbericht von Dritten verifiziert (Scania-intern). Die Verifizierung wurde von IVL Svenska Miljöinstitutet gemäss der Norm ISO 14040/44 durchgeführt.

Autoren

Dora Burul
Energy Economy and Sustainability
Scania R&D

Energy Economy and Sustainability
Scania R&D

David Algsten



Kontakt

Andreas Follér
Head of Sustainability
andreas.foller@scania.com



Abkürzungen, Begriffe und Definitionen

LCA (Life Cycle Assessment)	Lebenszyklusanalyse/Ökobilanz
LCIA (Life Cycle Impact Assessment)	Wirkungsabschätzung
LCI (Life Cycle Inventory)	Sachbilanz
THG	Treibhausgas
CO ₂ eq	Kohlendioxid-Äquivalent
WtW Rad)	Well-to-Wheel (vom Bohrloch bis zum
WtT Tank)	Well-to-Tank (vom Bohrloch bis zum
TtW zum Rad)	Tank-to-Wheel (von der Tanksäule bis
ICEV (Internal Combustion Engine Vehicle)	Fahrzeug mit Verbrennungsmotor
BEV (Battery Electric Vehicle)	Batterieelektrisches Fahrzeug

Ökobilanz

Eine Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse ist eine Methodik zur Bewertung der Umweltauswirkungen, die mit allen Phasen des Lebenszyklus eines Produkts verbunden sind, von der Rohstoffbeschaffung über die Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung. Sie liefert einen ganzheitlichen Ansatz für die Umweltauswirkungen und vermeidet die Verlagerung von Lasten.

Die 4 Stufen der Ökobilanz sind: Ziel- und Umfangsdefinition, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Ziel und Umfang geben den Zweck der Studie, die beabsichtigte Anwendung und Zielgruppe, die Systemgrenzen und die Funktionseinheit an.

Die Sachbilanz (Life Cycle Inventory, LCI) ist der Prozess der Datensammlung und Berechnung des Produktmodells. Die Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) ist ein Schritt zur Klassifizierung und Charakterisierung potenzieller Umweltauswirkungen auf der Grundlage der LCI-Ergebnisse.

Die Auswertung erfolgt auf der Grundlage der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung und liefert eine Analyse auf der Basis des festgelegten Ziels und Umfangs. Die Ergebnisse werden für jede Wirkungskategorie analysiert, und es werden Unterschiede zwischen den Produkten, aber auch den Lebenszyklusphasen diskutiert. (ISO 14040:2006, ISO 14044:2006)

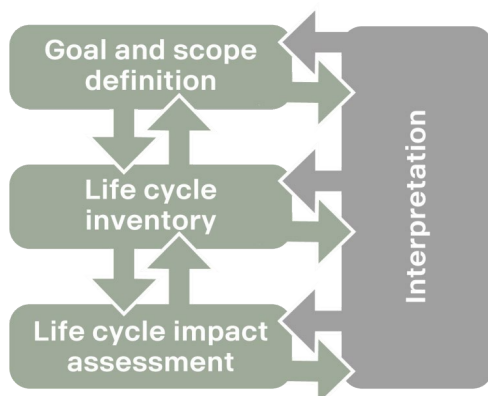


Abbildung 1. Vier Stufen der Ökobilanz

Funktionseinheit

Eine Ökobilanz ist nur innerhalb ihrer definierten Systemgrenzen und funktionalen Einheit gültig. Eine funktionale Einheit ist die "quantifizierte Leistung eines Produktsystems zur Verwendung als Referenzeinheit" (ISO 14044 2006).



Sachbilanz

Die Sachbilanz (Life Cycle Inventory, LCI) ist ein Teil der Ökobilanz, in dem alle notwendigen Daten gesammelt und modelliert werden. Es ist der Prozess der Quantifizierung von Rohstoffeinsatz, Energiebedarf und Emissionen über den Lebenszyklus des Produkts. Sie erstellt eine Bestandsaufnahme der elementaren Flüsse aus der und in die Ökosphäre für ein Produktsystem.

Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) wandelt die Elementarströme aus der Sachbilanz in potenzielle Umweltauswirkungen um. Es ist üblich, dies in 4 Stufen zu definieren: Klassifizierung, Charakterisierung, Normalisierung und Gewichtung. Die vorliegende Analyse beinhaltet Klassifizierung und Charakterisierung als obligatorische LCIA-Schritte und schliesst Normalisierung und Gewichtung aus, da sie von der ISO 14040/44 nicht für die externe Kommunikation empfohlen werden. Der Klassifizierungsschritt ordnet die LCI-Ergebnisse bestimmten Umweltwirkungskategorien zu (z. B. CO₂ und CH₄ wird der Kategorie CCP, Climate Change Potential, zugeordnet). Der Charakterisierungsschritt wandelt (über Charakterisierungsfaktoren) die LCI-Ergebnisse pro Wirkungskategorie in Wirkungskategorie-Indikatoren um (z. B. CH₄ wird in CO₂eq umgerechnet).

Betriebsdaten

Betriebsdaten sind Daten, die in den Fahrzeugsteuergeräten gespeichert sind. Es werden ca. 2000 Variablen + berechnete Variablen gespeichert. Das Auslesen erfolgt, wenn die Fahrzeuge die Werkstatt besuchen, und die Daten werden in einem Betriebsdatenlager gespeichert.

Die Betriebsdaten ermöglichen es, die Leistung der Fahrzeuge (z. B. den Kraftstoffverbrauch) und die Art und Weise, wie die Fahrzeuge betrieben werden, zu analysieren. Die Informationen werden von einer Vielzahl von Akteuren wie Produktentwicklern, Analysten, Werkstätten, Fahrdiensten usw. genutzt.

Materialliste

Eine Materialliste ist eine Liste aller Materialien und der Menge jedes Materials, das im Fahrzeug verwendet wird.

Treibhausgas-Protokoll

Das Treibhausgas-Protokoll ist ein globaler Rahmen zur Standardisierung der Bilanzierung von Treibhausgasemissionen. Um die Bereiche des THG-Protokolls mit den in dieser Ökobilanz abgedeckten Bereichen in Beziehung zu setzen, werden die folgenden Bereiche für die THG-Auswirkungskategorie vollständig oder weitgehend abgedeckt:

Bereich 1: Direkte Treibhausgasemissionen

Bereich 2: Indirekte

Treibhausgasemissionen

Bereich-3-Kategorien:

1. Gekaufte Waren und Dienstleistungen
4. Vorgelagerte Transporte und Verteilung
9. Nachgelagerte Transporte und Verteilung
11. Verwendung der verkauften Produkte
12. End-of-Life-Behandlung von verkauften Produkten



Werkzeuge und Datenbanken

GaBi

LCA-Software mit LCI-Datenbanken von Sphera Solutions GmbH.

LEAD-Datenbank

GaBi Professional Datenbank, die sowohl Open-Source-, Gabi-spezifische als auch vom VW-Konzern entwickelte Datensätze enthält.
Service Pack 39 in dieser Studie verwendet.

Scania Mapping List

Die Mapping-Liste ist eine xml-Datei, die jedes Material in einem Scania-Fahrzeug mit dem entsprechenden LEAD-Datensatz beschreibt. Sie ermöglicht eine automatische Modellerstellung.

SlimLCI+

Die SlimLCI+ Anwendung gleicht LEAD-Datensätze mit der Materialliste ab, basierend auf der Scania Mapping-Liste.

IMDS

Das International Material Data System (IMDS) ist ein gängiges Materialdatensystem für die Automobilindustrie, in dem Informationen über die Materialzusammensetzung von Teilen von den Lieferanten gemeldet werden.

SMART

Scania-Tool (von iPoint-systems GmbH) zur Verwaltung von Materialdatenblättern (MDS) aus dem IMDS.

VECTO

Das Vehicle Energy Consumption Calculation Tool (VECTO) wurde von der Europäischen Kommission als offizielles Simulationswerkzeug für Kraftstoff-/Energieberechnungen von schweren Nutzfahrzeugen zur Deklaration von CO₂-Emissionen entwickelt.



Ziel und Umfang



Das Ziel dieser Ökobilanz ist es, die Umweltauswirkungen eines Elektro-LKW im Verteilerverkehr zu bewerten und ihn mit seinem dieselbetriebenen Pendant zu vergleichen. Die Ergebnisse werden mit der Absicht veröffentlicht, das Wissen über die Lebenszyklus-Umweltauswirkungen von schweren Nutzfahrzeugen und den Vergleich zwischen BEV und ICEV im Speziellen zu erweitern.

Die Studie deckt den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs von der Wiege bis zur Bahre ab, beginnend bei der Gewinnung und Veredelung von Rohstoffen und endend bei der Verwertung der Fahrzeuge.

Die funktionale Einheit in dieser Studie hat das Ziel, eine volle Betriebsdauer der Fahrzeuge abzubilden und zu repräsentieren. Basierend auf Studien von Betriebsdaten wurden repräsentative Zahlen für Laufleistung und Nutzlast abgeleitet. Die Betriebsdaten wurden auch verwendet, um die VECTO-Standardfahrzyklen so anzupassen, dass sie dem realen Betrieb nahekommen. Die funktionale Einheit ist: 500'000 km gefahren in einem repräsentativen Verteilerzyklus mit einer durchschnittlichen Nutzlast von 6,1 Tonnen.

Die Bewertung erfolgt auf der Midpoint-Ebene mit der ReciPe 2016 v1.1 Hierarchist-Methodologie. Die hierarchistische Perspektive basiert auf dem wissenschaftlichen Konsens in Bezug auf den Zeitrahmen und die Plausibilität der Wirkungsmechanismen. Zum Beispiel wird das Potenzial des Klimawandels über 100 Jahre betrachtet (Huijbregts et al., 2017). Die Studie zeigt potenzielle Auswirkungen für: Klimawandel, Feinstaubbildung, fossile Ressourcennutzung, Süßwasser- und Meereseutrophierung, Ozonbildung (menschliche Gesundheit und Ökosysteme) und terrestrische Versauerung. Diese Wirkungskategorien wurden aufgrund der Relevanz der Auswirkungen für die Transportindustrie und der Reife der Methode ausgewählt (European Commission et al., 2011; Van Loon et al., 2018). Weitere Wirkungskategorien wie der Abbau von



Bodenschätzen, der Wasserverbrauch und die Toxizität, die als relevant für Scania-Produkte angesehen werden können, sind vorhanden, werden aber an dieser Stelle nicht berücksichtigt aufgrund der Tatsache, dass sie sich noch in einem erheblichen methodischen Verbesserungsprozess befinden. Sie werden in der Zwischenzeit intern überwacht und in Zukunft kommuniziert.

Diese Ökobilanz ist attributiv, da sie auf gemessenen historischen Daten basiert, was ihren Zweck erfüllt, die Emissionen aus dem Lebenszyklus eines Fahrzeugs korrekt zu erfassen, anstatt eine Schätzung darüber abzugeben, wie sich die Produktion und Nutzung des Fahrzeugs auf die globalen Umweltbelastungen auswirken, was ein folgenreicherer Ansatz wäre.

Eine Zuordnungsmethode ist notwendig, wenn die Umweltauswirkungen eines Prozesses mehreren Produkten oder Dienstleistungen zugeordnet werden sollen. Die Aufteilung zwischen den Produkten oder Dienstleistungen kann auf der Grundlage von Eigenschaften wie Masse, Energie oder wirtschaftlichen Werten erfolgen. In dieser Studie wurden keine spezifischen Zuordnungen von Umweltauswirkungen ausser den bereits in den LEAD-Datensätzen enthaltenen vorgenommen. Die Zuordnungen der LEAD-Datensätze sind in der Software-Dokumentation beschrieben (<http://www.gabi-software.com/international/databases/gabi-data-search/>).

LEAD-Datensatz-Trennungskriterien, wie in der Software-Dokumentation (www.gabi-software.com) beschrieben, werden verwendet.

Gutschriften für Sekundärmaterialien während der Verwertungsphase werden nicht berücksichtigt. Die Wartung (mit Ausnahme von Reifen) wird aufgrund der geringen Bedeutung für die Umwelt (0,1 - 0,3% des Lebenszyklus) und der Schwierigkeit, eine durchschnittliche Wartung zu definieren (wegen des breiten Spektrums an Anwendungen) ausgeschlossen.

Die Schritte der Komponenten-Produktion in der Lieferkette sind für alle Teile, die nicht in den Scania-Werken hergestellt werden, ausgeschlossen (ausser Reifen und Antriebsbatterien).

Der Grund dafür ist der eingeschränkte Zugang zu Daten und die Unbedeutsamkeit für die Umwelt (<1% der Produktionsphase).

Diese Ökobilanz gibt einen Überblick über die Grössenordnung und das Verhältnis zwischen den Umweltauswirkungen von BEV- und ICEV-Verteilerfahrzeugen. Die Ökobilanz-Ergebnisse, insbesondere in absoluten Zahlen, sind jedoch nicht dazu gedacht, mit anderen OEM verglichen zu werden. Die Wahl der funktionalen Einheit, der Methodik, des Umfangs und des Zugangs zu Primärdaten wird einen grossen Einfluss auf das Endergebnis haben. Scania begrüsst die langfristige Entwicklung von allgemeineren Ökobilanz-Leitlinien mit der ISO14040/44 als Grundlage und verpflichtet sich, zu dieser Entwicklung beizutragen.

Die Fahrzeuge

Die Produkte von Scania basieren auf dem Konzept der Modularität im Gegensatz zu einem Konzept, das Fahrzeugmodelle vorsieht. Das modulare System ermöglicht einzigartig angepasste Fahrzeuge für jede Art von Transportaufgabe. Die Spezifikation der in dieser Ökobilanz thematisierten BEV basiert auf Verkaufsprognosen für BEV, die in einem Segment eingesetzt werden, das am besten als gemischtes Verteilersegment bezeichnet werden kann, in dem der Kundenbetrieb aus einer Mischung aus Stadt- und Regionalverkehr besteht.

Ein vergleichbares ICEV mit Dieselantrieb wird sorgfältig ausgewählt, um dem BEV so nahe wie möglich zu kommen und gleichzeitig sicherzustellen, dass es ein guter Repräsentant für die ICEV in diesem Segment ist. Dies geschieht auf Basis von Verkaufsstatistiken sowie internem Wissen und stellt sicher, dass der Vergleich fair und relevant ist.



Vehicle	Technical GVW	Cab	Wheel configuration	Power (peak/continuous)	Traction battery capacity	Transmission
ICEV	28 ton	P17	6x2*4	320 hp Euro 6	N/A	8 speed GR875 Opticruise
BEV	28 ton	P17	6x2*4	295/230 kW	300 kWh	2 speed GE21S21

Tabelle 1. Übersicht Spezifikation der Fahrzeuge.

Beide Fahrzeuge sind dreiachsige Solofahrzeuge mit gelenkter Nachlaufachse. Sie sind mit P17-Fahrerhäusern ausgestattet und die Fahrgestelle sind für einen Kofferaufbau angepasst. Im Grunde unterscheiden sich die Fahrzeuge nur durch den Antriebsstrang. Die Unterschiede im Antriebsstrang und das Batteriegewicht führen dazu, dass das BEV ein höheres Leergewicht von ca. 1 Tonne hat.

Sachbilanz



In der Sachbilanz (Life Cycle Inventory, LCI) werden Daten für jede Lebenszyklusphase erfasst: Produktion, Nutzung, Wartung und Verwertung.

Der Prozess der Datenerfassung unterscheidet sich zwischen den Lebenszyklusphasen. Die Daten der Produktionsphase basieren auf den Fahrzeugspezifikationen und Materialzusammensetzungs-Daten von Teilelieferanten über IMDS. Die Daten der Nutzungsphase basieren auf Energieverbrauchs-Simulationen (VECTO) und Betriebsdaten. Die Wartungsphase (beschränkt auf Reifenwechsel) und die Verwertungsphase basieren auf externen Ökobilanz-Studien.



Produktion

Die Datenerfassung beginnt mit der Erfassung von Materialdaten für das gesamte Fahrzeug. Jedes Fahrzeug hat über 10'000 gemeldete Materialien, die dann in Materialgruppen klassifiziert werden und schliesslich eine Liste von ~45 Materialien pro Fahrzeug bilden.

Zur Visualisierung wurden die ~45 Materialien in den Fahrzeugen in breitere Materialkategorien unterteilt und als Gewichtsanteil von BEV und ICEV dargestellt.

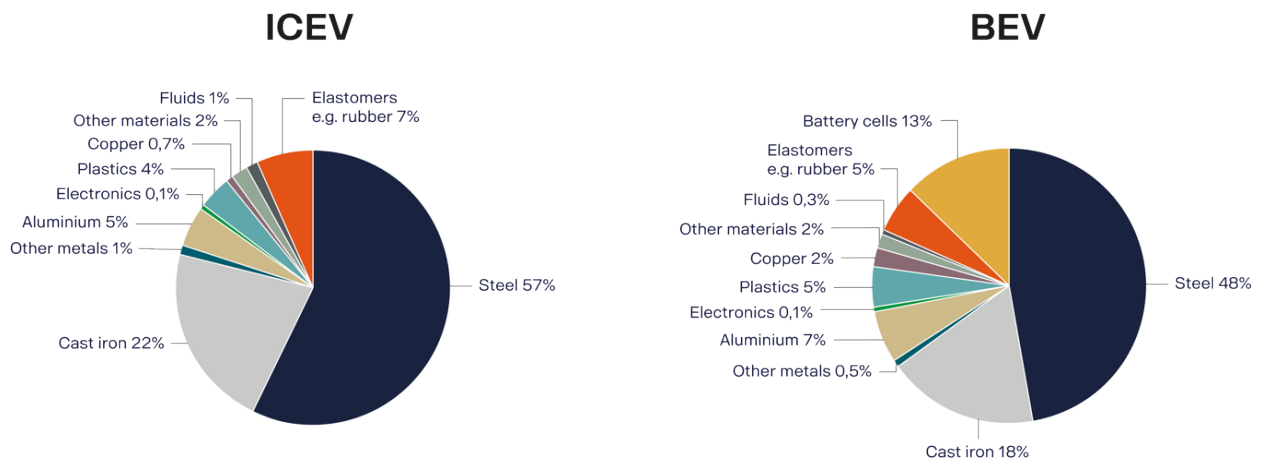


Abbildung 2. Materialzusammensetzung. Materialkategorien ausgedrückt in Prozent des gesamten Fahrzeuggewichts.

Material- und Gewichtsinformationen werden in der Materialliste zusammengestellt. Die Materialliste wird zusammen mit der Scania Mapping List in SlimLCI+ importiert, wo jedem Material der am besten passende Datensatz zugewiesen wird. LEAD-Datensätze beschreiben die Umweltbelastungen für die Rohstoffgewinnung und die Produktion von Halbfertigprodukten.

Hauptsächlich werden Branchendurchschnitts-Datensätze aus der LEAD-Datenbank verwendet, aber für einige Materialien (z. B. Materialien mit hohem Gewicht: Stahl und Aluminium) wurden Scania-spezifische Datensätze entwickelt, um den von Scania verwendeten Stahl und das Aluminium genau darzustellen. Der Scania Stahl-Datensatz basiert auf Standard-LEAD-Datensätzen und umfasst 82% Primär- und 18% Sekundärmaterial. Der Scania Aluminium-Datensatz basiert auf Standard-LEAD-Datensätzen und umfasst 52% Primär- und 48% Sekundärmaterial.

Im nächsten Schritt wird die Prozessenergie addiert, die bei der Komponentenfertigung und der Fahrzeugmontage verwendet wird. Folgende Komponenten und Montageschritte werden abgedeckt: Antriebsstrang und Transmissionskomponenten, Kabine, Fahrwerkskomponenten und Endmontage des Gesamtfahrzeugs. Ein internes Monitoring der direkten und indirekten Emissionen (Bereich 1 und 2, THG-Protokoll) ermöglicht die Nachverfolgung der Treibhausgasemissionen aus diesen Aktivitäten. Zusätzlich werden THG-Emissionen aus logistischen Vorgängen wie Transporte von direkten Lieferanten oder der Transport der produzierten Fahrzeuge zum Händler einbezogen.

Für die Bewertung der Auswirkungen von Reifen werden Cradle-to-Gate-LCA-Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Michelin durchgeführt. Dadurch wird sichergestellt, dass alle Umweltauswirkungen der Reifenherstellung korrekt erfasst werden und nicht nur Material-, sondern auch Prozessdaten berücksichtigt werden.

Die Antriebsbatterie ist mit der NMC622-Batteriezellen-Technologie hergestellt. Die installierte Kapazität beträgt 300 kWh. Die Batterieproduktion ist aufgrund der



energieintensiven Prozessschritte ein Hotspot. Die grössten Hotspots der Batteriezellen-Produktion sind der Energieeinsatz (Strom und thermische Energie) bei der Herstellung des kathodenaktiven Materials (CAM) und der Zellfertigung.

Die Fertigung der Batteriezellen erfolgt in Europa, während die vorgelagerten Schritte in China durchgeführt werden. Das bedeutet, dass die Zellteilkomponenten wie Kathode und Anode mit chinesischem Strommix (854 g CO₂eq/kWh) produziert werden, während bei der Zellfertigung der europäische Strommix (424 g CO₂eq/kWh) benutzt wird. Das Modell für die Batteriezellen-Produktion basiert auf Daten der Lieferanten und die Modellierung erfolgt durch den VW-Konzern. Das Ökobilanz-Modell ist repräsentativ für die NMC622-Technologie.

Nutzung

Kraftstoff- und Energieverbrauch

Ein wesentlicher Bestandteil der Bewertung der Auswirkungen aus der Nutzungsphase ist es, repräsentative Kraftstoff- und Energie-Verbrauchswerte für die Fahrzeuge zu erhalten. Es wird ein simulationsbasierter Ansatz mit VECTO als Simulationswerkzeug verwendet. VECTO wurde von der Europäischen Kommission als offizielles Tool für Kraftstoff-/Energieberechnungen für schwere Nutzfahrzeuge zur Deklaration von CO₂-Emissionen entwickelt (Europäische Kommission, 2017).

Basierend auf den Betriebsdaten der vernetzten Fahrzeuge von Scania wurden die VECTO-Zyklen für den *Stadtverkehr* und den *Regionalverkehr* angepasst, um die typischen Fahrbedingungen für Scania-Verteilerfahrzeuge besser abzubilden. Die Fahrzeuge werden in beiden Zyklen simuliert und anschliessend werden die Ergebnisse aus jedem Zyklus zu einem Gesamtergebnis gewichtet. Die mit dieser Methodik abgeleiteten Verbrauchswerte wurden mit realen Verbrauchswerten aus Betriebsdaten validiert und zeigen eine beruhigende Konsistenz.

Weiterhin wird angenommen, dass die Fahrzeuge mit dem gleichen Aufbau (Kasten) ausgestattet sind, und erhalten somit den gleichen Luftwiderstandswert C_dxA zugeschrieben. In den Simulationen wurden die gleichen Reifen und die gleiche Gewichtsverteilung zwischen den Achsen verwendet. Der resultierende Kraftstoffverbrauch für das ICEV beträgt 25,5 l/100 km und der Energieverbrauch für das BEV beträgt 93,2 kWh/100 km (ohne Ladeverluste, *siehe Well-to-tank*).

Well-to-Tank

Es wird davon ausgegangen, dass der ICEV mit einer B7-Dieselmischung mit 7% RME-Drop-in betrieben wird, die für europäische Bedingungen repräsentativ ist (ACEA, 2013). Neben dem Kraftstoff wird auch das im Nachbehandlungs-System verwendete AdBlue zur Reduzierung der Auspuffemissionen in die Analyse einbezogen.

Als Baseline wird angenommen, dass das BEV mit dem EU-Strommix, Referenzjahr 2016, betrieben wird (im Text: EU Baseline). Das Referenzjahr ist 2016, da dies die verfügbaren Daten im LEAD Datenbank Service Pack 39 sind und es auch mit dem im Batteriezellen-Modell verwendeten Strom übereinstimmt. Die Kohlenstoff-Intensität in dieser EU Baseline beträgt 424 g CO₂eq/kWh, was hinsichtlich des heutigen europäischen Strommixes ein vorsichtiger Ansatz ist.

Da die BEV-Ladeverluste nicht in den VECTO-Verbrauchsergebnissen enthalten sind, muss dies separat berücksichtigt werden. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass 80% der Ladevorgänge über Nacht und 20% der Ladevorgänge als Schnellladung durchgeführt werden. Die Ladeverluste (Verluste in der Ladestation plus Verluste im Fahrzeug) werden für das Laden über Nacht mit 5% und für das Schnellladen mit 10% angenommen. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher Ladeverlust von 6%, der zum BEV-Energieverbrauch addiert wird und 98,7 kWh/100 km ergibt.



Tank-to-Wheel

Die Auspuffemissionen für den ICEV basieren auf dem simulierten Kraftstoffverbrauch und auf Betriebsdaten. Die CO₂- und N₂O-Emissionen sind stochiometrisch und damit eine Funktion des simulierten Kraftstoffverbrauchs und des AdBlue-Verbrauchs (als Durchschnittswert aus den Betriebsdaten). Für die NO_x-Emissionen werden ebenfalls Betriebsdaten verwendet.

Die CO-, NMHC-, NH₃- und PM_{2,5}-Emissionen werden anhand des simulierten Kraftstoffverbrauchs in Kombination mit den gesetzlichen Grenzwerten für diese Emissionen gemäss der WHTC-Gesetzgebung berechnet und sind daher moderate Werte (Europäische Kommission, 2011).

Das BEV hat keine TtW-Emissionen (Auspuffemissionen).

In der Nutzungsphase kommen noch Partikelemissionen (PM_{2,5}) hinzu, die durch Reifen- und Bremsenverschleiss entstehen (Ntziachristos und Boulter, 2016).

Wartung

Während der Lebensdauer werden Teile wie Reifen, Starterbatterien, Bremsbeläge, Öle usw. im Rahmen der Wartung gewechselt. Bei der Untersuchung der Auswirkungen der Wartung (ohne Reifen) zeigt sich jedoch, dass die Umweltauswirkungen insgesamt unbedeutend sind. Die Grössenordnung liegt zwischen 0 und 0,3% der Lebenszyklusemissionen sowohl für ICEV als auch für BEV. Daher besteht die Wartungsphase in dieser Studie nur aus dem Reifenwechsel, der den einzigen umweltrelevanten Teil der Wartung darstellt. Es wird von zwei kompletten Reifensätzen zusätzlich zu den in der Produktion montierten Reifen ausgegangen. Es wird angenommen, dass die Lithium-Ionen-Batterien die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs überdauern, d. h. es wird kein Batteriewechsel berücksichtigt.

Verwertung

Die Verwertungsphase basiert auf einem generischen Modell für die Verwertung eines schweren Nutzfahrzeugs. Für die bei der Fahrzeugverwertung anfallenden Sekundärmaterialien werden keine Gutschriften berücksichtigt.

Es wird keine zweite Lebensdauer der Batterie angenommen, d. h. die volle Produktionslast wird dem Lebenszyklus des Fahrzeugs zugerechnet.

Scania verfügt über eine gut vorbereitete Batterierecycling-Einrichtung für alle Märkte. Der genaue Recyclingprozess hängt vom Markt und der geografischen Lage ab. Die Batterien werden von Partnern gesammelt, demontiert, geschreddert und von Recyclingpartnern in ihren Anlagen recycelt. Aufgrund der unterschiedlichen Marktkonstellationen (Pilotprojekt vs. grossangelegte Verwertung) und der begrenzten Anzahl relevanter Daten wurde entschieden, das Batterierecycling aus dem Verwertungsmodell auszuschliessen. Durch den Ausschluss des Batterierecyclings werden die Belastungen durch die im Recyclingprozess verwendete Energie nicht berücksichtigt. Obwohl dies eine eindeutige Einschränkung der Studie darstellt, wird erwartet, dass der Einfluss dieses Schrittes für alle verwendeten Wirkungskategorien gering ist (basierend auf den Ergebnissen der aktuellen Verwertungswirkung).



Ergebnisse



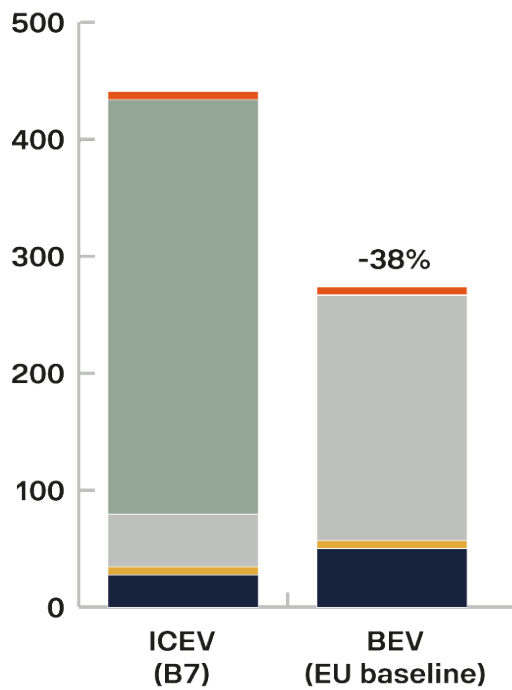
Eine Umweltwirkungskategorie, die beim Vergleich von ICEV mit BEV von besonderem Interesse ist, ist das Klimawandelpotenzial (Climate Change Potential, CCP). In der EU sind Busse und schwere Lkw für ca. 6% der gesamten THG-Emissionen verantwortlich, mit steigender Tendenz aufgrund des zunehmenden Güterverkehrs (Europäische Kommission, 2016). Das Klimawandelpotenzial ist aufgrund des fossilen Energiegehalts in der Nutzungsphase die mit Abstand wichtigste Umweltwirkungskategorie für Scania. Es bleibt für BEV aufgrund der Emissionen aus der Stromerzeugung und der Batterieproduktion stark im Fokus. Die Bedeutung des Klimawandels als wichtigste Wirkungskategorie im Vergleich zu anderen Umweltauswirkungen wurde durch Scania-interne Ökobilanzen und Materialitätsanalysen sowie durch externe Studien, z. B. die RICARDO-Studie (Hill et al., 2020), bestätigt. Daher ist der grösste Teil des Ergebniskapitels den Klimaauswirkungen gewidmet.

Klimawandelpotenzial

Das Klimawandelpotenzial beschreibt die Emission von Treibhausgasen (THG), die zu einer Erhöhung der Wärmeabsorption der Sonnenstrahlung innerhalb der Atmosphäre führen und somit zu einer Erhöhung der globalen Durchschnittstemperaturen beitragen können. Die Referenzsubstanz für das Klimawandelpotenzial ist Kohlendioxid. Alle anderen Treibhausgase (z. B. CH₄, N₂O, PFC) werden im Verhältnis zu Kohlendioxid berechnet (CO₂-Äquivalente). In Abbildung 4 sind die gesamten Lebenszeit-THG-Emissionen für die Fahrzeuge dargestellt, aggregiert nach Lebenszyklusphasen. Die Nutzungsphase wurde unterteilt in Well- to-Tank (WtT) und Tank-to-Wheel (TtW).



tonnes
CO₂eq



Vehicle	Production	Maintenance	Use WtT	Use TtW	Recovery
ICEV (B7)	27,5	2,4	44,9	354,3	2,1
BEV (EU baseline)	53,6	2,4	209,5	0,0	2,1

Abbildung 3. THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus, dargestellt als Tonnen Co₂eq pro Lebenszyklusphase. Die Nutzungsphase ist unterteilt in Well-to-Tank und Tank-to-Wheel.

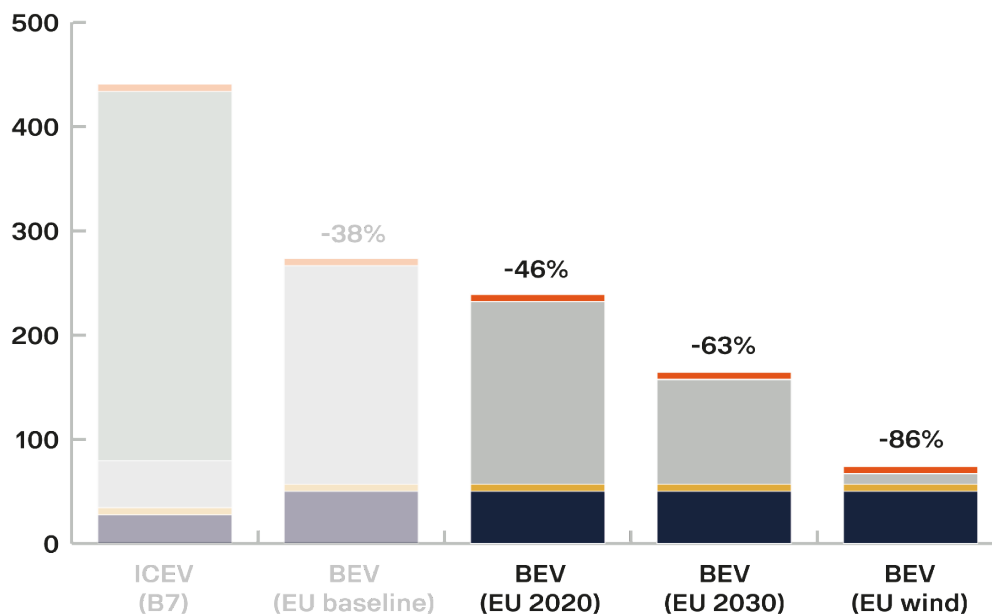
Obwohl die Auswirkungen der Produktionsphase beim BEV im Vergleich zum ICEV fast doppelt so hoch sind, ist die Nutzungsphase sowohl beim ICEV als auch beim BEV die eindeutig dominierende Phase. Im Basisszenario (EU Baseline) kann das BEV die gesamten THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus im Vergleich zum ICEV um 38% reduzieren.



BEV-Potenzial mit verbessertem Strommix in der Nutzungsphase

Der für die Nutzungsphase betrachtete Strommix ist der wichtigste Einzelparameter, der die Gesamtumweltauswirkungen von BEV beeinflusst. Für die Baseline wird der EU-Strommix für das Referenzjahr 2016 verwendet. Die Stromproduktion auf der ganzen Welt verbessert sich jedoch kontinuierlich, was es relevant macht, eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen, wie sich unterschiedliche Strommixe in der Nutzungsphase auf die gesamten THG-Emissionen während der Lebensdauer auswirken. Aus diesem Grund wurde der erwartete EU-Strommix für die Jahre 2020 und 2030 modelliert, basierend auf der Veröffentlichung World Energy Outlook 2019 der International Energy Agency. Die Umweltbelastung der Stromerzeugung nach Quellen wird der LEAD-Datenbank entnommen und mit den im WEO 2019 für das Szenario "Stated Policies" veröffentlichten Stromanteilen gekoppelt (IEA, 2019). Da die erneuerbaren Energien im WEO 2019 als eine Gruppe zusammengefasst werden, basiert die Aufschlüsselung nach Quellen auf der RICARDO-Studie (Hill et al., 2020). Verteilungs- und Übertragungsverluste von 6,9% werden gemäss der LEAD-Datenbank addiert und ergeben den EU-Strommix 2020 (355 g CO₂eq/kWh) und 2030 (203 g CO₂eq/kWh). Als zusätzliche Alternative wird EU-Wind (der Ökostrom repräsentiert) untersucht. In dieser Sensitivitätsanalyse wird der Strommix für alle Phasen (inkl. Batteriezellen-Produktion) ausser der Nutzungsphase unverändert beibehalten (EU Baseline).

tonnes
CO₂eq



Vehicle	Production	Maintenance	Use WtT	Use TtW	Recovery
ICEV (B7)	27,5	2,4	44,9	354,3	2,1
BEV (EU baseline)	53,6	2,4	209,5	0,0	2,1
BEV (EU 2020)	53,6	2,4	175,0	0,0	2,1
BEV (EU 2030)	53,6	2,4	100,2	0,0	2,1
BEV (EU wind)	53,6	2,4	4,7	0,0	2,1

Abbildung 4. THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus, dargestellt als Tonnen CO₂eq pro Lebenszyklusphase. Die Nutzungsphase ist in Well-to-Tank und Tank-to-Wheel unterteilt. Für den Strom der Nutzungsphase werden vier verschiedene Netzmix-Szenarien verwendet.



Abbildung 4 zeigt die Auswirkungen des Netzmixes auf die Lebenszyklus-THG-Emissionen. Es sollte beachtet werden, dass diese Ergebnisse von einem konstanten Netzmix über den gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs vom ersten bis zum letzten Kilometer ausgehen. Das bedeutet, dass Abbildung 4 eher den potenziellen Effekt von Netzmix-Verbesserungen zeigt als den realen Fall, der die aggregierten Auswirkungen des sich ändernden Netzmixes wäre.

Wenn das BEV in der Nutzungsphase mit einem Strommix betrieben wird, der im Durchschnitt dem prognostizierten EU-2020-Mix entspricht, beträgt die Reduzierung über die Lebensdauer 46% im Vergleich zum ICEV (B7), während ein Mix, der dem prognostizierten EU-2030-Mix entspricht, eine Reduzierung von 63% ergibt. Da es wahrscheinlich ist, dass der Netzmix am Ende der Fahrzeuglebensdauer näher am prognostizierten EU-2030-Mix liegt, wird die erwartete Reduktion über den gesamten Lebenszyklus irgendwo zwischen 46-63% liegen.

Bei Verwendung von Ökostrom (wie EU Wind), was bereits heute möglich ist, kann die Reduktion über den gesamten Lebenszyklus für das BEV bis zu 86% betragen.

Beachten Sie, dass Well-to-Wheel für das ICEV B7 in diesen Vergleichen als konstant angenommen wird und das Ergebnis anders ausfallen würde, wenn eine höhere Biodiesel-Beimischung als die angenommenen 7% der Fall wäre.

Mögliche Diesel-Verbesserungen

Der Fokus in diesem Bericht liegt darauf, das Potenzial eines batterieelektrischen Fahrzeugs im Verhältnis zu einem mit Diesel B7 betriebenen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor aufzuzeigen. Es soll jedoch deutlich gemacht werden, dass es möglich ist, die THG-Emissionen eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor deutlich zu verbessern. Die Beimischung von Biodiesel (in erster Linie HVO) ist in vielen Märkten bereits auf einem signifikanten Niveau, und Pläne für eine kontinuierliche Erhöhung der Beimischung gibt es auf mehreren europäischen Märkten. Scania Dieselmotoren können mit 100% HVO betrieben werden.

Wenn in dieser Studie B7 durch HVO auf Abfallbasis (Rindertalg) ersetzt wird, werden die THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus für das ICEV um 74% reduziert (Well-to-Wheel-Reduktion 81%).

Treibhausgas-Emissionen aus der Fahrzeugproduktion

Wie in Abbildung 5 dargestellt, machen die THG-Emissionen aus der Produktion nur 6% der Gesamtemissionen aus. Bei einem BEV (EU Baseline) steigt der Anteil der Produktion auf 20% der Gesamtemissionen. Da sich der Übergang von ICEV zu BEV fortsetzt und sich gleichzeitig der Strommix verbessert, wird die Bedeutung der Produktionsphase weiter zunehmen, bis sie zum Hotspot des BEV-Lebenszyklus wird.

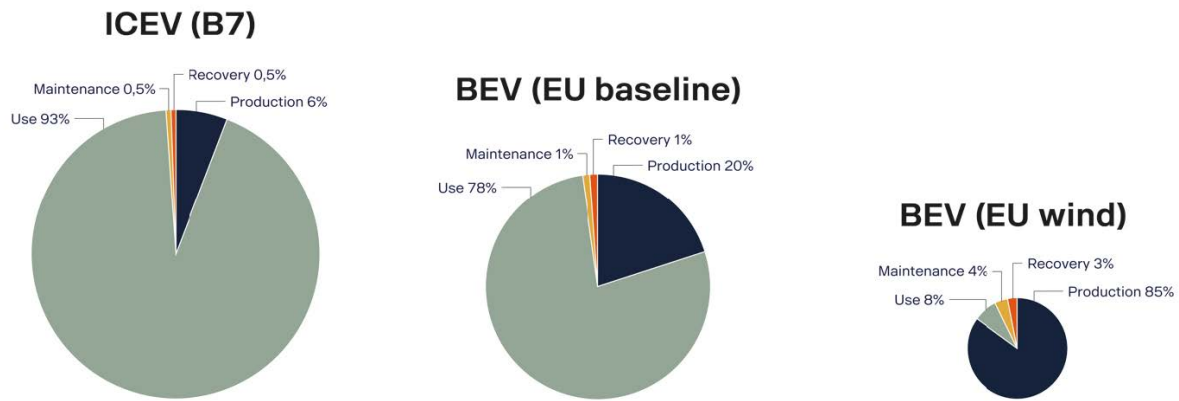


Abbildung 5. Anteil aus jeder Lebenszyklusphase in % der gesamten Lebenszyklus-THG-Emissionen. Die Grösse der Kreise ist proportional zu den gesamten Lebenszyklus-THG-Emissionen.

Die Produktionsphase umfasst die Rohstoffgewinnung, die Veredelung, die Teileproduktion, die Fahrzeugmontage und die Beschaffungs-Logistik. Die Teileproduktion, die Fahrzeugmontage und die Beschaffungs-Logistik sind für etwa 2,5 Tonnen THG verantwortlich, sowohl bei ICEV als auch bei BEV.

Der grösste Teil der THG-Emissionen in der Produktionsphase stammt also aus dem Prozess der Rohstoffgewinnung und -veredelung. Abbildung 6 zeigt, wie Gewinnung und Veredelung verschiedener Materialkategorien, Logistik und Montage zu den Emissionen der Produktionsphase für die beiden Fahrzeuge beitragen.

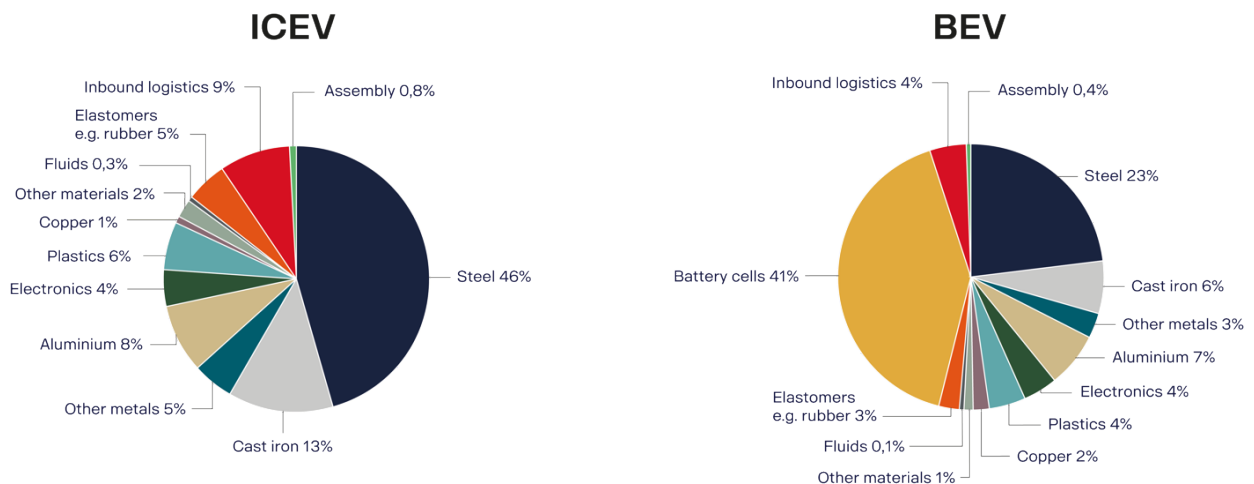


Abbildung 6. THG-Emissionen aus verschiedenen Materialkategorien in % der Gesamtemissionen aus der Produktionsphase.

Die Hotspots in der ICEV-Produktionsphase sind die Stahlproduktion, die Gusseisenproduktion und die Aluminiumproduktion. Die gleichen Materialien sind auch für BEV Hotspots, aber was die gesamten THG-Emissionen aus der Produktion von BEV fast verdoppelt, ist die energieintensive Batteriezellen-Produktion. Die Auswirkungen der Batteriezellen belaufen sich auf 74 kg CO₂eq pro installierter kWh. Der Grossteil der Auswirkungen stammt aus energieintensiven Prozessschritten bei der Herstellung von Batterie-Unterkomponenten, die in China stattfindet. In Abbildung 7 umfasst der Einfluss z. B. der Kathode alle nachfolgenden Schritte, beginnend mit der Rohstoffgewinnung, alle Veredelungsprozesse, den Transport und die für die Kathodenproduktion benötigte Energie. Der letzte Schritt in der Batteriezellen-Produktion, die sogenannte Zellenherstellung, findet in Europa statt und wird durch die Auswirkungen von Elektrizität und thermischer Energie bestimmt.

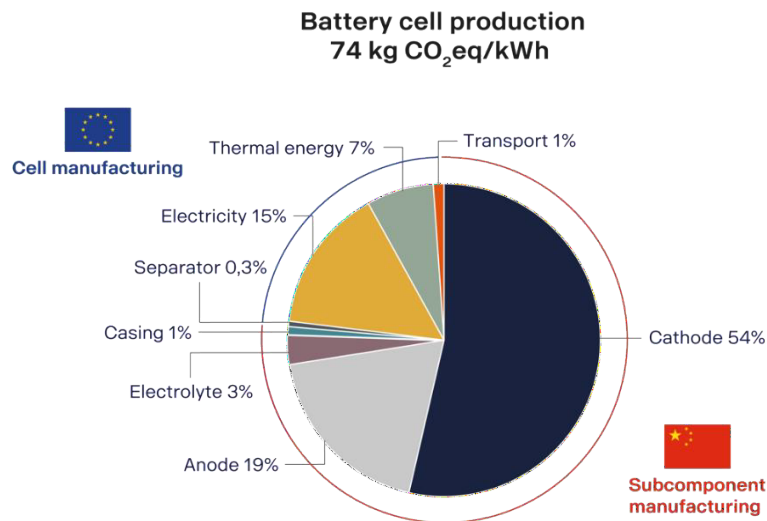


Abbildung 7. THG-Emissionen aus verschiedenen Schritten der Batteriezellen-Produktion in % der Gesamtbelastung pro kWh installierter Kapazität.

Break-Even

Die Produktion von BEV führt zu höheren THG-Emissionen im Vergleich zu ICEV (hauptsächlich aufgrund der Batteriezellen-Produktion), aber während der restlichen Lebensdauer des Fahrzeugs wird diese Schuld getilgt, da die kumulierten THG-Emissionen aus der Nutzungsphase beim ICEV aufgrund der Verbrennung von Diesel schneller ansteigen. Das bedeutet, dass nach einer bestimmten Anzahl von gefahrenen Kilometern die Gesamt-THG-Emissionen einen "Break-Even" erreichen. Am Break-Even-Punkt sind die Gesamt-THG-Emissionen für das BEV und den ICEV gleich. Nach dem Break-Even-Punkt sind die THG-Emissionen über den Lebenszyklus für das BEV niedriger als für das ICEV.

Abbildung 8 zeigt die kumulierte Gesamtmenge der THG-Emissionen in Abhängigkeit von den gefahrenen Gesamtkilometern. Alle Lebenszyklusphasen ausser der Nutzungsphase werden zusammengefasst und als Ausgangspunkt für die Kurven gesetzt.

Der Break-Even wird je nach Strommix nach ca. 33'000 km – 68'000 km erreicht.

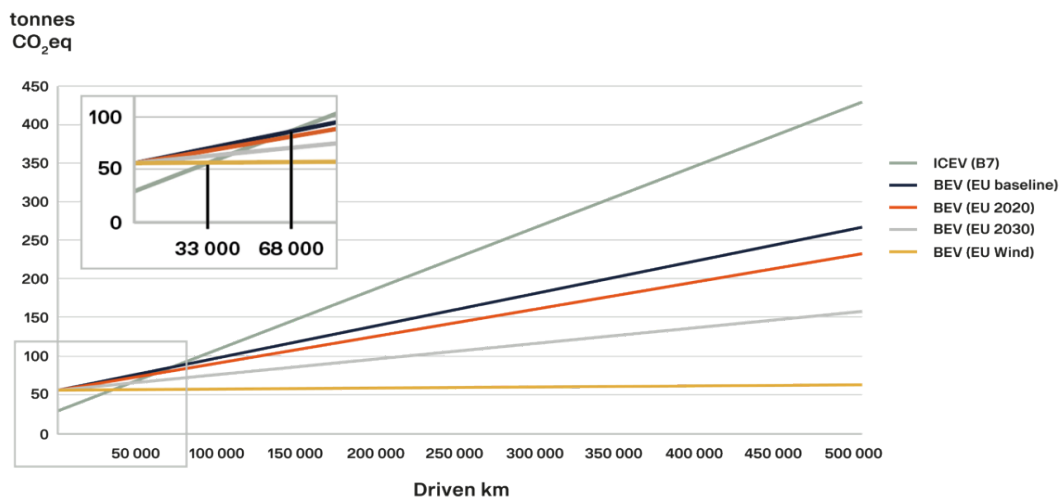


Abbildung 8. THG-Break-Even als Funktion der gefahrenen Kilometer. Die Kohlenstoff-Intensität im Netzmix beeinflusst, wann der Break-Even eintritt.



Andere Umweltwirkungen

Abbildung 9 zeigt das Verhältnis zwischen ICEV und BEV für die anderen in dieser Studie untersuchten Wirkungskategorien. Das ICEV wird als Referenzwert (100%) gesetzt und BEV-Werte werden als Reduktion im Verhältnis zu ICEV dargestellt. Es werden keine absoluten Werte dargestellt und es werden keine Annahmen oder Aussagen über die Wichtigkeit einer Wirkungskategorie im Vergleich zu den anderen getroffen. Die Absicht ist es, das Reduktionspotenzial für das BEV aufzuzeigen. In allen Kategorien gibt es ein deutliches Minderungspotenzial, insbesondere bei den auspuffgetriebenen, was bei der Feinstaubbildung, der Sommersmogbildung und der terrestrischen Versauerung der Fall ist. In diesen Kategorien zeigt das BEV ein hohes Reduktionspotenzial. Die Feinstaubbildung zeigt die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit durch primäre und sekundäre Aerosole, ausgedrückt in PM_{2,5}-Äquivalenten. Wichtig zu erwähnen ist, dass nur ein Bruchteil dieser Wirkungskategorie aus direkten PM_{2,5} stammt. Die direkten PM_{2,5} stammen aus: Auspuffrohren (20%), Reifen- und Bremsenabrieb (50%) und Strassenabrieb (30%). Der grösste Teil der Emissionen in dieser Kategorie stammt jedoch von sekundären Aerosolen wie NO_x und NH₃.

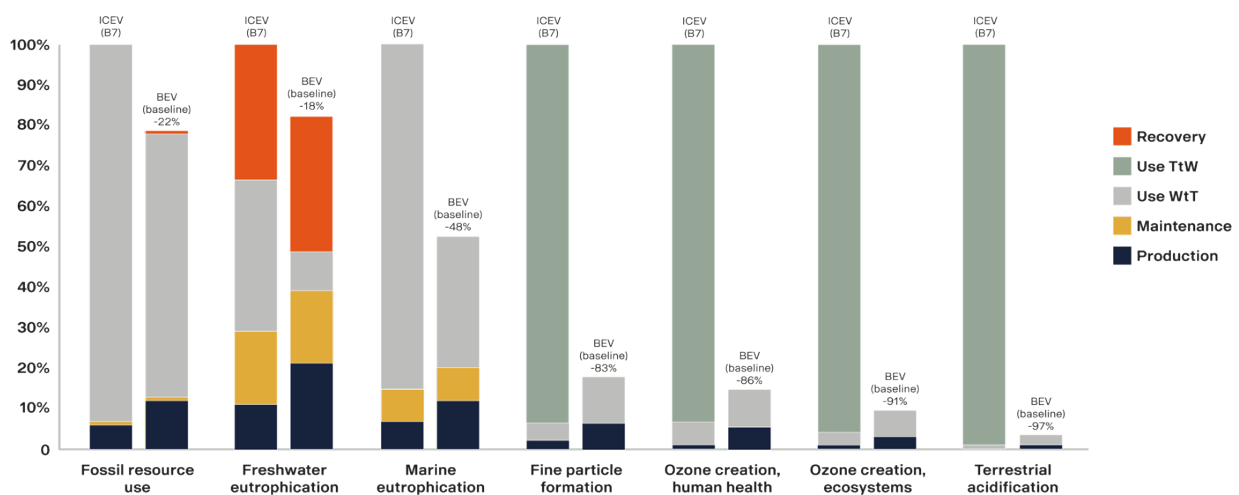


Abbildung 9. BEV-Reduktionspotenzial für andere Wirkungskategorien. BEV-Reduktionswerte in Relation zu ICEV-Emissionen dargestellt.

Die Auswirkungen in den Kategorien fossiler Ressourcenverbrauch sowie Meeres- und Süsswasser-Eutrophierung nehmen für das BEV im Vergleich zum ICEV ebenfalls ab, allerdings nicht so dramatisch wie in den zuvor genannten Kategorien.

Der grösste Treiber hinter der Nutzung fossiler Ressourcen und der Eutrophierung der Meere ist Well-to-Tank,

d. h. die Dieselproduktion für das ICEV und die Stromerzeugung für das BEV. Mit der Dekarbonisierung des Stromnetzes wird erwartet, dass diese Wirkungskategorien für das BEV in der Folge abnehmen und die Reduktion im Vergleich zum ICEV zunehmen wird.

Betrachtet man speziell die Eutrophierung des Süsswassers, so ist der Beitrag aus der Nutzungsphase (Well-to-Tank) beim ICEV immer noch der grösste Anteil, während dieser Anteil beim BEV um das Vierfache reduziert ist. Dies ist auf den grösseren Einfluss der Dieselproduktion im Vergleich zur Stromerzeugung zurückzuführen.

Ein weiterer Hotspot der Süsswasser-Eutrophierung ist die Fahrzeugverwertung, wobei die Auswirkungen aus dem Metallrecycling stammen. Da die Verwertung in dieser Studie auf einem generischen Modell basiert, sind die Auswirkungen von ICEV und BEV die gleichen.

In den Kategorien Meeres- und Süsswasser-Eutrophierung ist die relative Bedeutung der Wartungsphase grösser als in den anderen Kategorien. Die Auswirkungen in der Wartungsphase stammen aus der Produktion der Reifen, die während des Lebenszyklus



an den Fahrzeugen gewechselt werden. Die Grösse der Wartungsauswirkungen ist daher für BEV und ICEV gleich gross.



Diskussion



Tonnenkilometer als funktionale Einheit

Tonnenkilometer (tkm) ist eine übliche funktionale Einheit in Ökobilanz-Studien im Transportsektor und passt gut, wenn das Ziel darin besteht, die Auswirkungen für zwei mögliche Alternativen für eine Transportaufgabe zu vergleichen. In dieser Studie sollen jedoch nicht nur die beiden Fahrzeuge verglichen werden, sondern auch die gesamten Umweltauswirkungen der Produkte über die gesamte Lebensdauer transparent dargestellt werden. In diesem Fall ist die funktionale Einheit von 1 tkm für das Studienziel nicht geeignet, da die Ergebnisse nicht ohne weiteres in Bezug auf die funktionale Einheit skalierbar sind. Eine Skalierung ist nicht unmöglich, muss aber mit grosser Sorgfalt durchgeführt werden und jede Lebenszyklusphase muss separat behandelt werden. Anstelle von 1 tkm wurde als funktionale Einheit die Gesamtkilometerleistung mit einer durchschnittlichen Nutzlast gewählt, von der erwartet wird, dass sie ein gutes Abbild einer repräsentativen vollen Betriebsdauer darstellt.

Energie-/Kraftstoffverbrauch in der Praxis

Es ist eine anspruchsvolle Aufgabe, repräsentative Annahmen für den Kraftstoff- und Energieverbrauch zu finden. Betriebsdaten sind eine sehr wertvolle und in vielen Fällen die beste Informationsquelle, aber sie erfordern einen grossen Umfang, um das Risiko für irreführende Schlussfolgerungen und Auswirkungen von Ausreissern zu minimieren. Da das BEV in dieser Studie ein brandneues Produkt ist, sind die verfügbaren Betriebsdaten zum Energieverbrauch sehr begrenzt und daher keine gute Quelle für repräsentative Werte. Durch die Verwendung eines simulationsbasierten Ansatzes wird sichergestellt, dass für beide Fahrzeuge die gleichen Voraussetzungen für die angenommenen Kraftstoff-/Energieverbräuche gegeben sind. Die Wahl von VECTO als



Simulationswerkzeug basiert auf seiner Transparenz und der Tatsache, dass es ein bekanntes und etabliertes Werkzeug für Kraftstoff- und Energieberechnungen ist.

Die relevanten VECTO-Fahrzyklen für Fahrzeuge im Verteilerbereich sind die Zyklen Regionalzustellung und Stadtzustellung. Um möglichst repräsentative Ergebnisse abzuleiten, wurden die VECTO-Standard-Fahrzyklen modifiziert. Anhand von Betriebsdaten einer Referenzflotte von Verteilerfahrzeugen mit ähnlichen Spezifikationen wie die Fahrzeuge in dieser Studie wurden Faktoren wie Haltehäufigkeit, Strassenneigungen und Standzeiten analysiert. Basierend auf diesen Daten wurden die VECTO-Zyklen angepasst, um die voraussichtlichen Fahrbedingungen für die Fahrzeuge in der Studie besser abzubilden.

Wirkungsabschätzung – Methoden und Kategorien

Es gibt zwei Schlüsselbegriffe, wenn man über Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) spricht: LCIA-Methodik und Wirkungskategorie.

Die LCIA-Methodik ist eine umfassende Summe von Methoden zur Berechnung einer Reihe von Auswirkungen (auch Wirkungskategorien genannt). Eine Auswirkung ist die Folge der LCI-Emissionen auf die Umwelt, die menschliche Gesundheit und die Verfügbarkeit von Ressourcen. Es gibt verschiedene Methoden, um die gleiche Auswirkung (Kategorie) zu berechnen. Diese komplexen Berechnungen zielen darauf ab, noch komplexere natürliche Emissionsflüsse bestmöglich darzustellen. Bei der Ökobilanz ist es wichtig, eine Methodik zu wählen, die von Experten aus Wissenschaft und Industrie als robust und anwendbar anerkannt ist (neben anderen Kriterien), und deshalb wird ReCiPe 2016 v1.1. Hierarchist für diese Studie gewählt.

Es ist üblich, bei der Durchführung einer Ökobilanz eine einzige LCIA-Methodik zu verwenden. Dies bedeutet jedoch, dass einige Auswirkungen mehr oder weniger ausgeprägt sein können, was ihre Kommunikation behindern kann. Um volle Transparenz zu erreichen und eine Lastverschiebung zu vermeiden, sollten im Optimalfall alle relevanten Auswirkungen für die Transportindustrie bewertet und kommuniziert werden. In dieser Studie haben sich die Praktiker jedoch dafür entschieden, einige Auswirkungskategorien auszulassen, bei denen die Methoden noch in der Entwicklung sind und daher nicht als ausgereift gelten (z. B. Erschöpfung mineralischer Ressourcen, Wasserverbrauch und Toxizität).

Die Kommunikation von Ergebnissen aus unausgereiften Methoden, von denen man erwartet, dass sie sich noch erheblich weiterentwickeln, könnte im schlimmsten Fall fehlinformativ sein und zu falschen Schlussfolgerungen führen.

Das Ziel der Studie wird durch die Untersuchung von acht Umweltauswirkungen mit höchster Relevanz für die Transportindustrie und mit derzeit ausgereiften Methoden als erfüllt angesehen. Die LCIA-Methodik und die Auswahl der Auswirkungen werden weiterhin genau beobachtet, da die Methoden und Auswirkungen weiterentwickelt werden.



Schlussfolgerungen



Schwere Nutzfahrzeuge zeichnen sich im Allgemeinen durch einen hohen Nutzungsgrad aus, was die Nutzungsphase zur mit Abstand wichtigsten Lebenszyklusphase in Bezug auf die Umweltauswirkungen macht. In dieser Phase werden auch die grossen, radikalen Verbesserungen durch den Übergang zu vollelektrifizierten Fahrzeugen erreicht. Betrachtet man die Potenziale zur Reduktion der Klimawirkung bei den prognostizierten Strommixen EU 2020 (46%) und EU 2030 (63%) und ist es wahrscheinlich, dass der Netzmix am Ende der Fahrzeuglebensdauer näher am prognostizierten EU-2030-Mix liegt, so kann man schlussfolgern, dass ein BEV, das nach 2020 auf den EU-Markt kommt, im Vergleich zur Dieseralternative über den gesamten Lebenszyklus mehr als 50% THG-Reduktion aufweist.

Diese Studie zeigt, dass für das BEV durch die Verwendung von Ökostrom in der Nutzungsphase eine potenzielle Reduzierung der gesamten Lebenszyklus-THG-Emissionen um 86% möglich ist. Diese Reduktion geschieht trotz der Tatsache, dass im Vergleich zum ICEV während der Produktion des BEV die doppelte Menge an THG ausgestossen wird.

Innerhalb der Produktionsphase ist die Li-Ionen-Batterie ein Hauptverursacher. Bei den in dieser Studie untersuchten BEV stehen die Batteriezellen für etwas mehr als 40% der THG-Emissionen aus der Produktion. Es gibt jedoch ein grosses Potenzial für verbesserte Emissionswerte bei der Produktion von BEV, da die Batterieindustrie kontinuierlich dekarbonisiert wird und die Nutzung von Ökostrom kontinuierlich zunimmt. Es ist daher vernünftig anzunehmen, dass mit einer nachhaltigen Batterieproduktion und Ökostrom das THG-Reduktionspotenzial für das BEV weit über 90% liegt.

Das BEV hat eine "Produktions-Schuld" in Bezug auf die THG-Emissionen. Eine weitere Folge des hohen Nutzungsgrades der schweren Nutzfahrzeuge ist jedoch, dass der THG-Break-Even früh in der Lebensdauer eintritt. Die Berechnungen in dieser Studie zeigen, dass der THG-Break-Even bereits zwischen 33'000 und 68'000 km eintritt,



abhängig von der Kohlenstoff-Intensität im Strommix. Dies deutet darauf hin, dass das BEV das Potenzial hat, bereits innerhalb von ein bis zwei Betriebsjahren besser zu sein als das ICEV, und zwar für alle vorgestellten Strommixe.



Referenzliste

ACEA, 2013. Fahrzeugkompatibilität mit neuen (E10/B7) Kraftstoffstandards | ACEA - European Verband der Automobilhersteller [WWW-Dokument].
URL <https://www.acea.be/publications/article/vehicle-compatibility-with-new-fuel-standards> (Zugriff am 15.1.21).

Europäische Kommission, 2011. Verordnung (EU) Nr. 582/2011 der Kommission vom 25. Mai 2011 zur Durchführung und Änderung der Verordnung (EG) Nr. 595/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (Euro VI) und zur Änderung der Anhänge I und III der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates Text von Bedeutung für den EWR (2011) ABl. L.
Verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/582/oj/eng> (Zugriff: 5.4.21.).

Europäische Kommission, 2016. Reducing CO2 emissions from heavy-duty vehicles [WWW Document]. Climate Action - Europäische Kommission.
URL https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy_en (Zugriff am 5.4.21).

Europäische Kommission, 2017. Verordnung (EU) 2017/2400 der Kommission vom 12. Dezember 2017 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 595/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bestimmung der CO2-Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs von schweren Nutzfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Verordnung (EU) Nr. 582/2011 der Kommission (Text mit EWR-Freigabe.) (2017) ABl.
Verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/reg/2017/2400/oj/eng> (Zugriff: 5.4.21.).

Hill, N., Amaral, S., Morgan-Price, S., Nokes, T., Bates, J., Helms, H., Fehrenbach, H., Biemann, K., Abdalla, N., Jöhrens, J. und Cotton, E., 2020. Bestimmung der Umweltauswirkungen von konventionellen und alternativ angetriebenen Fahrzeugen durch LCA. Abschlussbericht für die Europäische Kommission, DG Climate Action, Europäische Kommission.

Europäische Kommission, Gemeinsame Forschungsstelle, Institut für Umwelt und Nachhaltigkeit, 2011. International reference life cycle data system (ILCD) handbook general guide for life cycle assessment: provisions and action steps. Amt für Veröffentlichungen, Luxemburg.

Huijbregts et al., 2016. ReCiPe 2016 A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization (No. RIVM Report 2016-0104). RIVM.

IEA, 2019. World Energy Outlook 2019 - Analysis [WWW-Dokument]. IEA.
URL <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019> (Zugriff am 17.1.21).

ISO 14040, 2006. ISO 14040:2006 [WWW-Dokument]. ISO.
URL <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/03/74/37456.html> (Zugriff am 19.2.21).

ISO 14044, 2006. ISO 14044:2006 [WWW-Dokument]. ISO.
URL <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/03/84/38498.html> (Zugriff am 19.2.21).

Ntziachristos, L., Boulter, P., 2016. 1.A.3.b.vi-vii Straßenreifen- und Bremsenverschleiß 2016 -. Europäische Umweltagentur [WWW-Dokument].



URL <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-vi/view> (Zugriff am 19.2.21).

van Loon, P., Olsson, L., Klintbom, P., n.d. LCA Guidelines for electric vehicles [WWW-Dokument].

URL <https://www.ri.se/sites/default/files/2019-06/Bilaga%20%2C%20LCA%20Guidelines%20for%20electric%20vehicles.pdf> (Zugriff am 1.15.21).



Anhang - Datensätze

Produktionsphase (ohne Batteriezelle und Reifen)

Material	Land	Name des Datensatzes	Typ	Herkunft
Stahl	EU-28	Stahlspule Weltstahl, kaltgewalzt	agg	worldsteel
Stahl	EU-28	Stahlspule worldsteel, warmgewalzt	agg	worldsteel
Stahl	EU-28	Stahl verzinkt	agg	worldsteel
Stahl	EU-28	Walzdraht worldsteel	agg	worldsteel
Stahl	EU-28	Rostfreier Stahl (EN15804 A1-A3)	agg	worldsteel
Gusseisen	EU-28	Gusseisenbauteil (Automobil)	p-agg	ts
Aluminium	EU-28	Aluminiumblech-Mix	agg	ts
Aluminium	EU-28	Aluminium-Massel-Mischung	agg	ts
Aluminium	EU-28	Aluminium-Barren (AlCu4MgTi) sekundär	p-agg	ts
Magnesium	CN	Magnesium	agg	ts
Kupfer	EU-28	Kupferdraht-Mix (Europa 2015)	agg	Intern/ECI
Zink	DE	Zink-Mischung	agg	ts
Nickel	GLO	Nickel-Mischung	agg	ts
Blei	EU-28	Primär- und Sekundärmischung führen	p-agg	ILA
Praseodym	CN	Praseodym	agg	ts
Neodym	CN	Neodym	agg	ts
Zinn	GLO	Zinn	agg	ts
Gold	GLO	Goldmix (Primär-, Kupfer- und Recyclingroute)	p-agg	ts
Silber	GLO	Silber-Mix	agg	ts
Chrom	DE	Ferrochrom-Mischung	agg	ts
PE	EU-28	Polyethylen-Rohr (PE-HD)	agg	KunststoffeEuropa
PE	EU-28	Polyethylen-Folie (PE-LD)	agg	KunststoffeEuropa
PE	EU-28	Polyethylen-Granulat niedriger Dichte (PE-LD)	p-agg	ELCD/KunststoffEuropa
PE	EU-28	Polyethylen-Granulat hoher Dichte (PE-HD)	p-agg	ELCD/KunststoffEuropa
PP	EU-28	Polypropylen-Fasern (PP)	agg	ts
PC	EU-28	Polycarbonat	agg	KunststoffeEuropa
PA6.6	EU-28	Polyamid 6.6-Fasern (PA 6.6)	agg	ts
PBT	DE	Polybutylenterephthalat-Granulat (PBT)-Mischung	agg	ts
PET	EU-28	Polyethylenterephthalat-Fasern (PET)	agg	ts
PVC	DE	Polyvinylchlorid-Granulat (Suspension, S-PVC) Mischung	agg	ts
ABS	EU-28	Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)	agg	KunststoffeEuropa
POM	DE	Polyoxymethylen-Granulat (POM)-Mischung	agg	ts
NR	DE	Naturkautschuk (NR)	agg	ts
EPDM	DE	Ethylen-Propylen-Dien-Elastomer (EPDM)	agg	ts
VMQ	DE	Silikongummi (RTV-1, feuchtigkeitshärtend)	agg	ts
UP	DE	Ungesättigtes Polyesterharz (UP)	agg	ts
PU	DE	Polyurethan-Hartschaum (PU)	u-so	ts
Elektrik	GLO	Bestückte Leiterplatten (Standarddurchschnitt, LEAD)	agg	intern
Baumwolle	GLO	Textilherstellung - Gewebe	p-agg	CottonInc
Farbe	DE	Lackierung auf Wasserbasis (Industrie; schwarz)	agg	ts
Harz	DE	2-Komponenten-Epoxidharzkleber (einfach)	agg	ts
Karton	EU-28	Wellpappe ohne Papierherstellung 2015	p-agg	ts/FEFCO
Papier	EU-25	Grafisches Papier	agg	Euro-Graf/ELCD
Glaswolle	EU-28	Glaswolle	agg	ts
Glas	DE	Fensterglas	agg	ts
Bariumkarbonat	DE	Bariumcarbonat über Bariumsulfid und CO2	agg	ts
Kalziumkarbonat	EU-28	Calciumcarbonat >63µ	agg	IMA-Europa/ELCD
Schmiermittel	EU-28	Schmierstoffe, aus der Raffinerie	agg	ts



Phosphat	GLO	Phosphatmischung (32,4 % P2O5)	agg	ts
Perlit	EU-28	Perlit (Korn 0/3) (EN15804 A1-A3)	agg	ts
R134a	DE	Tetrafluorethan (R134a)	agg	ts
Platin	GLO	Platin-Mix	agg	ts
Schwefelsäure	EU-28	Schwefelsäure (100% H2SO4)	agg	Düngemittel Europa
Prozesswasser	EU-28	Prozesswasser	agg	ts

Phase verwenden

Energie/Brennstoff	Land	Name des Datensatzes	Typ	Herkunft
EU-Baseline	EU-28	Elektrizitätsmix	agg	ts
EU-Wind	EU-28	Elektrizität Wind	agg	ts
Diesel	EU-28	Dieselmischung, an der Tankstelle (100 % fossil)	agg	ts
RME	EU-28	Biodiesel aus Rapssamen (RME)	agg	ts
AdBlue	DE	Harnstoff (Stami-Carbon-Verfahren)	agg	ts
HVO	FI	Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) aus Rindertalg (Talgproduktion belastungsfrei)	agg	ts